

Diseño de la estrategia de manejo de integridad de los dispositivos de alivio de presión en las facilidades de producción de un campo petrolero

Anderzon Mauricio González Bustamante

Trabajo de Grado para Optar por el Título de Ingeniero de Petróleos

Director

Wilson Raúl Carreño Velasco

Master en Diseño, Gestión y Dirección de Proyectos

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería de Petróleos

Bucaramanga

2020

### **Dedicatoria**

A Dios por brindarme el conocimiento y las habilidades  
para alcanzar esta gran meta en mi vida.

A mi madre Nelly Bustamante por su apoyo incondicional, amor, dedicación y  
gran esfuerzo para que este sueño se hiciera realidad. Mi mayor motivación fuiste tu madre  
hermosa, te amo inmensamente.

A mi padre Carlos González por su esmero, amor, comprensión y apoyo para  
enfrentar cada obstáculo que se presentaba. Eres mi más grande mentor, te amo padre.

A todos los miembros de mi familia que de una u otra forma hicieron  
posible que esta meta se cumpliera. A todos ellos hermanos, tías, tíos, y abuelos muchas  
gracias por su gran apoyo.

### **Agradecimientos**

A la Universidad Industrial de Santander, por permitirme la realización de esta meta.

A mis padres Nelly y Carlos, por ser ese gran pilar de amor, apoyo y dedicación, por ellos este sueño fue realidad.

A mis hermanos Alex, Yeison y Eduard por la motivación y el apoyo que me brindaban en momentos difíciles.

A todos mis amigos que fueron parte de este proceso. Richard Campos, Diego Amado, Edison Tole, William Calderón y Elisa Ángulo muchas gracias por los momentos jocosos que pasamos.

A mi director Wilson Carreño por su acompañamiento y apoyo en la realización de este proyecto.

A mi codirector Antonio Patio, gracias por sus directrices y acompañamiento en todo el proceso.

A los ingenieros Luis Delgado, Orlando Estévez, Roger Muñoz, Javier García y Stefano Pagani por su gran aporte de conocimiento en mi etapa de practicante. Muchas gracias por su apoyo, inmensamente agradecido con todos ustedes.

## Tabla de contenido

Introducción .....	13
1. Información del campo .....	15
2. Generalidades.....	16
2.1. Dispositivos de alivio de presión (PRDs) .....	16
2.2. Tipos de dispositivos de alivio de presión .....	18
2.2.1. Válvula de alivio de presión (Pressure Relief Valve – PRV) .....	18
2.2.2. Válvula de seguridad (Safety Valve – SV) .....	18
2.2.3. Válvula de alivio (Relief Valve – RV) .....	19
2.2.4. Válvula de alivio de seguridad (Safety Relief Valve – SRV).....	20
2.2.5. Válvula de alivio de seguridad convencional (Conventional Safety Relief Valve – CSRV) .....	20
2.2.6. Válvula de alivio de seguridad equilibrada (Balanced Safety Relief Valve – BSRV) .....	21
2.2.7. Válvula de alivio de seguridad operada por piloto (Pilot-operated Safety Relief Valve – PSRV) .....	22
2.2.8. Válvula de venteo/vacío de presión (Pressure Vacuum-vent Valve - PVRV).....	23
2.2.9. Disco de Ruptura (Rupture Disk Device – RDD).....	24
2.3. Integridad .....	25
2.4. Riesgo .....	27
2.4.1. Inspección basada en riesgo (RBI) .....	27
2.5. Manejo del cambio.....	29
2.5.1. Ventajas de un proceso MoC .....	30

2.5.2. Implementación del proceso MoC .....	31
3. Estrategia de integridad.....	34
3.1. Meta y objetivos.....	34
3.2. Alcance .....	35
3.3. Definiciones y abreviaturas.....	35
3.4. Ciclo de manejo de integridad para los dispositivos de alivio de presión .....	39
3.4.1. Integridad en operación.....	40
3.4.1.1. Cumplimiento de códigos y estándares de la industria.....	40
3.4.1.2. Filosofía del manejo de integridad para los dispositivos de alivio de presión.....	41
3.4.1.3. Manejo y entendimiento del riesgo.....	42
3.4.1.4. Planes de manejo de integridad.: .....	43
3.4.1.5. Ejecución.....	44
3.4.1.6. Evaluación del desempeño.....	47
3.4.1.7. Medición del desempeño. ....	47
4. Práctica local de manejo de integridad .....	47
4.1. Introducción y alcance .....	47
4.2. Manejo de riesgos .....	48
4.2.1. Requerimientos .....	50
4.2.2. Diseño .....	50
4.2.3. Compra y fabricación.....	50
4.2.4. Evaluación y aceptación .....	51
4.2.5. Documentación .....	51
4.2.6. Competencias requeridas .....	51

4.3. Construcción y comisionamiento.....	51
4.3.1. Montaje y pruebas.....	52
4.3.2. Aceptación mecánica .....	52
4.3.3. Comisionamiento .....	52
4.3.4. Documentación .....	53
4.4. Operación.....	53
4.4.1. Inspección en sitio.....	54
4.4.2. Mantenimiento, reparación y reemplazo.....	54
4.4.3. Alteraciones, re-rating y extensión de vida.....	56
4.4.4. Documentación .....	58
4.4.5. Competencias .....	58
4.5. Decomisionamiento (Abandono).....	58
4.6. Gestión de desempeño .....	60
5. Estándar de desempeño.....	61
5.1. Tratamiento de la información.....	61
5.2. Modelo estándar de desempeño .....	63
6. Conclusiones .....	68
7. Recomendaciones .....	70
Referencias.....	71

**Lista de tablas**

Tabla 1. Designador de certificación de los PRDs .....	16
Tabla 2. Tipos de dispositivos de alivio de presión .....	35
Tabla 3. Abreviaturas .....	39
Tabla 4. Indicadores de gestión de desempeño.....	60
Tabla 5. Depuración del inventario de PRDs.....	61

**Lista de figuras**

Figura 1. Vista aérea CPF Floreña.....	15
Figura 2. Marca de certificación y designador.....	17
Figura 3. Válvula de alivio de presión .....	18
Figura 4. Válvula de seguridad .....	19
Figura 5. Válvula de alivio.....	20
Figura 6. Válvula de alivio de seguridad convencional.....	21
Figura 7. Válvula de alivio de seguridad equilibrada .....	22
Figura 8. Válvula de alivio de seguridad operada por piloto.....	23
Figura 9. Válvula de venteo/vacío de presión.....	23
Figura 10. Disco de ruptura (Típico y con cúpula convencional).....	24
Figura 11. Estrategias de manejo de integridad en los diferentes sistemas en una facilidad de producción de crudo y gas .....	26
Figura 12. Gestión del riesgo utilizando RBI .....	29
Figura 13. Proceso general de MoC.....	30
Figura 14. Flujograma del proceso para el manejo de integridad de los PRDs en servicio.....	41
Figura 15. Grupo multidisciplinario necesario para la realización de un ejercicio de RBI.....	42
Figura 16. Tipos de intervención que se realizan a los dispositivos de alivio de presión .....	43
Figura 17. Diagrama de decisión para las etapas de ejecución para dispositivos nuevos .....	44
Figura 18. Diagrama de decisión para las etapas de ejecución para dispositivos en servicio .....	45
Figura 19. Diagrama de decisión para las etapas de ejecución para dispositivos en falla.....	45
Figura 20. Esquema para el manejo de riesgos de los dispositivos de alivio de presión.....	48

Figura 21. Estrategia del ciclo de vida para dispositivos de alivio de presión ..... 49

Figura 22. Proceso general con los responsables en cada ciclo ..... 57

Figura 23. Registro fotográfico en el proceso de depuración del inventario de PRDs ..... 62

### **Lista de apéndices**

**(Ver apéndices adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en la Base de Datos de la Biblioteca UIS)**

Apéndice A. Práctica de Manejo de Integridad del Ciclo de Vida de los Dispositivos de Alivio de Presión.

Apéndice B. Listado de dispositivos de alivio de presión, información recolectada en el proceso de depuración.

Apéndice C. Modelo estándar de desempeño de dos dispositivos de alivio de presión de la compañía Equion Energía Limited.

## RESUMEN

**Título:** Diseño de la estrategia de manejo de integridad de los dispositivos de alivio de presión en las facilidades de producción de un campo petrolero \*

**Autor:** González Bustamante, Anderzon Mauricio \*\*

**Palabras clave:** Integridad, Estrategia, Práctica local técnica, Estándar de desempeño, Dispositivo de alivio de presión

### **Descripción:**

Las empresas prestadoras de servicios al sector de hidrocarburos, en su mayoría poseen facilidades en donde se procesa el fluido extraído del yacimiento, como parte del control para eventos que se puedan generar por sobrepresión, cada equipo posee instalado dispositivos de alivio de presión (Pressure Relief Devices - PRDs), los cuales protegen al activo y mitigan cualquier emergencia que se pueda presentar. Estos PRDs deben ser confiables por si son en algún momento necesitados, para ello se debe tener un proceso que otorgue lineamientos para el ciclo de integridad de cada dispositivo, ya que estos deben ser inspeccionados cada cierto tiempo para verificar su operatividad.

En el presente trabajo se realizó este proceso denominado estrategia de manejo de integridad con el cual se dan las respectivas pautas para asegurar que el ciclo de manejo de integridad de cada PRD sea confiable y seguro, esto fue posible utilizando como valoración del riesgo la técnica de inspección basada en riesgo (Risk Based Inspection-RBI). Posteriormente se ejecutó una práctica local técnica con la cual las pautas que se dan en la estrategia sean más específicas. Finalmente se llevó a cabo el modelo de estándar de desempeño con el cual todo el proceso de la estrategia es auditable y trazable, desde luego con este estándar se definen las frecuencias que debe tener cada plan de inspección de los PRDs.

---

\*Trabajo de Grado

\*\*Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: Wilson Raul Carreño Velasco, Master en Diseño, Gestión y Dirección de Proyectos.

**ABSTRACT**

**Title:** Design of the integrity management strategy of pressure relief devices in the production facilities of an oil field\*

**Authors:** González Bustamante, Anderzon Mauricio\*\*

**Keywords:** integrity, strategy, local technical practice, performance standard, pressure relief Device

**Description:**

Most of the companies that provide services to the hydrocarbon sector have facilities where the fluid extracted from the reservoir is processed, as part of the control for events that may be generated by over-pressure, each equipment has installed pressure relief devices (PRDs), which protect the asset and mitigate any emergency that may arise. These PRDs must be reliable in case they are needed at any time, so there must be a process that provides guidelines for the integrity cycle of each device, since they must be inspected from time to time to verify their operability.

In this work this process called integrity management strategy was carried out with which the respective guidelines are given to ensure that the integrity management cycle of each DRP is reliable and safe, this was possible using as risk assessment the technique of risk-based inspection (RBI). Subsequently, a local technical practice was implemented to make the guidelines given in the strategy more specific. Finally, the performance standard model was implemented, with which the entire strategy process is auditable and traceable. Of course, this standard defines the frequencies that each PRD inspection plan must have.

---

\*Work Degree

\*\*Industrial University of Santander. Physicochemical Engineering Faculty, School of Petroleum Engineering, Director: Wilson Raul Carreño Velasco, MSc in Design, Management and Project Direction

## Introducción

Durante la fase temprana de producción de una planta se desarrolla un programa de inspección y medición de desempeño de los dispositivos de alivio de presión para cada sistema y los relacionados con la protección general de la planta. Estos dispositivos deben ser sometidos a un plan específico de inspección y verificación de manera independiente que permita verificar su óptimo funcionamiento y asegurar una confiabilidad definida en el estándar de desempeño.

Una forma preliminar es mediante un estudio de criticidad para cada dispositivo cuyo resultado indica el nivel de probabilidad de falla que presentara en el sistema en que se encuentre y el impacto que se tendría para el medio ambiente, las personas y la compañía basados en la matriz de evaluación de riesgos RAM (Colmenares, 2019). La metodología utilizada para realizar la valoración del riesgo sigue las recomendaciones y lineamientos de los estándares API 576 y ASME VIII Sec. 1 y 3. La estrategia de integridad cuenta con una compilación de los estándares de desempeño de cada dispositivo de alivio de presión, el cual es elaborado mediante la inspección basada en riesgo (Risk-Based Inspection - RBI).

Estos estándares otorgan la información respecto a la frecuencia con que se debe realizar la inspección al dispositivo de alivio de presión (Pressure Relief Device – PRD). Por tal motivo estas estrategias deben ser reevaluadas al cumplirse el siguiente ciclo de inspección y mantenimiento. Equion cuenta con dos sub-contratistas los cuales para realizar inspección y mantenimiento a los dispositivos de alivio de presión deben contar con las estrategias de integridad para emitir el estándar de desempeño de cada dispositivo. La compañía no cuenta con una estrategia de manejo de integridad, en este trabajo se pretende realizar la estrategia del

manejo de integridad de los dispositivos de alivio de presión como un documento oficial, el cual contará con el apoyo de una práctica local técnica y con ello seguir los lineamientos de los estándares API 576-580-581.

## 1. Información del campo

Equion Energía Limited es la marca que resulto de la venta que BP hiciera de sus activos en Colombia, sus accionistas son Ecopetrol S.A (51%) y Repsol (49%). Compañía nacional que desarrolla actividades de exploración, producción, procesamiento, comercialización y transporte de hidrocarburos. El campo Floreña se encuentra localizado en el corregimiento El Morro del municipio de Yopal, Casanare y opera bajo el contrato de asociación Piedemonte.

El CPF Floreña (Central Processing Facility) es la facilidad de procesamiento de hidrocarburos, actualmente maneja alrededor de 35000 BPD de crudo, 580 MMSCFD de gas y 5000 BPD de agua. El hidrocarburo proviene de los pozos del área que se conforma del complejo Pauto al sur y Floreña al norte. El crudo tratado es enviado por un oleoducto hacia la estación Arguaney e Hidrocasanare. El gas producido se distribuye para: Inyección en pozos, ventas y suministro de energía al CPF. El agua producida se inyecta en un pozo disposal.

Figura 1.  
*Vista aérea CPF Floreña*



*Adaptado de Equion Energía Limited (2018).*

## 2. Generalidades

### 2.1. Dispositivos de alivio de presión (PRDs)

Un dispositivo de alivio de presión (Pressure Relief Devices - PRDs) es un elemento que se encuentra en cualquier vasija de gas o líquido y se utilizan como protección para el equipo y personal al abrirse automáticamente a presiones previamente definidas, y así evitar excesos de presiones en los respectivos sistemas en los que se encuentren. Son diseñados para realizar su apertura durante condiciones anormales o de emergencia y así prevenir un evento de sobrepresión. Una sobrepresión es un evento que puede causar que la presión interna de un sistema se eleve por encima de la presión de diseño o de la presión de trabajo máxima permitida (Maximum Allowable Working Pressure - MAWP). Los dispositivos de alivio de presión son la última salvaguarda del sistema, por esta razón se debe asegurar su confiabilidad (API 576, 2017).

Estos dispositivos están diseñados, inspeccionados y certificados de acuerdo con el código ASME (ASME Boiler and Pressure Vessel Code), cada dispositivo lleva una marca de certificación y un designador como se puede ver en la figura 2. Los designadores se pueden observar en la tabla 1:

Tabla 1.  
*Designador de certificación de los PRDs*

DESIGNADOR	SIGNIFICADO
V	Válvula de seguridad para calderas de vapor
NV	Válvula de seguridad para componentes nucleares
HV	Válvula de seguridad para calderas de calefacción
UV	Válvula de seguridad para recipientes a presión

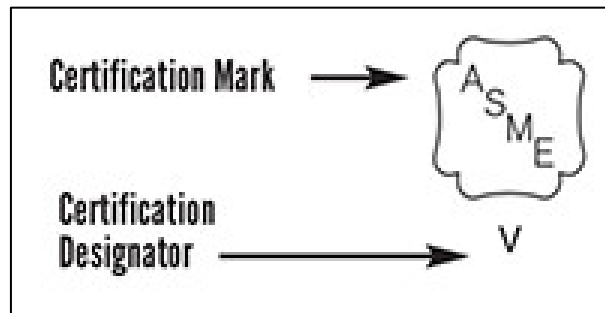
---

UV3	Válvula de seguridad para recipientes a presión con más de 10000 psi de MAWP.
UD	Disco de ruptura para recipientes a presión
TV	Válvula de seguridad para tanques de transporte
TD	Disco de ruptura para tanques de transporte

---

*Nota.* Adaptado de Mohammad A. Malek (2016).

Figura 2.  
*Marca de certificación y designador*



*Adaptado de Mohammad A. Malek (2016).*

El rendimiento de los PRDs está determinado por el código ASME Pressure Test Code (PTC) 25. El instituto Americano del Petróleo (API) posee códigos y normas para el dimensionamiento, selección, instalación e inspección de los dispositivos de alivio de presión. La norma API 520 contiene las pautas para dimensionar, seleccionar e instalar los PRDs; el API 521 es aplicable a sistemas de alivio de presión y sistemas de depresión de vapor; y el API 576 es una práctica recomendada que describe las pautas de inspección y reparación para dispositivos automáticos de alivio de presión (Mohammad A. Malek, 2016).

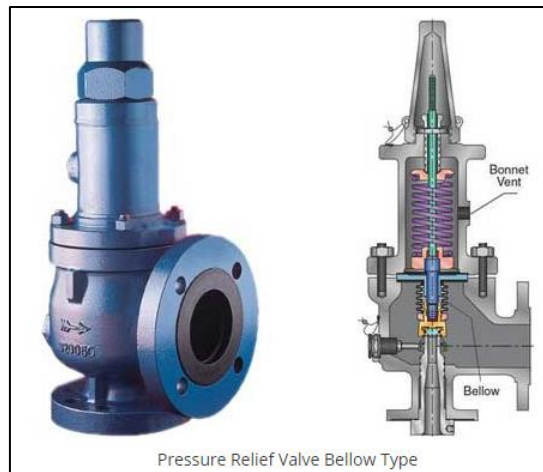
## 2.2. Tipos de dispositivos de alivio de presión

Los tipos de dispositivos de alivio de presión más comunes son:

### 2.2.1. Válvula de alivio de presión (*Pressure Relief Valve – PRV*)

Está diseñada para abrirse y aliviar el exceso de presión y luego volver a cerrarse, previniendo de esta manera un mayor flujo de fluido luego de que se hayan establecido las condiciones normales (API 576, 2009).

Figura 3.  
*Válvula de alivio de presión*



*Adaptado de Explore the World of Piping (2019).*

### 2.2.2. Válvula de seguridad (*Safety Valve – SV*)

Esta es una válvula de alivio de presión pero tiene resorte directo y es accionada por la presión estática aguas arriba de la válvula y se caracteriza por una rápida apertura. Una válvula de seguridad típica tiene una palanca de elevación para apertura manual y con ello garantizar la libertad de las piezas de trabajo (API 576, 2009). Una válvula de seguridad se usa normalmente

con fluidos compresibles, se pueden usar en tambores y sobrecalentadores de calderas de vapor, en servicios generales de aire y en plantas de gas. Estas SV no deben utilizarse en servicios donde la corrosión sea alta, en servicios de líquido y en instalaciones que imponen contrapresión.

Figura 4.  
*Válvula de seguridad*

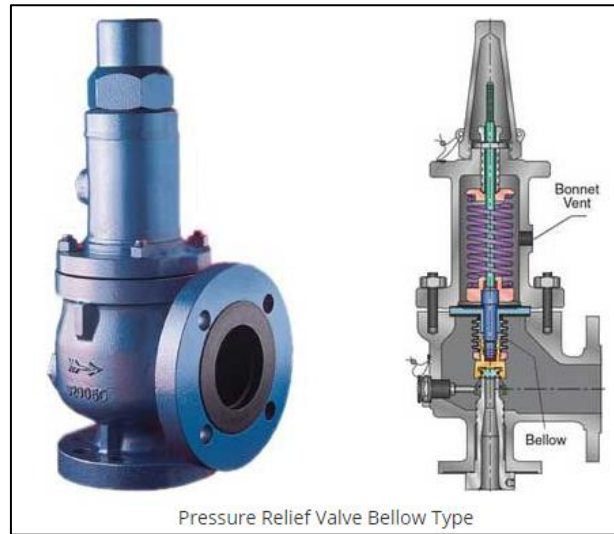


*Adaptado de Explore the World of Piping (2019).*

### **2.2.3. Válvula de alivio (Relief Valve – RV)**

Es una válvula de alivio de presión con resorte directo que se acciona con la presión estática aguas arriba de la válvula. La válvula se abre normalmente en proporción al aumento de la presión de apertura. Las válvulas de alivio generalmente alcanzan su elevación total con una sobrepresión entre 10-25 % (API 576, 2009). Las válvulas de alivio se usan normalmente para fluidos incompresibles. Por lo general estas válvulas no se usan para sistemas de vapor, aire y gas, ni como válvulas de control de presión o tipo by-pass.

Figura 5.  
*Válvula de alivio*



*Adaptado de Explore the World of Piping (2019).*

#### **2.2.4. Válvula de alivio de seguridad (Safety Relief Valve – SRV)**

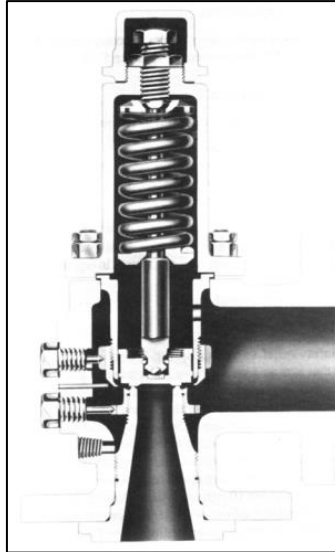
Es una válvula de alivio de presión con resorte directo que puede ser usada tanto para seguridad como para relevo según sea necesario. Una SRV generalmente se abre completamente con una sobrepresión del 10% cuando está en servicios de gas o vapor. En servicios de líquido se logrará la apertura total con una sobrepresión entre el 10-25% dependiendo de los requerimientos del proceso (API 576, 2009).

#### **2.2.5. Válvula de alivio de seguridad convencional (Conventional Safety Relief Valve – CSRV)**

Esta válvula con resorte directo tiene características operativas (Presión de apertura-cierre y capacidad de alivio) que si se ven afectadas por los cambios de contrapresión. Generalmente se utilizan en procesos de refinería y petroquímicos que manejan materiales inflamables, calientes o

tóxicos. No se deben utilizar donde la contrapresión total exceda la sobrepresión permitida y tampoco como válvulas de control de presión (API 576, 2009).

Figura 6.  
*Válvula de alivio de seguridad convencional*

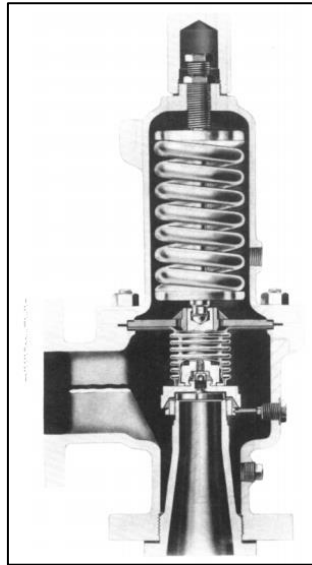


*Adaptado de API Recommended Practice 576 (2009).*

#### ***2.2.6. Válvula de alivio de seguridad equilibrada (Balanced Safety Relief Valve – BSRV)***

Esta válvula con resorte directo incorpora un fuelle u otro medio para mitigar el efecto de la contrapresión en las características operativas de la válvula. Se usan normalmente en las industrias de procesos de refinería. Son utilizadas en servicios de gas, vapor, aire o líquido y no se deberían utilizar en tambores de caldera de vapor ASME BPVC Sección I. Las válvulas BSRV pueden tener limitaciones de contrapresión basadas en la resistencia mecánica del fuelle (API 576, 2009).

Figura 7.  
*Válvula de alivio de seguridad equilibrada*



*Adaptado de API Recommended Practice 576 (2009).*

### ***2.2.7. Válvula de alivio de seguridad operada por piloto (Pilot-operated Safety Relief Valve – PSRV)***

Es una válvula en la cual el dispositivo de alivio principal se controla mediante una válvula actuadora auxiliar de relevo de presión (piloto). Dependiendo del diseño, la válvula piloto y la válvula principal se pueden montar en la misma conexión o por separado. La válvula piloto es una válvula de resorte que funciona cuando la presión estática de entrada excede la presión establecida de disparo. Se utilizan generalmente en áreas donde se requiere un gran alivio de presión, en grandes tanques de almacenamiento y en procesos donde la contrapresión sea muy alta. No se recomienda usar estas válvulas en procesos donde el fluido pueda ser “ensuciado”, es decir con presencia de hidratos o parafinas (API 576, 2009).

Figura 8.  
*Válvula de alivio de seguridad operada por piloto*



*Adaptado de Mohammad A. Malek (2016).*

### **2.2.8. Válvula de venteo/vacío de presión (Pressure Vacuum-vent Valve - PVRV)**

Es un dispositivo automático de alivio de presión o vacío que protege el equipo al ser accionado por la presión o el vacío. Está clasificada en dos categorías:

- Válvula de ventilación de paletas con carga de peso.
- Válvula de ventilación accionada por piloto.

Figura 9.  
*Válvula de venteo/vacío de presión*



*Adaptado de Assentech Sales Limited (2019).*

### 2.2.9. Disco de Ruptura (*Rupture Disk Device – RDD*)

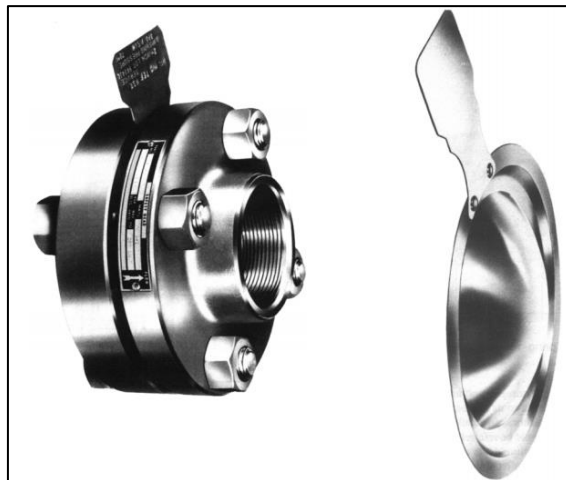
Este dispositivo de alivio de presión luego de ser accionado no se vuelve a cerrar, es accionado por la presión diferencial estática entre la entrada y la salida, está diseñado para funcionar al estallar un disco de ruptura. Los tipos más populares de discos de ruptura son:

- Disco de ruptura convencional
- Disco de ruptura cargado por tensión
- Disco de ruptura compuesto
- Disco de ruptura de acción inversa
- Disco de ruptura de grafito

Los discos de ruptura se utilizan para proteger el lado aguas arriba de las válvulas de alivio de presión contra la corrosión del fluido que manejan, como protección de las válvulas de alivio de presión contra la obstrucción por fluidos viscosos y si es necesario una respuesta mucho más rápida que la que generalmente proporcionan las válvulas de alivio de presión (API 576, 2009).

Figura 10.

*Disco de ruptura (Típico y con cúpula convencional)*



*Adaptado de API Recommended Practice 576 (2009).*

### **2.3. Integridad**

Integridad es un término asociado al diseño, aseguramiento, y la verificación de las funciones que garantizan que un producto, proceso o sistema cumple con la intención del diseño o los requerimientos especificados. Integridad es uno de los procesos claves dentro del marco de gestión de seguridad de procesos y que debe contemplar todo el ciclo de vida de los activos de una compañía.

El manejo de integridad está inmerso dentro de las etapas del ciclo de vida de los activos como son:

- a. Etapa de diseño e ingeniería.
- b. Etapa del proceso de compra.
- c. Etapa de construcción.
- d. Etapa de operación (Pruebas de arranque).
- e. Etapa de mantenimiento e inspección del activo.
- f. Etapa de decomisionamiento.

La gestión integral de los activos es la forma de garantizar que el personal, los sistemas, los procesos y los recursos que proporcionan integridad están en su sitio, se usan y son idóneos para su propósito, y que seguirán funcionando correctamente durante todo el ciclo de vida útil del activo. Garantizar la integridad de los activos se debe iniciar con la correcta selección de los estándares de diseño a emplear, el uso del personal cualificado para la ejecución de las pruebas de aceptación de la fábrica y de la ubicación, personal de mantenimiento formado e inspectores certificados trabajando todos para mantener los materiales de alta peligrosidad contenidos en el

proceso y los elementos críticos de seguridad (Safety Critical Equipment - SCE) en buenas condiciones para su propósito (Applus, 2020).

Los SCE son las partes de una instalación y del software usado, cuyo propósito es prevenir, controlar o mitigar los riesgos de accidentes graves (Major Accident Hazard - MAH), y cuyo fallo puede causar o contribuir sustancialmente a causar un incidente grave. Los SCE son esenciales para la integridad de cualquier instalación.

La integridad en instalaciones y facilidades de producción de hidrocarburos deberían como mínimo contemplar las siguientes estrategias de manejo de integridad en los diferentes sistemas, los cuales son claves para el funcionamiento correcto de la facilidad (Figura 11):

Figura 11.

*Estrategias de manejo de integridad en los diferentes sistemas en una facilidad de producción de crudo y gas*

**Estrategia para el Manejo de Integridad de Corrosión**

Estrategia que está encaminada en garantizar la confiabilidad y disponibilidad de los activos mediante un proceso sistemático de identificación, valoración y mitigación de los riesgos que provoca la corrosión.

**Estrategia para el Manejo de Integridad de los PRDs**

Programa que garantiza la operación, integridad y disponibilidad de los dispositivos de alivio de presión, porque son la última barrera de control contra excesos de presión.

**Estrategia para el Manejo de Integridad de los Sistemas Instrumentados de Seguridad (SIS)**

Estrategia que tiene como objetivo reducir la probabilidad de una falla por parte una función instrumentada de seguridad (Instrumentación eléctrica y electrónica, y tecnologías hidráulica y neumática).

**Estrategia para el Manejo de Integridad de los Sistemas Eléctricos**

Estrategia para reducir la falla sistemática en alguno de los equipos eléctricos y garantizar la confiabilidad y disponibilidad de estos equipos (Generadores, UPS, CCMS).

**Estrategia para el Manejo de Integridad de los Sistemas de Instrumentación y Control**

Estrategia para reducir la probabilidad de falla de los sistemas de control que no tiene que ver con una función instrumentada de seguridad (BPCS, PAS).

*Adaptado de Equion Energía Limited.*

## **2.4. Riesgo**

El riesgo es la combinación de la probabilidad de que ocurra algún evento durante un período de tiempo de interés y las consecuencias (generalmente negativas) asociadas con el evento. En términos matemáticos, el riesgo puede calcularse mediante la multiplicación de la probabilidad y la consecuencia.

El riesgo en facilidades de producción de crudo y gas puede reducirse o mitigarse mediante un sistema de gestión del riesgo, el cual es un proceso para evaluar riesgos, determinar si se requiere una reducción del riesgo y desarrollar un plan para mantener los riesgos a un nivel aceptable. Las técnicas para evaluar los riesgos que se usan con más frecuencia son:

- Análisis de capas de protección (LOPA).
- Estudio de valoración de peligros y operatividad HAZOP.
- Análisis de modos y efectos de falla (FMEA).
- Evaluación de riesgos (What-if).
- Inspección basada en riesgo (RBI).

### ***2.4.1. Inspección basada en riesgo (RBI)***

En la mayoría de plantas de procesamiento de crudo y gas, una vez que se han identificado los riesgos, hay oportunidades o alternativas que están disponibles para poder reducirlos. Sin embargo, casi todas las pérdidas comerciales importantes son el resultado de una mala comprensión del riesgo o una falta de un sistema de gestión del riesgo.

La inspección basada en riesgo es un proceso de evaluación y gestión de riesgos que está centrado en la pérdida de contención de equipos presurizados en las instalaciones de procesamiento de gas y crudo, debido al deterioro del material. Esta técnica se gestiona principalmente a través de la inspección de los equipos. El RBI (Risk Based Inspection) da el primer paso hacia un programa integrado de gestión de riesgos (API-580, 2002). En la actualidad existe una mayor conciencia de la necesidad de evaluar el riesgo resultante de:

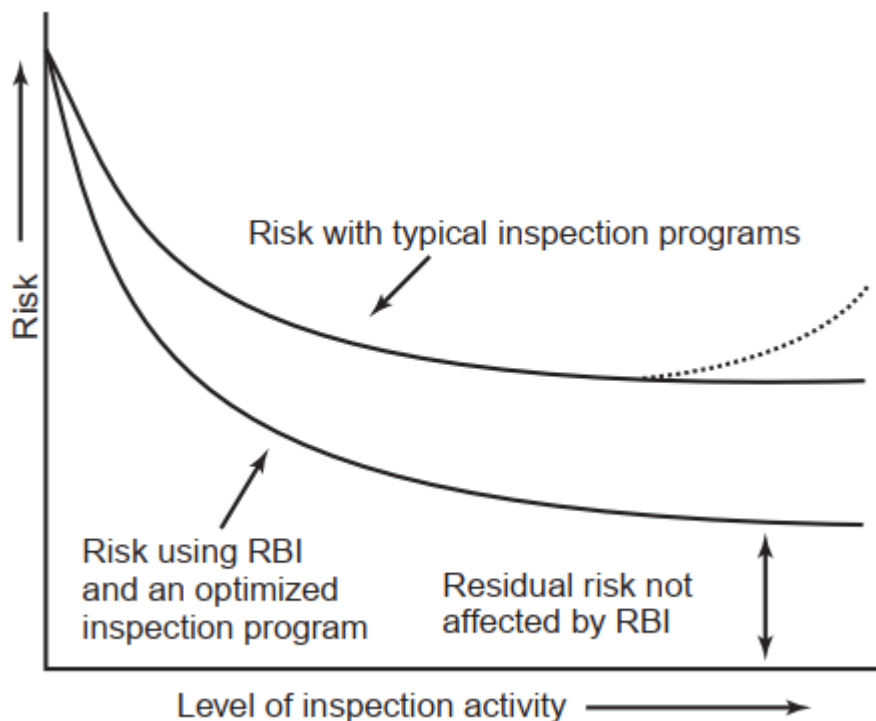
- Riesgo en sitio para los empleados.
- Riesgo externo a la comunidad.
- Riesgos de interrupción del negocio.
- Riesgos de daños al medio ambiente.

El enfoque de la técnica RBI permite que cualquier combinación de estos tipos de riesgos se tenga en cuenta en las decisiones sobre ¿Cuándo?, ¿Dónde? y ¿Cómo? inspeccionar el equipo. Esta metodología de RBI puede usarse para administrar el riesgo general de una planta al enfocar los esfuerzos de inspección en el equipo de proceso con mayor riesgo, con ello el RBI proporciona la base para gestionar el riesgo al tomar una decisión informada sobre la frecuencia de la inspección, el nivel de detalle y los tipos de NDE (Non Destructive Examination).

La inspección basa en riesgo puede ser aplicada en varios niveles, es decir, puede no solo inspeccionar el sistema en su totalidad sino también cada componente menor que este asociado al sistema como lo son: sistemas de instrumentación y control, sistema de distribución eléctrica y potencia (API 581, 2008). El objetivo de RBI es determinar que incidente podría ocurrir (consecuencia) en caso de una falla del equipo, y que tan probable (probabilidad) es que el

incidente pueda ocurrir (API-580, 2002). En la figura 12 podemos ver como es la gestión del riesgo utilizando la técnica de RBI:

Figura 12.  
*Gestión del riesgo utilizando RBI*



*Adaptado de API Recommended Practice 580.*

## 2.5. Manejo del cambio

El manejo del cambio (Management of Change - MoC) se define como el proceso formal que gestiona sistemáticamente los cambios en la organización, las operaciones, el equipo del proceso, la tecnología, los procedimientos, los productos químicos o cualquier modificación temporal que pueda afectar al diseño original, los criterios de operación y mantenimiento, y/o el desempeño ambiental. El proceso MoC tiene la intención de controlar el impacto potencial de cualquier

cambio propuesto que pueda afectar la seguridad personal, el cumplimiento legal y regulatorio, salvaguardar el medio ambiente y el plan de respuesta a emergencias de las instalaciones. Por ende, el manejo del cambio es una mejor práctica utilizada para garantizar que los riesgos de seguridad, salud y medio ambiente estén controlados cuando una empresa realiza cambios temporales o permanentes en sus instalaciones, documentación, personal u operaciones (Laskar, 2017). En la figura 13 se denota un proceso de manejo del cambio general:

Figura 13.  
*Proceso general de MoC*



*Adaptado de Equion Energía Limited.*

### 2.5.1. Ventajas de un proceso MoC

Algunos de los beneficios de un proceso efectivo de manejo del cambio son:

- Minimiza los impactos adversos no planificados en la integridad del sistema, la seguridad, la estabilidad y confiabilidad para el proceso comercial que se está modificando o agregando.
- Maximiza la productividad y la eficiencia de la planificación, coordinación e implementación de los cambios en la organización.
- Proporciona un entorno de producción estable.
- Asegura el nivel adecuado de integridad técnica, precisión de modificaciones y pruebas en los sistemas antes de la implementación.
- Proporciona un nivel apropiado de aprobación y participación de la gerencia.

### ***2.5.2. Implementación del proceso MoC***

Un proceso eficaz de manejo del cambio consiste en los siguientes pasos básicos:

1. Identificar la necesidad del cambio: En este paso cualquier empleado debe poder proponer un cambio a un procedimiento, equipo o tecnología del proceso. Los formatos MoC que posea cada compañía deben permitir al usuario documentar el ¿Qué?, ¿Por qué?, ¿Cuándo? y ¿Dónde? es el cambio propuesto. Este documento debe describir el cambio, la base técnica del cambio, el impacto potencial en la seguridad y las actualizaciones demás que se requieran (Laskar, 2017).
2. Revisión y aprobación (Preliminar): Esta revisión es preliminar y consiste en tomar la decisión de realizarlo o no, de acuerdo a la información suministrada en el anterior paso. Si se toma la decisión de proceder con el cambio, el revisor preliminar debe documentar la base técnica del cambio, el impacto en la salud y seguridad, y el intervalo de tiempo en el cual se

debe realizar el cambio. Si el cambio es temporal el revisor debe asegurarse que la fecha de reversión se incluya en la documentación del MoC (Laskar, 2017).

3. Evaluar el riesgo (PHA): Este paso es uno de los más importantes. Es fundamental involucrar al personal competente con conocimientos profundos de las instalaciones y del proceso. La evaluación de riesgos debe coincidir con la complejidad del cambio. Para cambios menores se puede utilizar la técnica de evaluación de riesgos denotada como “What-If” (¿Qué pasa si?). Los cambios más complejos ya requieren herramientas de evaluación de riesgos más avanzadas tales como: análisis de modos y efectos de falla (FMEA), valoración de peligros y operatividad (HAZOP) y análisis de capas de protección (LOPA). Independientemente del método de evaluación de riesgos, es importante documentar lo que razonablemente podría salir mal y los pasos necesarios para evitarlo y este debe estar documentado en el MoC (Laskar, 2017).
4. Revisión y aprobación (Final): Esta aprobación generalmente es otorgada por un superintendente o gerente de planta. Esta persona está comprometiendo recursos para completar el cambio y está de acuerdo de que el cambio se puede realizar de forma segura en función de la información suministrada. La revisión final se basa en la disponibilidad de toda la documentación de diseño junto con el análisis de riesgos de proceso para garantizar que el proceso sea totalmente seguro (Laskar, 2017).
5. Construcción/Comisionamiento: En este paso lo que se tenía en las bases técnicas ahora se va a diseñar, construir e instalar, a todo este proceso se le llama comisionamiento. En este paso, se completan los diseños, se construyen las tuberías y equipos, se actualizan los procedimientos, diagramas de planos y tuberías (Piping and Instrumentation Diagram – P&ID) en Red-Line y se verifica la instalación del equipo. Si el diseño cambia durante este

paso, se debe realizar otra evaluación de riesgos asociada con el nuevo diseño que se gestione (Laskar, 2017).

6. Entrenamiento y comunicación efectivos: Este paso es parte de la revisión de seguridad previa al inicio (Pre-Startup Safety Review - PSSR) e involucra actividades críticas que deben contemplarse antes de poner el cambio en servicio. La notificación implica informar a todas las personas y departamentos involucrados que el cambio está a punto de ocurrir (Laskar, 2017).
7. Pre-Startup Safety Review: En este paso se verifica en campo, inspeccionando que el cambio que se realizó coincide con las especificaciones de la documentación de ingeniería. Consiste en un conjunto de verificaciones que garantizan que cada parte asociada con el cambio se ha completado correctamente. Es decir, que un PSSR es la lista final de chequeo con la cual se verifica que todos los cambios denotados en el paquete de ingeniería se hayan realizado totalmente (Laskar, 2017). Por lo general un PSSR debe contener:
  - Revisar que el equipo cumple con las especificaciones de diseño y se ha instalado correctamente.
  - Verificar que se han desarrollado procedimientos adecuados de seguridad, operación, mantenimiento y que se actualizarán los procedimientos luego del cambio.
  - Verificar que todos los pendientes del análisis de riesgo han sido finalizados.
  - Comunicar a todo el personal de la organización que el cambio ha sido finalizado y que ya se debe contemplar ese equipo como un riesgo nuevo para todo el personal.

- Capacitar al personal con los procedimientos actualizados y el entrenamiento para el manejo de emergencias que resulte por la falla del cambio implementado.
8. Cierre de MoC: Una vez realizado los ítems anteriores se debe dar cierre al cambio. Es de suma importancia verificar que toda la información de seguridad de procesos se actualice antes del cierre del MoC (Laskar, 2017).

### **3. Estrategia de integridad**

#### **3.1. Meta y objetivos**

La meta de la estrategia es minimizar el riesgo de accidentes mayores por falla en demanda de los dispositivos de alivio de presión, por medio del aseguramiento del cumplimiento del estándar de desempeño que posee cada dispositivo. Los objetivos de la estrategia son:

- Definir el proceso de manejo de integridad para los dispositivos mecánicos de alivio de presión en su ciclo de vida.
- Definir como evaluar su desempeño y su frecuencia, así como el proceso de toma de decisiones a partir de estos resultados.
- Asegurar que todos los dispositivos de alivio de presión se encuentren identificados, se conozca su condición, riesgo asociado y posean un plan de intervención definido.
- Asegurar que el personal involucrado en todo el proceso, posee las competencias requeridas para garantizar el cumplimiento de los demás objetivos.

### 3.2. Alcance

Los dispositivos mecánicos de alivio de presión incluidos en la estrategia se relacionan en la tabla 2 y corresponden a los activos de las áreas de proceso en la Facilidad del CPF Floreña.

Tabla 2.  
*Tipos de dispositivos de alivio de presión*

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	TIPO
	Válvula de seguridad	
	Válvula de alivio	Convencional
Dispositivo de apertura y cierre	Válvula de alivio y seguridad	Balanceada
		Operada por piloto
	Válvula de venteo/vacío de presión	De contrapesas
Dispositivo de apertura sin cierre		Operada por piloto
	Disco de ruptura	Rayado (scored)

### 3.3. Definiciones y abreviaturas

Para el contenido general de la estrategia se utilizarán los siguientes términos, los cuales se definirán previamente:

- **Aplazamiento (Deferral):** Se refiere al proceso que permite evaluar el riesgo de aplazar o reprogramar una actividad de manejo de integridad (inspección, prueba, monitoreo,

mitigación, etc.) que ha sido planeada para ejecutar en una fecha específica y que por alguna razón no se puede ejecutar en dicha fecha.

- **Autorización:** La aprobación o acuerdo para realizar una actividad específica (por ejemplo, reparación) antes de que la actividad inicie.
- **Bloqueo (Car Seal):** Es un sello que cuando se instala en posición y se cierra, se bloquea permanentemente y debe ser físicamente cortado para ser removido. Puede ser instalado para indicar posición abierta (CSO) o cerrada (CSC).
- **Código:** Un documento publicado por una organización de desarrollo de normas (ODN) que debe ser considerado obligatorio para su uso dentro de su alcance indicado (diseño, fabricación, construcción, inspección, reparación, alteración).
- **Cascabeleo (Chattering):** Situación de una válvula convencional por operación inestable, producida por el incremento excesivo de la contrapresión que causa el rápido movimiento de apertura y cierre de la misma. Si el disco toca el asiento durante estos ciclos se denomina chattering, si no hay contacto entre estos se denomina fluttering. El cascabeleo o chattering causa daño a la válvula.
- **Como se recibió (As received):** Es la primera prueba que se realiza a un PRD para determinar su condición tal como se encontraba en servicio. Se realiza en banco o en línea, y se puede utilizar para determinar el intervalo de inspección.
- **Contrapresión:** Es la presión que existe en la descarga de un PRD como resultado de la presión en el sistema de descarga (ej: cabezal común para varios sistemas).

- **Falla:** Es una deficiencia en el PRD al abrir durante una situación de emergencia causando una condición de sobrepresión en el equipo protegido, resultando en pérdida de contención. Para los dispositivos de alivio de presión los modos de falla se agrupan en falla al abrir y fuga.
- **Falla al abrir:** Incluye apertura parcial de la válvula, atascamiento (la válvula no abre cuando se presuriza incluso hasta el 150% del CDTP (Cold Differential Test Pressure)) y apertura por encima del set de presión (fuera de los criterios de aceptación del código de construcción del equipo protegido).
- **Fuga:** Incluye pase interno, atascamiento del disco en posición abierta y apertura prematura de la válvula.
- **Inspección:** Actividades realizadas para verificar que los materiales, la fabricación, el montaje, las pruebas, las reparaciones, etc., cumplen con el código aplicable, la ingeniería y/o los requisitos de procedimiento del propietario. Incluye la planificación, implementación y evaluación de los resultados de las actividades de inspección.
- **Intervalo de inspección y pruebas:** Es el tiempo requerido para ejecutar la prueba de desempeño, esto es, verificación de presión de apertura, hermeticidad del asiento e inspección visual.
- **Intervalo de servicio:** Es el tiempo requerido para ejecutar un mantenimiento o desensamble (overhaul) de un PRD y retornarlo a su condición “como nueva”.
- **Overhaul:** Toda actividad realizada durante una intervención mayor a una válvula, en la cual se desensambla por completo, sus partes se inspeccionan y se reparan o reemplazan (como sea requerido) para dejarla en condición “como nueva”.

- **Práctica recomendada:** Un documento publicado por una organización de desarrollo de normas, que contiene guías o directrices y que generalmente no se considera obligatoria, pero que se debe seguir a menos que exista justificación para no hacerlo y en su lugar implementar otra alternativa.
- **Presión máxima de trabajo permitida (MAWP):** La presión manométrica máxima permitida, medida en la parte superior del recipiente a presión, en su posición de operación, para una temperatura determinada. La MAWP es la base para la definición del set de ajuste del dispositivo de alivio de presión que protege el recipiente.
- **Prueba de desempeño:** Actividad de mantenimiento realizada para confirmar que un PRD se encuentra dentro de los criterios de funcionalidad requeridos por diseño.
- **Reparación:** Los trabajos necesarios para restaurar una válvula o sus componentes a un estado propicio para la operación segura en las condiciones originales de diseño conforme a las especificaciones del fabricante.
- **Set de ajuste:** Es la presión en la entrada a la cual una válvula de alivio de presión se ajusta para abrir bajo las condiciones de servicio.
- **Sobrepresión:** Es el incremento de la presión de alivio por encima del set establecido en un PRD, permitido para alcanzar el flujo nominal. Se expresa en unidades de presión o como porcentaje del set de ajuste.
- **Tarea vencida (Overdue):** Actividad de manejo de integridad (Inspección, prueba, monitoreo, mitigación, etc.) que fue planeada para ejecutar y que no se realizó en el tiempo previsto y en consecuencia debe ser ejecutada de inmediato o reprogramada documentando el proceso.

De igual manera se definieron las siguientes abreviaturas en la tabla 3 las cuales serán mencionadas a lo largo del trabajo:

Tabla 3.  
*Abreviaturas*

<b>ABREVIATURA</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
API	American Petroleum Institute
BPVS	Boiler and Pressure Vessel Code (ASME)
FFS	Fitness For Service
MAWP	Maximum Allowable Working Pressure
NDE	Nondestructive examination
NBIC	National Board Inspection Code
RBI	Risk Based Inspection
OH	Overhaul

### **3.4. Ciclo de manejo de integridad para los dispositivos de alivio de presión**

El ciclo de vida normal de estos dispositivos está estrechamente relacionado con el activo que protegen y arranca con la especificación para compra y/o fabricación, construcción y montaje, comisionamiento y puesta en marcha, y por último la operación del activo, la cual incluye el desmantelamiento o abandono seguro. Para cada una de estas fases se deben seguir en rigor las especificaciones que apliquen en cada uno de los códigos o estándares referenciados en la tabla 3. Los detalles y requerimientos para cada una de estas etapas se detallan posteriormente.

### ***3.4.1. Integridad en operación***

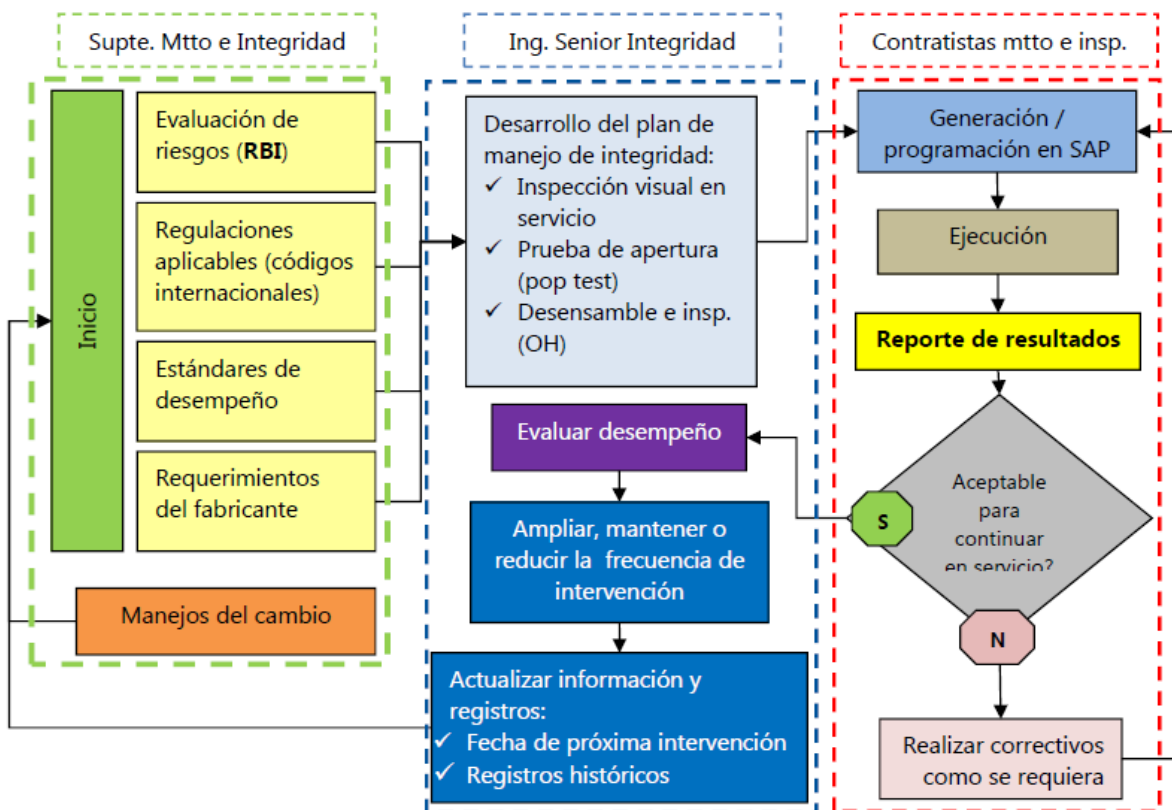
La estrategia de manejo de integridad para PRDs en la fase de operación tiene por objeto asegurar su disponibilidad durante un requerimiento por sobrepresión en exceso o situación de demanda en servicio, garantizando su funcionamiento dentro de los estándares de desempeño.

**3.4.1.1. Cumplimiento de códigos y estándares de la industria.** En la fase de operación serán de estricto cumplimiento los siguientes códigos y estándares de la industria, según el tipo de dispositivo y el activo a proteger:

- API 576 – Inspection of Pressure-Relieving Devices.
- API 527 – Seat Tightness of Pressure Relief Valves.
- API 520 – Sizing, Selection, and Installation of Pressure-Relieving Devices in Refineries Part II – Installation.
- API 2000 – Venting Atmospheric and Low-Pressure Storage Tanks.
- ASME PTC 25 – Pressure Relief Devices.
- API 510 – Pressure Vessel Inspection Code.
- API 570 – Piping Inspection Code.
- API 653 – Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction.

**3.4.1.2. Filosofía del manejo de integridad para los dispositivos de alivio de presión.** El programa de manejo de integridad en la fase de operación va encaminado fundamentalmente a administrar las barreras contra las amenazas a la integridad, a través de la identificación y evaluación adecuada de riesgos, generando planes de acción para eliminarlos, prevenirlos, controlarlos, mitigarlos o en última instancia planes de contingencia para reducir sus impactos, y segundo el seguimiento al proceso, para evitar excursiones más allá de los límites operacionales. El proceso se monitoreará de acuerdo al flujograma presentando en la figura 14.

Figura 14.  
Flujograma del proceso para el manejo de integridad de los PRDs en servicio



**3.4.1.3. Manejo y entendimiento del riesgo.** La figura 11 ilustra que una herramienta fundamental con la que se inicia el proceso de manejo de integridad de los PRDs, es el ejercicio de inspección basada en riesgo.

Estos ejercicios nos permiten en primera instancia evaluar la probabilidad de ocurrencia de una falla en demanda y su consecuencia, lo cual a su vez nos ayuda a focalizar los esfuerzos y priorizar recursos, y en segunda instancia nos ayuda a definir los intervalos de inspección con un criterio objetivo basado en su condición, con lo cual se garantiza la gestión de integridad del activo. En otras palabras, a través de los ejercicios de RBI se establece un entendimiento del riesgo y un plan de inspección detallado para cada dispositivo de alivio de presión para su manejo y control. El ejercicio de RBI debe ser multidisciplinario en el cual deben participar las siguientes disciplinas (Figura 15):

Figura 15.

*Grupo multidisciplinario necesario para la realización de un ejercicio de RBI*



**3.4.1.4. Planes de manejo de integridad.** Los planes de manejo de integridad se hacen de largo plazo (plan bianual), mediano plazo (plan anual) y de corto plazo (plan de seis semanas), estos planes indican la actividad, incluyendo además el tipo de intervención por hacer, pero no detallan el cómo se debe realizar; esto se detalla en el plan de actividad para cada dispositivo. El plan detallado debe incluir como mínimo:

- a. Tipo de intervención y alcance: Los tipos de intervención que se desarrollan en dispositivos de alivio de presión son básicamente (Figura 16):

Figura 16.

*Tipos de intervención que se realizan a los dispositivos de alivio de presión*



- b. Próxima fecha de ejecución para cada tipo de intervención (fecha límite). Puede también ser calculada a partir del resultado de la última inspección.
- c. Otros requerimientos:
- Criterios de aceptación establecidos en el estándar de desempeño.
  - Copia de la última versión del P&ID que relacione el dispositivo a intervenir.
  - Definición de los requisitos especiales de acceso.
  - Definición de los aislamientos de proceso a ejecutar.
  - Confirmación de la disponibilidad de partes y/o repuestos.

- Acceso a la data sheet o manuales del fabricante donde se relacionen las tolerancias dimensionales de los componentes o partes en caso de requerirse.

En general el plan detallado debe responder ¿Qué?, ¿Dónde?, ¿Cuándo?, ¿Quién?, ¿Cómo? y ¿Por qué? de la actividad. La planeación y en general el manejo de la información que se deriva del manejo de la integridad en la fase de operación se llevará en la herramienta corporativa SAP, apoyándose en Livelink como reservorio de información (procedimientos, reportes de inspección, reportes de reparación, etc.).

**3.4.1.5. Ejecución.** La intervención de un PRD es una tarea delicada que requiere que todo el personal que desarrolla actividades sobre los mismos posea las competencias y el entrenamiento adecuado de manera que se garantice siempre la confiabilidad de los resultados.

A continuación, se describen las competencias mínimas requeridas para el personal involucrado en dichas tareas y en la figura 17,18 y 19 se encuentran los arboles de decisión que relacionan en detalle las etapas de estos procesos.

Figura 17.

*Diagrama de decisión para las etapas de ejecución para dispositivos nuevos*



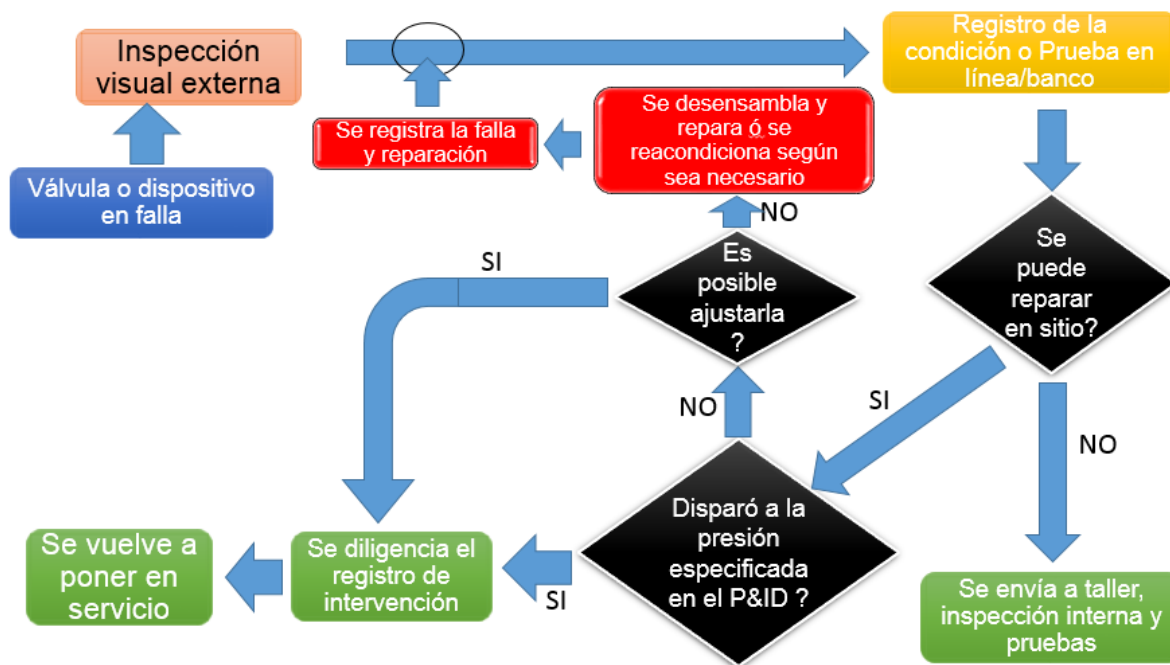
Figura 18.

Diagrama de decisión para las etapas de ejecución para dispositivos en servicio



Figura 19.

Diagrama de decisión para las etapas de ejecución para dispositivos en falla



1. Ingeniero de Soporte/Inspector:

- Conocimiento y manejo del estándar para inspección de PRDs – API 576.
- Conocimiento de códigos de inspección API 510/570/653/NB.
- Conocimientos de inspección basada en riesgo (RBI).
- Interpretación de P&IDs (Piping and Instrumentation Diagram).
- Curso de mantenimiento y reparación de válvulas de seguridad según API 576.
- Manejo de manuales y fichas técnicas del fabricante de las válvulas.

2. Supervisor de Mantenimiento:

- Conocimiento y manejo del estándar para inspección de PRDs – API 576.
- Curso de mantenimiento y reparación de válvulas de seguridad según API 576.
- Conocimiento de los procedimientos internos de inspección, pruebas y mantenimiento de válvulas.
- Manejo de manuales y fichas técnicas del fabricante de las válvulas.

3. Técnico de Mantenimiento:

- Curso de mantenimiento y reparación de válvulas de seguridad según API 576.
- Conocimiento de los procedimientos internos de inspección, pruebas y mantenimiento de válvulas.
- Interpretación de P&IDs (Piping and Instrumentation Diagram).

- Manejo de manuales y fichas técnicas del fabricante de las válvulas.

**3.4.1.6. Evaluación del desempeño.** La evaluación del desempeño de cada dispositivo se realiza con base en los resultados de las intervenciones ejecutadas en el periodo. Esta información retroalimenta tanto el modelo de riesgo como la herramienta SAP, y se lleva a cabo cada año para los PRDs intervenidos en el mismo periodo, con una actualización global del estatus de riesgo cada 5 años (revalidación de los resultados de RBI).

**3.4.1.7. Medición del desempeño.** La medición del desempeño de la estrategia se realiza por medio de una auditoria interna anual, en la cual se verifica el cumplimiento de los elementos citados en este documento. Los indicadores de gestión para la estrategia de integridad en la fase de operación son:

1. Cantidad de pruebas ejecutadas sobre PRDs que fueron completadas a tiempo / número total de pruebas planeadas (mensual).
2. Deferrals o aplazamientos en el periodo: 0 (tolerancia 2 por año).
3. Falla de PSV en demanda: 0.

## **4. Práctica local de manejo de integridad**

### **4.1. Introducción y alcance**

Esta práctica describe con brevedad las actividades a tener en consideración en cada una de las etapas del ciclo de vida de los dispositivos mecánicos de alivio de presión, con el objeto de asegurar la integridad mecánica y operacional de los equipos referenciados.

Esta estrategia aplica para el manejo de los PRDs instalados en las facilidades de procesamiento de gas y crudo de Equión en Floreña. Para los equipos propiedad de terceros, instalados y operando dentro de la facilidad, se debe garantizar que dentro del contrato de servicios se incluya un anexo de integridad donde el contratista se compromete y demuestra que mantiene la integridad de sus equipos bajo sus estándares y de acuerdo con los requerimientos específicos de Equión. En el Apéndice A puede consultar el documento oficial emitido en Equion Energía Limited.

### 4.2. Manejo de riesgos

La estrategia está enfocada a asegurar el nivel de integridad de los dispositivos mecánicos de alivio de presión a lo largo del ciclo de vida y como tal está basada en el manejo de los riesgos. En la figura 20 se ilustra de forma gráfica el esquema general del manejo de los riesgos para los PRDs.

Figura 20.

*Esquema para el manejo de riesgos de los dispositivos de alivio de presión*



En la figura 21 podemos observar la estrategia generalizada del ciclo de vida para los dispositivos de alivio de presión.

Figura 21.  
Estrategia del ciclo de vida para dispositivos de alivio de presión

Estándares	Etapa del ciclo de vida	R&R	TP/Procedimientos/Softw
- API 526 Flanged Steel Pressure relief Valves - API 521 Pressure relieving and Depressuring Systems - API 527, Seat Tightness of Pressure Relief Valves	Definición del requerimiento	- Líder de Ingeniería (R) - Autoridad Técnica	- Data Sheets - Software PSV Plus o Similar
	Diseño		
	Compra & fabricación	- PSCM Lead (R) - Líder de Ingeniería (S)	- Data Sheets - PRL-0259 Purchase Quality Requirements
	Evaluación & aceptación	- Autoridad Técnica (S) - QA/QC Leader (R)	- Orden de Compra - Anexos - Data Sheets
ASME B 31.3 Process Piping ASME Sect. VIII Div. 1/2 Rules for Construction of Pressure Vessel API 650 Welded Tanks for Oil Storage	Montaje & pruebas	- Gerente de Construcción (R)	- PRL- Commissioning. - QA & ITP Plan - Formato 123 certificación
	Aceptación Mecánica	- Gerente Commissioning (R) - QA/QC Leader (S)	
	Commissioning		
API 576 Inspection of Pressure-relieving Devices	Operación	- Spte Operaciones (R) - Ing de Integridad (R)	- OPS RT-657 Operaciones - PRL Inspección PSVs
	Inspección en sitio	- Spte Mantenimiento (R) - Autoridad Técnica válvulas	Proceso de Inspección y Mantenimiento PSVs - Procedimientos de Pruebas y Reparación PSVs - Plan Shut Down - RBI Software - Máximo - SAP- Software
	Mantenimiento, Reparación		
	Alteraciones, Rerating & Extensión de vida		
En Desarrollo	Decommissioning	- Spte Mantenimiento (R) - Autoridad Técnica Válvulas (S)	- Datos Históricos - Ratas de Corrosión. - Registros de Inspección y ensayos - Evaluaciones de Integridad Mecánica
	Desmantelamiento, retiro y abandono		

#### **4.2.1. Requerimientos**

Para los dispositivos mecánicos de alivio de presión, se deben seguir los siguientes códigos y/o estándares de la industria:

- API – 521 Pressure-relieving and Depressuring Systems.
- API – 526 Flanged Steel Pressure Relief Valves.
- API – 527 Seat Tightness of Pressure Relief Valves.
- ASME, Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Rules for Construction of Pressure Vessels.
- API Std 650, Welded Steel Tanks for Oil Storage.

#### **4.2.2. Diseño**

La especificación del dispositivo mecánico de alivio de presión debe ser ejecutada una vez los PHA, han sido consolidados y como tal ya existe la información suficiente para emitir la especificación del dispositivo de alivio. Una vez efectuado los análisis, simulaciones y estudios de ingeniería, el dispositivo de alivio de presión y/o vacío debe ser especificado en una tabla de datos tipo “Data Sheet”.

#### **4.2.3. Compra y fabricación**

El dispositivo de alivio de presión debe estar especificado en un “Data Sheet” y este será el documento usado para efectos de propuestas, cotizaciones y finalmente hará parte fundamental de la orden de compra.

#### ***4.2.4. Evaluación y aceptación***

El grupo de aseguramiento de calidad o el proceso de manejo de calidad en compras efectuara el aseguramiento durante el proceso de fabricación y/o montaje en la fábrica, basado estrictamente en la orden de compra y el “Data Sheet”.

#### ***4.2.5. Documentación***

La empresa de ingeniería deberá entregar como parte de los documentos finales del proyecto la identificación de cada uno de los dispositivos de alivio de presión:

- Clasificación como un Equipo Crítico de Seguridad (SCE) si así lo amerita.
- Data Sheet.
- Cálculos de la simulación según el software usado, tal como PSVs plus.

#### ***4.2.6. Competencias requeridas***

El diseño de un dispositivo de seguridad debe ser ejecutado por un Ingeniero de Proceso con amplia experiencia y con conocimientos en el manejo de un simulador para cálculos con los PRDs.

### **4.3. Construcción y comisionamiento**

La construcción y el Commissioning es la Fase 2 del ciclo de vida del activo y es en esta etapa donde se debe asegurar que los dispositivos mecánicos de alivio de presión se han instalado adecuadamente siguiendo las prácticas de construcción y el diseño establecido para cada sistema.

#### ***4.3.1. Montaje y pruebas***

En la etapa de construcción se deben seguir los lineamientos establecidos para el montaje y según los estándares de la industria y las buenas prácticas constructivas, entre otros los siguientes estándares deben ser primordialmente considerados:

- ASME B 31.3 Process Piping.
- ASME Sect. VIII Div. 1/2 Rules for Construction of Pressure Vessel.
- API 650 Welded Tanks for Oil Storage.

#### ***4.3.2. Aceptación mecánica***

Los procesos de QA/QC (Quality Assurance / Quality Control) mediante el seguimiento al plan de calidad y al plan de inspección y pruebas ITP debe ser monitoreado y asegurar que los dispositivos de alivio de presión se han instalado correctamente y se han aceptado según los diseños establecidos.

#### ***4.3.3. Comisionamiento***

En esta etapa igualmente se debe asegurar que todas las actividades de comisionamiento se siguen de acuerdo a las prácticas y procedimientos establecidos por Equion PRA-316 “Completamiento Mecánico, actividades tales como fabricación en sitio, construcción y pruebas, levantamiento de los registros de certificación y aceptación y los documentos de Handover”.

#### **4.3.4. Documentación**

Durante la etapa de construcción y commissioning los siguientes documentos deben ser emitidos y entregados a la operación:

- Manual del fabricante.
- Registro de aceptación por comisionamiento.
- Registro de calibración.

#### **4.4. Operación**

La fase III del ciclo de vida está diseñada para asegurar que todos los dispositivos de alivio de presión sean operados y mantenidos dentro de los límites y estándares de diseño y operación.

En esta fase es necesario asegurar que los siguientes aspectos sean contemplados y manejados apropiadamente.

- Mantener la información actualizada según los MoC (Manejos del cambio) ejecutados y actualizar la información correspondiente a los set de disparo de las válvulas de seguridad.
- Establecer y seguir el proceso de identificación y manejo de las amenazas que conllevan a la degradación de los dispositivos.
- Las válvulas de seguridad deben operar adecuadamente según las condiciones operacionales de los equipos y registrar las desviaciones cuando estas se presenten.

#### ***4.4.1. Inspección en sitio***

Para asegurar que la fase III del ciclo de vida de los dispositivos de alivio de presión se efectúa apropiadamente es necesario seguir los siguientes códigos o estándares de la industria:

- API-576 Inspection of Pressure-Relieving Devices.
- API-510 Pressure Vessel Inspection Code.
- API-653 Tank Inspection.
- API-570 Piping Inspection Code: In-service Inspection.
- National Board Code NB-23: National Board Inspection Code.

#### ***4.4.2. Mantenimiento, reparación y reemplazo***

En la fase de mantenimiento es necesario asegurar que los siguientes aspectos sean contemplados y manejados apropiadamente:

1. Que se disponga y se siga el procedimiento de mantenimiento de los dispositivos.
2. Que las válvulas y dispositivos de alivio de presión sean tratados como SCE (Safety Critical Equipment) según corresponda y se siga la práctica establecida.
3. Que la estrategia de Re-certificación sea actualizada y seguida según corresponda.
4. Que se siga la estrategia de manejo de corrosión.
5. Que se establezca el desempeño operativo de cada una de las válvulas de seguridad (registrando y midiendo los indicadores de desempeño KPI).

Para asegurar el buen desempeño de los dispositivos mecánicos de alivio de presión se deben seguir los lineamientos de cada procedimiento de inspección que posee cada dispositivo de alivio de presión, el cual establece las pautas a seguir para mantener en la operación los dispositivos con el nivel de integridad mecánico en condiciones satisfactorias. El proceso en general se observa en la figura 22.

Durante esta etapa es fundamental recopilar toda la información referente al comportamiento del dispositivo de alivio relacionado con mecanismos de daño y desviaciones detectadas durante la operación, pruebas o mantenimiento. La información debe ser consignada en el formato establecido y disponible para consultar por cualquiera de la organización.

La información relacionada con inspecciones y mantenimiento debe ser consignada en la herramienta del CMMS tal como SAP, donde se debe reflejar el historial de mantenimiento, inspección y los modos de falla establecidos para este tipo de equipos que fundamentalmente son:

- Falla al abrir.
- Falla al cerrar.
- Aperturas esporádicas.
- Apertura por arriba del 10% del set de presión
- Fuga interna.
- Pop Test – Pre-Overhaul mayor al 130% del CDTP.

Los programas de inspección y mantenimiento deben ser ejecutados por personal de competencia apropiada y la empresa que ejecuta esta actividad deseablemente debe tener la aprobación por parte de un ente certificador como “VR” Repairs to Pressure Relief Valves o un programa similar que acredite la competencia.

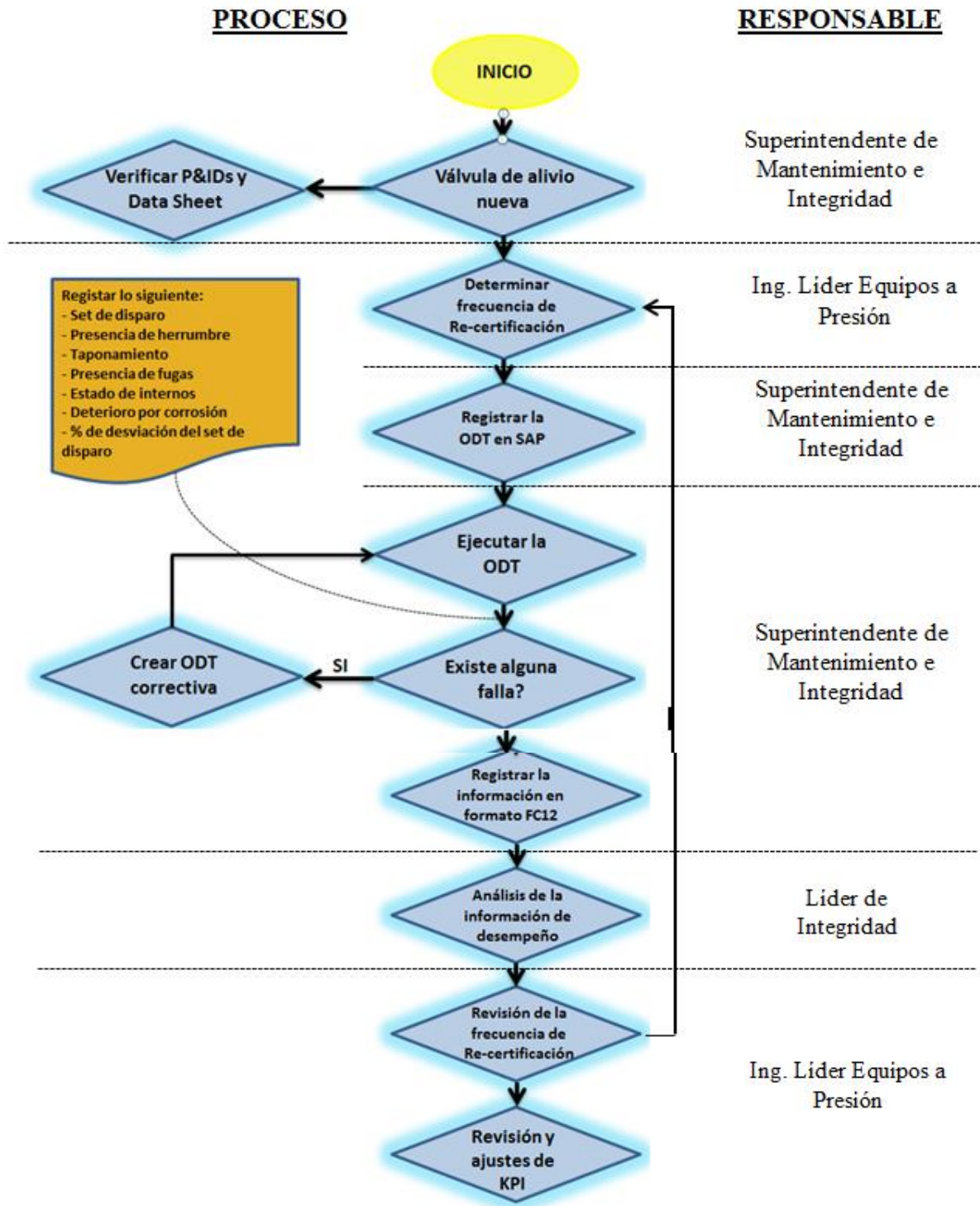
Las válvulas de seguridad deben tener un plan de recertificación cuya frecuencia depende de una evaluación detallada de la funcionalidad e historia operacional, fundamentalmente la frecuencia de recertificación es el producto de una evaluación basado en riesgo tipo RBI. El cambio de frecuencia de recertificación debe ser aprobado por la autoridad técnica de válvulas o su delegado y obedece a un manejo formal de MoC (Manejo del cambio).

#### ***4.4.3. Alteraciones, re-rating y extensión de vida***

Los dispositivos de alivio de presión, no deben ser alteradas, de-rateadas sin el debido manejo del cambio y siguiendo las respectiva aprobación de la Autoridad Técnica.

Durante el mantenimiento es necesario asegurar que los siguientes aspectos de documentación sean contemplados y manejados apropiadamente.

Figura 22.  
Proceso general con los responsables en cada ciclo



#### ***4.4.4. Documentación***

La siguiente información debe estar disponible y al alcance de las autoridades técnicas que estén involucradas en todo el proceso:

- Registro de cada una de las intervenciones (Preventivas y Correctivas).
- Registro de los eventos o desviaciones al buen funcionamiento.
- Frecuencia, tipo y modo de falla de cada uno de los dispositivos de alivio de presión.
- Análisis de criticidad de asignación de frecuencias de re-certificación.

#### ***4.4.5. Competencias***

Los programas de inspección y mantenimiento deben ser ejecutados por personal de competencia apropiada y la empresa que ejecuta esta actividad deseablemente debe tener la aprobación por parte de un ente certificador como VR Repairs to Pressure Relief Valves o un programa similar que acredite la competencia.

### **4.5. Decomisionamiento (Abandono)**

La fase IV del ciclo de vida de los dispositivos de alivio de presión es el aseguramiento del apropiado decomisionamiento y abandono de los equipos.

Durante esta fase del ciclo de vida es necesario asegurar todos los aspectos relacionados con seguridad, salud y medio ambiente y que todos los requerimientos regulatorios han sido

cumplidos. En esta etapa es necesario usar el apropiado manejo del cambio (MoC) y asegurar que toda la documentación sea actualizada y se encuentra al alcance de los interesados. Algunas de las actividades a desarrollar en esta fase son:

- Apropiado drenaje y limpieza de los equipos.
- Buena disposición o almacenamiento de los equipos.
- Actualización de la base de datos SAP.
- Actualización de procedimientos operacionales.
- Evaluaciones de integridad mecánica.
- Disposición para reutilizar.
- PRDs De-rating.

Y de igual manera la siguiente información debe estar disponible para el manejo adecuado de estos dispositivos.

- Actualización de la documentación (P&IDs).
- Procedimientos operacionales actualizados.
- Registro de desmonte de las bases de datos.
- Registro del estado mecánico final del dispositivo.

#### 4.6. Gestión de desempeño

El desempeño de los dispositivos de alivio de presión está fundamentado en mantener la integridad operacional a lo largo del ciclo de vida del proyecto. En la tabla 4 están contemplados los indicadores de desempeño según cada modo de falla.

Tabla 4.  
*Indicadores de gestión de desempeño*

<b>KPI</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>FORMULA MEDICIÓN</b>	<b>META</b>	<b>FRECUENCIA</b>
1	PSVs en Overdue	(No PSVs planeadas) – (No rutinas ejecutadas)	0	Mensual
2	Falla en demanda	Número de eventos en que el PRD no abre a la presión de set.	0	Trimestral
3	Falla posterior a la demanda	Número de eventos en los cuales el PRD no re-asienta después de la apertura	0	Trimestral
4	Fuga interna	Número de eventos que se detecta fuga a través del asiento de la válvula	0	Trimestral

Para la correcta implementación y medida de los indicadores de desempeño se hace necesario que todo evento o desviación al buen comportamiento operativo de los PRDs debe ser investigado e identificado la causa raíz de acuerdo con la Práctica Local Técnica de Equion – “Gestión de incidentes”.

Igualmente esta fase y práctica que se está contemplando debe ser verificada para su cumplimiento al menos una vez cada año por el grupo de aseguramiento técnico, donde primordialmente se verificara:

- Estado de integridad de los dispositivos de alivio de presión.
- Revisión de los indicadores de desempeño.
- Captura de lecciones aprendidas.
- Opciones de mejora y retroalimentación.

## 5. Estándar de desempeño

### 5.1. Tratamiento de la información

Para la realización del estándar de desempeño se debió en primera instancia depurar el inventario de los PRDs que se tenía en el momento ya que se encontraba desactualizado y existían muchos dispositivos que ya habían sido retirados durante el proyecto de expansión de la facilidad de Floreña. Fue necesario realizar nuevamente el inventario para evidenciar la cantidad real de dispositivos, este proceso se realizó con registro fotográfico y con el acompañamiento de un inspector certificado. En el registro fotográfico se tomaban evidencias del tag, tipo de PRD, sistema en donde se ubicaba y la placa del fabricante, se puede ver en la figura 23. En la tabla 5 se detalla los resultados del proceso de depuración del inventario:

Tabla 5.  
*Depuración del inventario de PRDs*

<b>CANTIDAD DE PRDs ANTES</b>	<b>CANTIDAD DE PRDs ACTUAL</b>
608	540

Figura 23.

Registro fotográfico en el proceso de depuración del inventario de PRDs



Los factores por los cuales se encontró una diferencia significativa en la cantidad de PRDs inventariados fueron:

- Equipos desmantelados, es decir, algunos equipos fueron retirados de las instalaciones del CPF Floreña debido al proyecto de expansión de manejar 100MMSCFD a manejar alrededor de 600MMSCFD de gas.

- PRDs con tags diferente, se notó que algunos dispositivos de alivio de presión no contaban con la misma codificación que se tenía en los P&IDs y que en campo aparecían con un numero de tag diferente, esto se concateno con el listado que aparecía en la plataforma SAP y se pudo resolver este inconveniente.
- Algunos subsistemas de los equipos habían sido modificados por alguno de los manejos del cambio que se implementaron en la facilidad, esto resulto en el retiro de PRDs, pero estos no fueron retirados de la plataforma SAP. Se realizó el listado de estas PRDs y se retiró del sistema SAP.
- También se detectó que varios dispositivos de alivio de presión estaban en campo y en los planos pero no se localizaban en el sistema SAP. A estos dispositivos fue necesario realizarles un estándar de desempeño y un plan de inspección para poderlos adicionar al sistema SAP.

Luego de finalizado este proceso se realizó el listado total de PRDs operativas en las facilidades de Floreña, este listado se tabulo en un libro Excel, en donde se recopilaron los siguientes datos, que son mostrados en el Apéndice B.

## **5.2. Modelo estándar de desempeño**

Los dispositivos de alivio de presión deben ser probados periódicamente para asegurar que se encuentran operativos, y que si son demandados podrán actuar de acuerdo a los requerimientos del código aplicable. Dichas pruebas incluyen verificar el set de ajuste de presión o presión de apertura, reasiento y hermeticidad, y se pueden llevar a cabo en un banco de prueba o en sitio con el mismo fluido de servicio o con otro medio de prueba apropiado.

La aceptabilidad de los resultados de estas pruebas estará gobernada por el código de construcción original del activo que protege o el estándar de desempeño de la compañía.

El estándar de desempeño es un documento el cual es auditable y en él se lleva la trazabilidad de las pruebas y el estado de cada dispositivo de alivio de presión. Cada compañía puede o no tener su respectivo estándar de desempeño. Para Equion Energía Limited se definió un formato en el cual está consolidada toda la información que se debe tener disponible al momento de ejecutar los respectivos planes de inspección de cada dispositivo. La información que se definió en el estándar de desempeño fue distribuida de manera tal que sea accesible y entendible para los miembros interesados de la compañía.

El estándar de desempeño está definido en 5 partes las cuales son:

1. Información General: En esta sección están definidos los aspectos generales del dispositivo tales como:
  - **Locación**: Facilidad de procesamiento de crudo y gas donde se encuentra el dispositivo de alivio de presión.
  - **Sistema**: Equipo al cual pertenezca. Generalmente las facilidades de producción se encuentran subdividas por sistemas como: deshidratación, compresión de media presión, compresión de alta presión, separación, tratamiento de crudo, bombeo y exportación y tanques de almacenamiento.
  - **Activo protegido por el PRD**: Número de tag del equipo o línea al cual el PRD está protegiendo. Generalmente se utiliza la simbología que tenga cada compañía.

- **Tag del PRD:** Código alpha-número que posee cada dispositivo y que es único para cada uno. Estos códigos se utilizan para facilitar la búsqueda del PRD, tanto en campo como en los P&IDs.
  - **Fabricante:** Entidad que construye y diseña el dispositivo de alivio de presión. En PRDs tenemos los siguientes fabricantes más conocidos: Broady Flow Control, Conbranco Industries, Crosby, Andersson Greenwood, Farris, etc.
  - **Modelo:** Esquema que utiliza cada fabricante para definir los tipos de PRDs.
  - **Número de serie:** Código alpha-número que posee cada fabricante para la identificación del dispositivo en su inventario interno.
  - **Tipo:** Tipo de dispositivo de alivio de presión con el que se está tratando.
  - **Presión de ajuste:** Presión a la cual está el set-point del PRD, es decir, presión a la cual el PRD se encuentra operativo, por encima de esta presión la válvula debería actuar.
  - **P&ID:** Plano de proceso al cual pertenezca el PRD. El P&ID (Piping and Instrumentation Diagram) es un diagrama que muestra el flujo de proceso de los equipos, tuberías e instrumentación instalados en cada sistema.
  - **Fecha de la última intervención:** Fecha en la cual se realizó el último plan de inspección al PRD.
2. Marco conceptual: En esta sección se encuentran unas pequeñas reseñas sobre el alcance, las metas de seguridad, una breve descripción del dispositivo y documentos de referencia que se tuvieron en cuenta al realizar el estándar de desempeño.

3. Pruebas: En esta sección se tabulo la información de manera que fuera entendible para el inspector que realizaría los próximos planes de inspección de cada PRD. En la tabla del formato se encuentra el tipo de identificador, una descripción de la prueba, el criterio de desempeño, el método de aseguramiento y la frecuencia a la cual se debe realizar la siguiente prueba.
4. Inspección: En esta sección igualmente se tabulo la información como en la sección anterior, a diferencia que en esta sección no se realiza ninguna prueba al PRD, solo son criterios de tipo visual, en el cual también se tienen los tiempos de frecuencia de los planes de inspección.
5. Validación: Sección legal donde se encuentran las firmas con fecha y nombre de las personas que tienen a cargo toda el área de mantenimiento e integridad en la facilidad.

En el Apéndice C se encuentra un ejemplo de cómo se realizó el estándar de desempeño para dos dispositivos de alivio de presión que se encuentran ubicados en las facilidades de producción de Equion.

Mediante la realización del estándar de desempeño los auditores pueden ver la trazabilidad de las pruebas y los tiempos de ejecución de las mismas. Los estándares de desempeño se mantienen actualizados y accesibles para las personas interesadas mediante el uso de dos software que tiene la organización. Los softwares utilizados son:

1. **Plataforma Livelink**: Usada por los miembros pertenecientes solo a Equion. Esta plataforma es una herramienta que tiene como principal objetivo el almacenamiento y archivado automático de la información, la cual se podrá consultar en línea desde cualquier ordenador

que tenga instalado el programa. La plataforma es muy utilizada por grandes compañías ya que tiene un gran almacenamiento de información, y a la cual se puede subir cualquier tipo de archivo y ser compartido por los miembros de la compañía.

2. **Plataforma SAP:** Usada por los contratistas y algunos miembros de Equion. SAP (Systems, Applications, Products in Data Processing) es un sistema informático que le permite a las empresas administrar la información de recursos humanos, empleados, financiera, productiva, operativa, etc. En esta plataforma se tiene toda la información del estándar de desempeño para todos los dispositivos de alivio de presión de la facilidad. Esta información puede ser consultada por los mantenedores y por los operadores. Esta herramienta lleva la trazabilidad de todos los planes de inspección que se realizan a cada PRD.

## 6. Conclusiones

La estrategia de manejo de integridad es una buena práctica que deberían manejar la mayoría de compañías del sector hidrocarburos, ya que con este documento se minimiza el riesgo de accidentes mayores por la falla de alguno de los dispositivos de alivio de presión que se encuentren en dicha facilidad de procesamiento. La estrategia muestra un proceso completo que se debe realizar para mantener en operatividad los PRDs, ya que define unos lineamientos en los cuales asegura que el ciclo de manejo de integridad se cumple, es accesible y auditable por cualquier autoridad técnica de la empresa.

Realizar desde la estrategia de manejo de integridad una práctica local técnica para la compañía, vuelve más riguroso el proceso de manejo de estos dispositivos de alivio de presión. Debido a que en la estrategia el proceso de manejo de integridad es emitido de manera general, pero con la práctica cada gestión de los procesos del ciclo de integridad de los PRDs es mucho más específica, ya que define roles y responsabilidades para cada departamento que esté involucrado en el ciclo de integridad.

El modelo de estándar de desempeño que se realizó para cada PRD de la facilidad de Floreña nos da la frecuencia con la cual se deben realizar los planes de inspección de cada dispositivo. Este proceso es importante ya que con ello se lleva la trazabilidad de las inspecciones que se le realizan a cada PRD, y con estas inspecciones utilizando el modelo RBI se pueden cambiar los intervalos de tiempo de las pruebas de desempeño de cada dispositivo. El formato que se definió para el estándar es fácilmente entendible por cualquier inspector, debido a que muestra los datos de una forma clara, ordenada y concisa.

El proceso de manejo del cambio (MoC) es simple pero muy robusto ya que ayuda a garantizar que los riesgos asociados con el cambio a implementar se gestionen adecuadamente y que todos los miembros de la organización los conozcan. Por lo tanto, un proceso MoC que este bien diseñado es una herramienta esencial de gestión de riesgos, y que asegura que los cambios sigan un ciclo riguroso y que estén siempre acompañados con personal competente, y que cada integrante conozca sus roles y responsabilidades durante todo el proceso.

## **7. Recomendaciones**

Se recomienda que la estrategia de manejo de integridad y la práctica local técnica sean actualizadas cada año ya que los códigos y estándares de la industria se están modificando con frecuencia, con esto se asegura que el ciclo de manejo de integridad que se define en la estrategia esté acondicionado con los procesos actuales de cualquier compañía.

Se recomienda que la compañía que desee implementar esta estrategia la acondicione a los procesos y departamentos que se encuentren en ella, y que involucre a todos los miembros que hagan parte del ciclo de integridad, ya que con ello efectuara un proceso robusto, eficaz, entendible y riguroso para el manejo de los dispositivos de alivio de presión.

Se recomienda que se utilice otro proceso de valoración de riesgos para la realización de la estrategia y del estándar de desempeño de cada PRD, tal como un análisis HAZOP o LOPA.

**Referencias Bibliográficas**

- American Petroleum Institute. (2014). *Pressure-Relieving and Depressuring Systems – API 521*. (6 ed.). Washington, United States: Editorial API.
- American Petroleum Institute. (2014). *Pressure Vessel Inspection Code – API 510*. (10 ed.). Washington, United States: Editorial API.
- American Petroleum Institute. (2014). *Seat Tightness of Pressure Relief Valves – API 527*. (4 ed.). Washington, United States: Editorial API.
- American Petroleum Institute. (2014). *Venting Atmospheric and Low-Pressure Storage Tanks – API 2000*. (7 ed.). Washington, United States: Editorial API.
- American Petroleum Institute. (2015). *Sizing, Selection and Installation of Pressure-Relieving Devices in Refineries – API 520*. (6 ed.). Washington, United States: Editorial API.
- American Petroleum Institute. (2016). *Piping Inspection Code – API 510*. (4 ed.). Washington, United States: Editorial API.
- American Petroleum Institute. (2016). *Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction – API 653*. (5 ed.). Washington, United States: Editorial API.
- American Petroleum Institute. (2016). *Risk-based Inspection – API 580*. (3 ed.). Washington, United States: Editorial API.
- American Petroleum Institute. (2016). *Risk-based Inspection Technology – API 581*. (3 ed.). Washington, United States: Editorial API.
- American Petroleum Institute. (2017). *Inspection of Pressure-relieving Devices – API 576*. (4 ed.). Washington, United States: Editorial API.

Laskar, Sandipan. (2017). Implementing an Effective Management of Change MOC System for Upstream Oil and Gas Industry. *Society of Petroleum Engineers*. doi: 10.2128/184432-MS.

Mohammad, A. Malek. (2016). *Pressure Relief Devices*. New York, United States: Editorial McGraw-Hill.

Oliver, Michael H. (2002). Plant Integrity Management Reviews. *Society of Petroleum Engineers*. doi: 10.2128/78542.-MS.