

GESTIÓN DE ACTIVOS PARA ASEGURAR LA INTEGRIDAD EN VÁLVULAS DE
CORTE EN LAS INSTALACIONES DE EQUIÓN, CAMPO FLOREÑA, YOPAL
CASANARE

DIEGO FERNANDO PINZÓN DELGADO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2018

GESTIÓN DE ACTIVOS PARA ASEGURAR LA INTEGRIDAD EN VÁLVULAS DE
CORTE EN LAS INSTALACIONES DE EQUIÓN, CAMPO FLOREÑA, YOPAL
CASANARE

DIEGO FERNANDO PINZÓN DELGADO

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

DIRECTOR
ABEL ANTONIO PARADA CORRALES
MS.C EN INGENIERÍA MECÁNICA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2018

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mi madre Betsabé y familia Delgado Delgado, por su apoyo incondicional, entrega y amor sin medida, lo cual fue motor para la realización de este logro.

A mi tía, Anny, por su sabiduría y orientación en este transitar de la vida.

A mi tío Luis Earles y familia, por abrir mis horizontes a grandes oportunidades y por sus orientaciones para proyectar mi futuro.

A todos los compañeros abatidos por la amargura de las raíces de la educación y la vida, que esperan la dulce fruta del deber realizado.

DIEGO FERNANDO

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	19
1. DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA.....	22
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	22
1.2 OBJETIVO GENERAL	24
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	25
1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN	26
1.5.1 Estudio de criticidad.....	27
1.5.2 Estrategias de inspección y mantenimiento.....	28
1.5.3 Plan de mejoramiento.....	30
2. ORGANIZACIONES RELACIONADAS CON LA PRÁCTICA EMPRESARIAL..	31
2.1 EQUIÓN ENERGÍA LTD.....	31
2.1.1 Misión.....	34
2.1.2 Visión.....	34
2.1.3 Políticas.....	34
2.2 STORK TECHNICAL SERVICES SUCURSAL COLOMBIA.....	35
2.2.1 Misión.....	37
2.2.2 Visión.....	38
2.2.3 Políticas.....	38

2.2.4 Estructura Organizacional.....	39
2.3 PRACTICA EMPRESARIAL	40
2.3.1 Duración y plan de trabajo de la práctica empresarial.	40
3. MARCO TEORICO	42
3.1 CONCEPTO DE VALVULA.....	42
3.1.1 Características generales de las válvulas.....	42
3.1.2 Estructura de las Válvulas.....	43
3.1.3 Clasificación de las válvulas según su función.	44
3.1.3.1 Válvulas de corte.	45
3.1.3.2 Válvulas anti retorno.	48
3.1.3.3 Válvulas de estrangulamiento.	50
3.2 EL RIESGO.....	51
3.2.1 Clases de riesgos relacionados con mantenimiento industrial.....	52
3.2.2 Gestión del riesgo.	52
3.2.3 Implicaciones metodológicas del tratamiento de los riegos en una organización.....	53
3.3 DISTRIBUCIÓN WEIBULL.....	53
3.4 INFERENCIA BAYESIANA. EL TEOREMA DE BAYES	55
3.5 MANTENIMIENTO.....	57
3.5.1 Evolución del mantenimiento a través de la Historia.....	57
3.5.2 Tipos de Mantenimiento.....	58
3.5.3 Metodología del mantenimiento.	60

3.6 LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO Y LA GESTIÓN DE ACTIVOS	70
3.6.1 Generalidades de la Gestión de Activos.	71
3.6.2 La Función del Mantenimiento en la Gestión de Activos.....	72
3.7 DEL RIESGO Y DEL MANTENIMIENTO A LA GESTIÓN DE ACTIVOS	73
4. MARCO NORMATIVO	76
4.1 NORMAS API	76
4.1.1 Norma API 6A.	76
4.1.2 Norma API 6D.....	76
4.1.3 Norma API 576.	77
4.1.4 Norma API 580.	82
4.1.5 Norma API 581.	82
4.1.6 Norma API 598.	84
4.2 NORMAS ASME	84
4.2.1 Norma ASME B16.5.....	85
4.2.2 Norma ASME B16.34.....	85
4.3 NORMAS ISO	86
4.3.1 Norma ISO 14224.....	86
4.3.2 Familia de las ISO 55000.....	88
4.4 NORMA PAS 55	91
4.5 NORMA UNE EN 16646	91
5. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA.....	94
5.1 INDUCCIÓN GENERAL DE HSE	94

5.2. ESTUDIO DE CRITICIDAD SEGÚN EL RIESGO.....	96
5.2.1 Inventario de válvulas en uso.....	96
5.2.2 Inventario de válvulas repuesto.	100
5.2.3 Inspección basada en riego aplicada a los dispositivos de corte en las instalaciones de Equión.	101
5.2.3.1 Calcular la probabilidad de falla bajo demanda.	101
5.2.3.2 Calcular las consecuencias.....	115
5.2.4 Cálculo del riesgo.	125
5.3 MANTENIMIENTO ASOCIADO A VÁLVULAS DE CORTE.....	127
5.3.1 Hallazgos y recomendaciones.	127
5.3.2 Estrategia del ciclo de vida.	128
5.3.2.1 Indicadores que afectan la confiabilidad y disponibilidad.....	133
5.3.3 Inspección y Mantenimiento de válvula.	135
5.3.4 Inspección Actuador mecánico (Gear Box).....	136
5.3.5 Estrategia de válvulas para reemplazo en Válvulas de corte.....	137
5.3.6 Frecuencia de Intervención.....	141
6. REALIZACIÓN DE SOFTWARE COMO PLAN DE MEJORAMIENTO Y SEGUIMIENTO.....	143
6.1 GUIA INSTALACIÓN HERRAMINETA MATRIZ RAM	143
6.1.1 Instalación servidor local XAMPP (apache).	143
6.1.2 Ejecutar servidor local XAMPP (apache).	143
6.1.3 Importar la base de datos archivo .sql.	144
6.1.4 Copiar carpeta proyecto en el servidor local.	146

6.1.5 Ejecutar la herramienta desde el localhost.	146
6.2 RECOMENDACIONES	147
6.3 VISTA CARGA DE ARCHIVO .CSV	147
6.4 VISTA MENÚ NAVEGACIÓN	148
6.5 VISTA MATRIZ RAM	149
6.6 VISTA HISTORIAL.....	151
7. CONCLUSIONES	152
BIBLIOGRAFÍA.....	153

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Categoría severidad de servicio.....	102
Tabla 2. Modos de falla presentes	103
Tabla 3. Parámetros de Weibull.....	103
Tabla 4. Factor de aplicación	104
Tabla 5. Factor de ajuste por ambiente	105
Tabla 6. Factor confiabilidad de la inspección	107
Tabla 7. Factor confiabilidad recomendado por la norma	109
Tabla 8. Caso demanda en sobrepresión	111
Tabla 9. Factor de daño	112
Tabla 10. Característica equipo protegido	113
Tabla 11. Frecuencia genérica de falla.	114
Tabla 12. Costo y tiempo de reparación de equipos.....	120
Tabla 13. Factores por tipo de material	121
Tabla 14. Constantes fluido representativo.....	122
Tabla 15. Factores de Mantenibilidad	125
Tabla 16. Rangos para valoración probabilidad.....	125
Tabla 17. Rangos para valoración consecuencia	125
Tabla 18. KPI's o Indicadores de mantenimiento.....	134
Tabla 19. Revisión de inventarios	138
Tabla 20. Válvulas para compras.....	139

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Central Production Facilities Floreña	23
Figura 2. Trabajador Revisando Válvula	24
Figura 3. Operaciones de Equión en Casanare	32
Figura 4. Equión a través del tiempo y sus productos	33
Figura 5. Stork a través de su Historia	36
Figura 6. Organigrama Stork.....	39
Figura 7. Estructura de la válvula de bola	43
Figura 8. Diferentes tipos de válvulas	44
Figura 9. Válvula de compuerta acero forjado bonete atornillado	46
Figura 10. Válvula de tapón o macho	46
Figura 11. Válvula de bola del CPF Floreña	47
Figura 12. Válvula de mariposa	48
Figura 13. Válvula Anti retorno.....	49
Figura 14. Válvula Anti retorno (swing check vavle)	49
Figura 15. Válvula Anti retorno (tilting-disc check vavle).....	49
Figura 16. Válvula Anti retorno de diafragma.....	50
Figura 17. Válvula de globo acero fundido con bonete atornillado	51
Figura 18. Curva de la bañera.	54
Figura 19. Categorías de Probabilidad para el análisis desarrollado	64
Figura 20. Criterios de organización de las consecuencias en la práctica	66
Figura 21. Matriz de riesgo	67

Figura 22. Integración de activo, riesgo y mantenimiento	73
Figura 23. Factores que intervienen en la caracterización del riesgo	83
Figura 24. Flujograma de la metodología RBI	83
Figura 25. Familia ISO 55000.	88
Figura 26. Línea del tiempo sobre normas de gestión de activos.	92
Figura 27. P&ID Tambor de purga de alta presión.....	97
Figura 28. Carpa para disposición de válvulas repuestos.....	100
Figura 29. Ejemplo de control de actividades para la confianza de inspección ...	107
Figura 30. Árbol de consecuencias.....	115
Figura 31. Campo Floreña	124
Figura 32. Jerarquización de válvulas basadas en el nivel de riesgo	126
Figura 33. Porcentaje de válvulas por nivel riesgo.....	127
Figura 34. Fases de las instalaciones del CPF Floreña.....	128
Figura 35. Ciclo de vida válvulas	129
Figura 36. Resumen estrategias de mantenimiento.....	137
Figura 37. Flujograma de manejo de válvulas críticas.....	140
Figura 38. Niveles de Riesgo	141
Figura 39. Resumen frecuencia de intervención en meses.	142
Figura 40. Instalador de XAMPP (apache)	144
Figura 41. Servidor XAMPP (apache).....	144
Figura 42. Ingreso al local host.....	145
Figura 43. Ventana del Local host	145
Figura 44. Carpeta del proyecto.....	146

Figura 45. Interfaz Inicial de la Herramienta 146

Figura 46. Carga de archivo .CSV 148

Figura 47. Menú de la herramienta 148

Figura 48. Datos cargados de las válvulas 149

Figura 49. Listas desplegables 150

Figura 50. Historial..... 151

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Inspección general por componentes y tipos de mantenimiento.....	29
Cuadro 2. Evolución del Mantenimiento a través de su Historia	58
Cuadro 3. Pasos para realizar el análisis de criticidad.....	68
Cuadro 4. Mantenimiento vs Gestión de Activos	72
Cuadro 5. Identificación de Problemas y Causas	77
Cuadro 6. Inspección en el Campo.....	79
Cuadro 7. Inspección en el Taller	80
Cuadro 8. Productos del RCM	87
Cuadro 9. Implementación de la Gestión de Activos, según NTC 55002	90
Cuadro 10. Ítems de la Gestión de Activos.....	90
Cuadro 11. Algunos ítems utilizados para el inventario de las válvulas.....	97
Cuadro 12. Algunos Ítems de Información Técnica	99

LISTA DE ANEXOS

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

ANEXO A. ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO VÁLVULAS – EQUION-ENERGÍA LIMITED

ANEXO B. RELACIÓN DEL TRABAJO REALIZADO EN LA PRÁCTICA EMPRESARIAL CON LA FAMILIA DE NORMAS ISO 55000

ANEXO C. OBJETIVO DE LA NORMA API 6A

ANEXO D. OBJETIVO DE LA NORMA API 6D

ANEXO E. OBJETIVO DE LA NORMA API 576

ANEXO F. OBJETIVO DE LA NORMA API 598

ANEXO G. OTRAS NORMAS API APLICABLES A VÁLVULAS

ANEXO H. PERMISOS DE TRABAJOS

ANEXO I. BASE DE DATOS VALVULAS DE CORTE

ANEXO J. BASE DE DATOS VALVULAS DE REPUESTO

RESUMEN EN ESPAÑOL

TITULO: GESTION DE ACTIVOS PARA ASEGURAR LA INTEGRIDAD EN VALVULAS DE CORTE EN LAS INSTALACIONES DE EQUION, CAMPO FLOREÑA, YOPAL CASANARE*

AUTOR: DIEGO FERNANDO PINZÓN DELGADO**

PALABRAS CLAVE: MANTENIMIENTO, INSPECCIÓN BASADA EN RIESGO, CRITICIDAD, INTEGRIDAD, VÁLVULAS DE CORTE.

DESCRIPCIÓN:

El presente informe se basa en la práctica desarrollada en las instalaciones de Equión Energía Limited, Campo Floreña, Yopal Casanare bajo la dirección de Stork Technical Services en cumplimiento contractual entre las dos organizaciones para identificar el grado de criticidad de una población aproximada de 2000 válvulas de corte, establecer planes de mantenimiento y seguimiento con el fin de asegurar su integridad. El estudio de criticidad se centra en aplicar la metodología: Inspección Basada en Riesgos y la Matriz RAM a partir de la inspección visual, el levantamiento de históricos, la identificación de riesgos para establecer estrategias de mantenimiento. Por otra parte el QRA (Quantitative Risk Analysis) integra la metodología del riesgo total incluyendo los recursos físicos de la organización, el recurso humano y del medio ambiente con el objeto de reducir costos, asegurar la producción, valorar impactos en finanzas, personas y ambiente. Por los hallazgos encontrados se recomienda priorizar reparaciones y fortalecer el stock de repuestos. El enfoque del informe es integrador porque va de la mano con la ingeniería, la técnica y la normatividad, como protocolos que garantizan y prueban la integridad durante el ciclo de vida de los activos dispuestos para la producción de petróleo y gas.

* Práctica empresarial como trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Abel Antonio Parada Corrales, Ingeniero Mecánico MS.c

RESUMEN EN INGLÉS

TITLE: ASSET MANAGEMENT TO ENSURE INTEGRITY IN SHUT DOWN VALVES IN EQUION FACILITIES, CAMPO FLOREÑA, YOPAL CASANARE*

AUTHOR: DIEGO FERNANDO PINZÓN DELGADO**

KEYWORDS: MANTENIMIENTO, INSPECCIÓN BASADA EN RIESGO, CRITICIDAD, INTEGRIDAD, VÁLVULAS DE CORTE.

DESCRIPTION:

This report is based on the practice developed in Equión Energía Limited facilities, Campo Floreña, Yopal, Casanare under the direction of Stork Technical Services in contractual compliance between the two organizations to identify the degree of criticality of a population of approximately 2000 shut down valves, to establish plans of maintenance and their follow up arrangement in order to ensure their integrity. The criticality study focuses on applying the methodology: Risk Based Inspection and the RAM Matrix based on visual inspection, historical survey, risk identification, in order to establish maintenance strategies. On the other hand the QRA (Quantitative Risk Analysis) analysis integrates the total risk methodology, which includes the physical resource of the organization, the human resource and the environment to reduce costs, ensure production, assess the impacts on finances, people and environment. Based on the findings, it makes recommendations to prioritize repairs and strengthen the stock of spare parts. The approach of the report is integrator because it goes hand in hand with engineering, technology and regulations, as protocols that guarantee and prove the integrity during the life cycle of the assets available for oil and gas production.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Abel Antonio Parada Corrales, Ingeniero Mecánico MS.c

INTRODUCCIÓN

La industria de hidrocarburos y gas compromete a diario sus activos representados en equipos, sistemas, redes de tuberías y válvulas, entre otros, los cuales se ven afectados por el uso y las condiciones operativas, impactando la producción, el personal, el medio ambiente y los costos por cambio de dispositivos y mantenimiento. Por esta razón, varias organizaciones internacionales han invertido tiempo y dinero en investigaciones que se han plasmado en normas y metodologías que conllevan a definir, ejecutar y controlar las inspecciones y el mantenimiento de los activos físicos con el objeto de mitigar riesgos.

Equión Energía Ltd. dentro de su política de operación instituye operar de forma segura, responsable, eficiente y sostenible, cumpliendo o excediendo los compromisos requeridos en la legislación y los requerimientos de la empresa. Por ello determinó: implementar una estrategia de gestión de activos para las válvulas de corte instaladas en el CPFF (Central Production Facilities Floreña) en los diferentes sistemas de producción y líneas de flujo, para lo cual acordó con Stork Technical Services Holding B.V. Sucursal Colombia el estudio de criticidad de estos dispositivo, usando la Metodología RBI (Risk Based Inspection) en el marco de las normas API 580 y 581 y la aplicación de la Matriz RAM (Risk Assessment Matrix) para tomar las decisiones correspondientes para asegurar la integridad de cada válvula.

En el contexto del RBI el estudio de criticidad es de vital importancia para las válvulas de corte por cuanto analiza los activos en forma cualitativa y cuantitativa. El análisis cualitativo se desarrolla con base en cuestionarios para recopilar información acerca de cada válvula para obtener estimativos de riesgo a través del análisis de probabilidad y consecuencia, se expresa en rangos de alto, medio y bajo pero se asignan valores numéricos a cada categoría para facilitar el cálculo de riesgo. El análisis cuantitativo conocido como QRA (Quantitative Risk Analysis)

que define el riesgo total, integra una metodología que requiere información sobre el diseño de las instalaciones, operación de equipos, confiabilidad de los componentes, acciones humanas, efectos potenciales en salud y medio ambiente

El aporte del análisis de criticidad se concreta en la obtención de la valoración del riesgo, para definir la estrategia de mantenimiento con la que se asegura la integridad de las válvulas, el proceso de producción y finalmente la promesa del valor del negocio.

En este informe de práctica empresarial, se da a conocer la importancia de la labor desarrollada como trabajo de grado y para las empresas interesadas, se expone el análisis de criticidad en su marco teórico y normativo, su relación con la gestión de activos, el desarrollo del análisis mismo, la definición de la estrategia de mantenimiento y la descripción de un software desarrollado como plan de mejoramiento para sistematizar el análisis de criticidad y seguimiento al historial de las válvulas de corte.

El motivo de la participación en la práctica empresarial de ingeniería mecánica, por el lapso de seis meses, en el proyecto “gestión de activos para asegurar la integridad en válvulas de corte en las instalaciones de Equión, campo floreña, Yopal, Casanare” fue participar activamente en la implementación de la gestión de activos desde la temática de criticidad cuyas exigencias permitieron al practicante ubicarse en la realidad de un trabajo de ingeniería, tomar consciencia de la seguridad de procesos, conocer el manejo de normatividad y estándares, vivenciar el día a día la dinámica empresarial y la versatilidad en las actividades lo cual aportó experiencia laboral y exigió al practicante esfuerzo, preparación, compromiso y ética.

La práctica empresarial y la elaboración de este informe requirió de la praxis de los siguientes tipos de investigación: La exploratoria, porque se centra en analizar e

investigar aspectos concretos sobre la criticidad de las válvulas en pro de darles mantenimiento, conservarlas y asegurar la producción y rentabilidad de la empresa. La descriptiva, porque se recolectan y tabulan datos acerca de las aproximadamente 2.000 válvulas de corte. La correlacional, porque asocia el contexto subyacente del objetivo de la criticidad con la gestión de activos propuesta y exigida por la NTC 55000. La explicativa, porque establece las posibles causas de los fallos y los relaciona con la afectación a las personas, la seguridad de los procesos y el impacto al medio ambiente. El método en uso es el inductivo-deductivo; el inductivo porque parte del conocimiento de la estructura de la válvula, los planos, los registros de históricos y basándose en la observación, la descripción, el análisis del estado actual de cada elemento, para llegar a conclusiones sobre las afectaciones que generan los riesgos y el deductivo porque a partir del consolidado de dichas conclusiones referidas a riesgos se infieren las estrategias de mantenimiento y mejora continua.

Por ende, hace uso de una investigación holística ya que el análisis de criticidad integra diferentes tipos de investigación y los aplica a la ingeniería de la mano con la técnica y la normatividad como los protocolos internacionales a exigir para probar la integridad de los activos y la seguridad del recurso humano y ambiental.

1. DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Las organizaciones en el mundo de hoy tienen la necesidad de mejorar su competitividad para sostenerse en el mercado y requieren tener respuestas rápidas a los casos fallidos de sus activos y buscar estrategias para su protección para lo cual se apoya en las normas internacionales desde donde se visiona el funcionamiento organizacional como un todo, de manera integral y global, que no sea una suma de partes sino una plataforma que permita conectar procesos, activos, tecnología, recurso humano y conocimiento para tener la capacidad de tomar decisiones y de administrar con eficiencia y calidad. Desde esta perspectiva, las organizaciones deben estar enfocadas en gestionar sus activos sean: físicos, intangibles, humanos y financieros porque todos son fundamentales en su engranaje e inmerso y simultáneo en él tiene que darse la planeación, la organización y el control.

Por ello, dentro del desarrollo del programa de integridad de los activos de Equión Energía Ltd. está presente la valoración de los riesgos en cada uno de los activos físicos que son los bienes que están en funcionamiento para la producción de hidrocarburos. En consecuencia, la organización requiere que durante el ciclo de vida de los activos se minimicen los riesgos que impactan a las personas, el medio ambiente, la producción y a los activos mismos; se maximice la vida útil y el valor de los activos y se brinde calidad a los consumidores.

En los diferentes sistemas de producción del CPF Floreña se utiliza un gran número de válvulas de diferentes tipos, ratings, diámetros, materiales para la conducción adecuada del petróleo, gas de proceso, gas combustible, agua de producción, fluidos utilitarios (aire, agua industrial, nitrógeno, agua contra incendio,

glicol, entre otros), también sometidas a diferentes condiciones de trabajo y medio ambiente; estas válvulas requieren de una gestión de activos para asegurar la integridad y evitar la pérdida de contención e impactos asociados.

Figura 1. Central Production Facilities Floreña



Para el desarrollo de esta gestión de activos se requiere complementar el sistema de ERP (Enterprise Resource Planning), para asegurar la implementación de la estrategia de mantenimiento la cual a su vez requiere del análisis de criticidad para tomar decisiones respecto a los tipos de mantenimiento, las frecuencias de rutinas de inspección o mantenimiento, materiales, repuestos e incluso componentes completos, procesos preservación para almacenamiento y otras recomendaciones. Con base a lo anterior se hace necesario el desarrollo de análisis de criticidad de válvulas de corte acorde a la normatividad internacional.

Figura 2. Trabajador Revisando Válvula



Fuente: STORK. Trabajador Revisando Válvula. 2018, <https://www.stork.com/es>. Consultado 19 Julio 2018.

Ante esta responsabilidad técnica cabe preguntarse: ¿Qué requerimientos se deben tener en cuenta para asegurar la integridad de las válvulas de corte?, ¿Cómo y de qué forma se va a elaborar el estudio de criticidad según el riesgo?, ¿Cuáles son las metodologías apropiadas para responder con efectividad al estudio de criticidad?, ¿Qué estrategia de inspección y mantenimiento debe aplicarse para lograr seguridad en los procesos, integridad, producción y productividad?

1.2 OBJETIVO GENERAL

Hacer el estudio de criticidad aplicando la Inspección Basada en Riesgos (RBI o IBR) como metodología para identificar las válvulas de corte críticas y así establecer las estrategias de inspección y mantenimiento, elaborar el plan de seguimiento y mejoramiento en el proceso de la gestión de activos con el objeto de asegurar la integridad de las válvulas de corte que la empresa Stork Technical Services Holding B.V. Sucursal Colombia realiza para la organización Equión Energía Limited en el CPF Floreña, Yopal, Casanare.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recolectar y tabular datos de las válvulas mayores o iguales a 2 pulgadas y mayores o iguales a rating 150 (ASME B16.34); instaladas en el CPF Floreña, Yopal, Casanare en lo concerniente a especificaciones técnicas y localización para determinar el riesgo y el grado de criticidad según el modelo RBI.
- Establecer las estrategias de inspección y mantenimiento en lo que respecta a rutinas de inspección, aplicación de códigos de mantenimiento según ISO 14224, frecuencias de rutinas, gestión de repuestos, válvulas de recambio y componentes requeridos para el análisis de resultados e indicadores de desempeño en seguridad de procesos, integridad, producción y productividad.
- Elaborar el plan de mejoramiento que contenga la siguiente información: base de datos de las válvulas instaladas, reporte con el estudio de criticidad, stock de repuestos actuales y recomendaciones de los repuestos requeridos, plan de inspección y mantenimiento e informe final.

1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En coherencia con la política de operación de Equión Energía Ltd., de operar de forma segura responsable, confiable, eficiente y sostenible y la responsabilidad de Stork en la gestión de los activos del CPF Floreña y las líneas de flujo es necesario complementar el sistema de gestión de mantenimiento para las válvulas de corte de diámetro igual o mayor a 2 pulgadas y con rating de 150 o mayor, ya que conforman un población considerable, distribuidas en todos los sistemas de producción y la organización requiere que durante la fase de operación de éstos elementos se asegure la integridad y se minimicen los riesgos.

1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN

Para asegurar la integridad de las válvulas y minimizar los riesgos asociados durante la fase de operación, el desarrollo de la estrategia de mantenimiento se fundamenta en el análisis de criticidad.

El método de investigación aplicado al análisis de criticidad para asegurar la integridad las válvulas de corte a su vez se fundamenta en la RBI (Normas API 580 y 581) en cuyo proceso identifica y evalúa un panorama de riesgos con la aplicación de la matriz RAM a través de la estimación de la probabilidad y consecuencia de los fallos para evaluar el nivel de riesgo que se encuentra cada válvula y así facilitar la clasificación de las amenazas a la salud, seguridad, medio ambiente, clientes, bienes e imagen de la empresa, y en el RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) para priorizar decisiones y precisar tareas de mantenimiento.

Estos enfoques metodológicos se proyectan para un manejo óptimo de la información, que permita minimizar el error debido al volumen de datos que se tiene para este estudio aplicando el modelo entidad relación, consolidar e integrar la información proveniente de históricos y del levantamiento de información base, del campo mediante técnica de inspección visual y registro fotográfico como también la selección e identificación de válvulas en planos que permita la trazabilidad de la información verificada en el campo.

La aplicación de la normatividad internacional donde se contemplan las mejores prácticas industriales avistadas en las normas API 580, 581, 6D y 6A referentes a base de inspección y especificación de válvulas y tubería, válvulas de pozo y árboles de navidad; a las normas ASME B16.5 y B16.34 que controla la fabricación de válvulas mediante especificaciones técnicas sobre materiales de fabricación, dimensiones, tolerancias, resistencia de temperatura y presión. Los

anteriores procedimientos convergen a elaborar el estudio de criticidad, entendida éste como la jerarquización de los niveles de riesgos en que se encuentran la población de válvulas instaladas en campo Floreña.

El tener la oportunidad de hacer parte activa del equipo de gestión de Activos es un reto importante para el estudiante en práctica porque pone en juego sus conocimientos, habilidades y competencias aprendidos en el transcurso de la formación académica en las aulas de la Universidad Industrial de Santander como también es una perspectiva de instaurarse en el mundo empresarial donde converge: la ciencia, la tecnología, la administración, las finanzas y los negocios.

1.5.1 Estudio de criticidad. El análisis de criticidad parte central de la práctica requiere de información de las válvulas respecto a: “data sheets” (Hoja de Datos de Diseño), planos de proceso y diagramas de instrumentación o P&ID, identificación física y verificación de placas de datos, posición de las válvulas, datos operacionales de fluidos, presiones y temperatura de trabajo, condición externa, históricos de mantenimiento, tiempos de operación, disponibilidad de partes y componentes en bodega de materiales, eventos de falla y análisis causa raíz de los mismos y sus consecuencias, costos de reparación, de pérdidas de producción asociada a las fallas y bases de datos existentes. El estudio de criticidad se apoya en:

1. Aplicación del modelo identidad relación con el fin de minimizar errores en la información.
2. Aplicación del modelo estadístico de Weibull para determinar la probabilidad de falla, documentar la información histórica de mantenimiento y fallas presentadas en campo.
3. Aplicación de variables de consecuencia para determinar efectos por fallas, costos de daños, reparación y reemplazo de equipos, cuantía por interrupción de negocios, lesiones potenciales y daños ambientales.

4. Aplicación de la matriz de riesgo para identificar la distribución de riesgos en la planta, evaluarlos y mostrar resultados en forma jerárquica.

1.5.2 Estrategias de inspección y mantenimiento. La estrategia de mantenimiento de válvulas de corte se hace de acuerdo a los resultados del análisis de criticidad y se complementa con:

- Agrupación de válvulas en cada nivel de riesgo por tipo de válvula, diámetro y rating.
- Verificación de la información técnica de la operación de cada tipo de válvula.
- Conocimiento de los manuales de operación por fabricante.
- Con base de las recomendaciones de las normas expuestas en el capítulo 4, se definen las frecuencias de inspección y mantenimiento.
- Definición de la mano de obra requerida y balance con recursos disponibles.
- Definición del stock de repuestos y su respectivo plan de preservación.

La estrategia de mantenimiento es entregada al equipo de planeación para la respectiva gestión y activación en el sistema ERP para su respectiva ejecución. En el cuadro 1, se identifican tipo de mantenimiento y las actividades típicas para los diferentes componentes. Ver cuadro 1.

El resultado del análisis de criticidad y estrategia de mantenimiento se consigna en el reporte “ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO VÁLVULAS – EQUION-ENERGÍA LIMITED”, Anexo A.

Cuadro 1. Inspección general por componentes y tipos de mantenimiento

COMPONENTE	ACTIVIDAD DURANTE LA INSPECCIÓN	TIPO DE MANTENIMIENTO
ACTUADOR (HIDRÁULICO, NEUMÁTICO , ELÉCTRICO)	Desmante, Desensamble, Cambio de Partes, Inspección de recubrimiento interno, resortes, bujes, guías, cambio de empaques, verificación dimensional, corrección de elementos deteriorados, pruebas, y recertificación.	PREDICTIVO: Se realiza una prueba funcional que permita identificar el correcto funcionamiento dentro de los parámetros del estándar de desempeño y planear el mantenimiento basado en los hallazgos, es válida la verificación del funcionamiento durante paradas (se exceptúan las válvulas incluidas en lazos con clasificación SIL (safety integrity level), las cuales tienen la rutina activa).
ACTUADOR MANUAL (GEAR BOX)	Desmante, desensamble, cambio de rodamiento o bujes, resortes, guías, cambio de empaques, verificación dimensional (desgaste o deformación de componentes), corrección de elementos deteriorados, ajustes y prueba funcional.	PREVENTIVO: Lubricación periódica de válvula principal. -Si la válvula es operada por Gear Box realizar rutina de lubricación en el mismo tiempo de intervención de la válvula
VÁLVULA	Desmante, cambio de partes blandas, inspección general interna, cambio o rectificación de componentes desgastados, pruebas y rectificación.	-Inspección intrusiva lubricación de Gear Box (destapar tapa actuador, realizar limpieza general, cambio de grasas, o-ring, etc.
INSTRUMENTACIÓN	Desmante, limpieza, cambio de empaque, revisión del panel de instrumentos (filtro regulador, válvula de	

	seguridad, bomba hidráulica, selector, etc.)	-Verificación de solenoides e inspección visual de instrumentos, instalación y manejo de niveles en lubricador. OVERHAUL: se especifican características según el componente.
--	--	---

Cuadro 1. (Continuación)

1.5.3 Plan de mejoramiento. Como valor agregado de la práctica y para facilitar el proceso del estudio de criticidad se desarrolla un software que además hace seguimiento al historial del mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo y overhaul, que beneficiará la gestión de mantenimiento con información actualizada para una mejor gestión de estos activos.

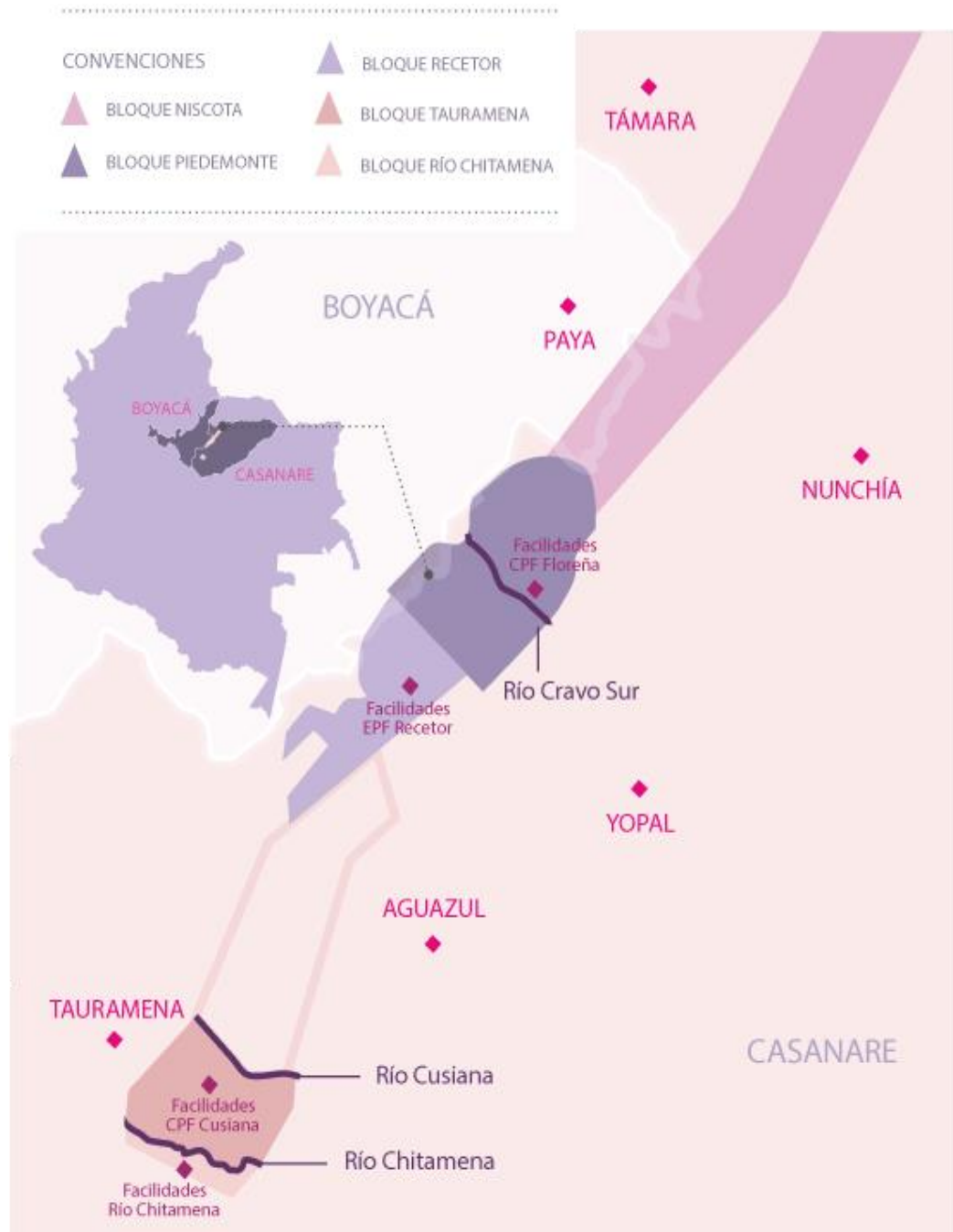
2. ORGANIZACIONES RELACIONADAS CON LA PRÁCTICA EMPRESARIAL

2.1 EQUIÓN ENERGÍA LTD.

Es la nueva marca de la sucursal establecida en Colombia por BP PLC en 1986 (BP Exploration Company), con sede en Bogotá, dedicada a la exploración y producción de hidrocarburos, fundada en 1986 por la British Petroleum Company. Ecopetrol tiene el 51% de las acciones en esta sociedad y Repsol el restante 49%. Equión como sociedad mantendrá la propiedad de los activos y negocios que tenía la filial de BP en Colombia, que ya por 30 años ha desarrollado actividades en el Departamento de Casanare, oriente del país. Ver figura 3. Operaciones de Equión en Casanare.

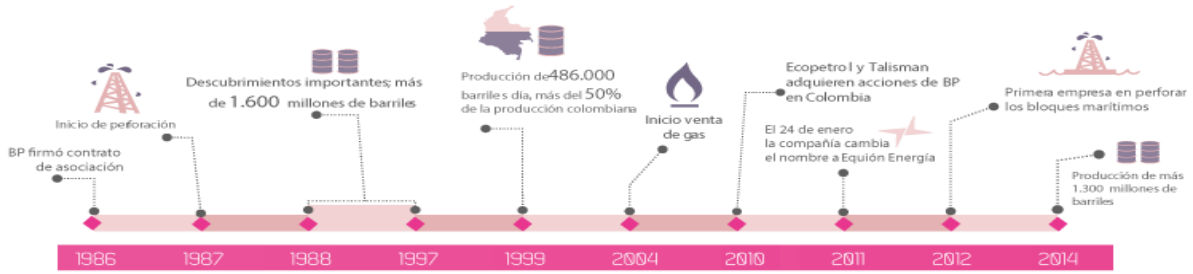
Equión Energía Ltd. queda posicionado como uno de los cinco mayores productores de petróleo en Colombia y uno de los tres principales de gas natural. Su operación comprende las participaciones que tenía BP en los contratos de asociación del Piedemonte Llanero. Los contratos que asume son Piedemonte, Rio Chitamina, Tauramina y Recetor, los cuales cobijan los campos Cusiana, Cupiagua en Recetor, Pauto y Floreña. Ver figura 4. Equión a través del tiempo y sus productos

Figura 3. Operaciones de Equión en Casanare



Fuente: EQUIÓN. Operaciones de Equión en Casanare. 2018, <http://www.equion-energia.com/sostenibilidad/Documents/Reporte%20de%20Responsabilidad%20Corporativa%202014.pdf>. Consultado 19 Julio 2018.

Figura 4. Equión a través del tiempo y sus productos



Equión Energía, compañía del sector petrolero y de gas, está dedicada a la exploración y la producción de hidrocarburos, y suma casi 28 años de operaciones en Colombia, con una trayectoria llena de éxitos, aprendizajes y prestigio.



CRUDO

El petróleo producido por Equión es un crudo liviano que se extrae mediante la perforación de pozos que llegan a los yacimientos donde hay acumulación de hidrocarburos. Durante la vida del yacimiento, las presiones descienden y se vuelve necesaria la utilización de técnicas como la inyección de agua, gas, entre otras.



GAS NATURAL

El gas natural es una mezcla de hidrocarburos livianos, conformada principalmente por metano. También incluye etano, propano y otros hidrocarburos más pesados. Se obtiene mediante la perforación de pozos en un yacimiento, en los cuales el gas se encuentra de forma libre o asociado al petróleo.



LPG (Gas Licuado de Petróleo)

El LPG es una mezcla de hidrocarburos livianos conformado por butano y propano. Como combustible se utiliza en procesos industriales (producción de vapor, sistemas de enfriamiento y calentamiento, combustible para motos); y en procesos comerciales y domiciliarios (cocción, calentamiento de agua y calefacción, entre otros).

<p>3er</p>  <p>Productor privado de crudo</p>	<p>2ndo</p>  <p>Productor privado de gas natural » 35% de la demanda nacional</p>	<p>1er</p>  <p>Proveedor privado de LPG » 30% de la demanda nacional</p>
--	--	---

Fuente: EQUIÓN. Equión a través del tiempo y sus productos. 2018, <http://www.equion-energia.com/sostenibilidad/Documents/Reporte%20de%20Responsabilidad%20Corporativa%202014.pdf>. Consultado 19 Julio 2018.

2.1.1 Misión. Equión Energía Ltd. es una empresa líder y transformadora que genera energía para la vida dando valor y bienestar al país a través de: inversionistas, empleados, contratistas, comunidades y generaciones futuras mediante la exploración, producción, comercialización y transporte de hidrocarburos de forma segura, responsable y sostenible.

2.1.2 Visión. Equión Energía Ltd. espera en 10 años ser:

- Una compañía de clase mundial, reconocida por su valor por la vida, su excelencia operacional, su tecnología, rentabilidad y sostenibilidad.
- Líder en Colombia en la producción y negocios de hidrocarburos generando nuevas oportunidades a partir de sus ventajas competitivas.
- Reconocida por su gente feliz, íntegra, innovadora, apasionada y con talento único.

2.1.3 Políticas. Las políticas de Equión Energía Ltd, se instituyen en el sentido de la responsabilidad corporativa como la gestión integral, ética y transparente de todas sus actividades para llevar a cabo la tarea de generar valor y bienestar al país contribuyendo a la sostenibilidad de Equión Energía Limited, a su grupo de intereses y generaciones futuras. Entre éstas cabe resaltar:

- Construir las bases del progreso y la sostenibilidad mediante la actuación responsable con los diferentes actores, autoridades de gobierno y comunidades vecinas armonizando los intereses corporativos con los comunitarios y desarrollando relaciones durables y constructivas.
- Mantener los más altos estándares de seguridad industrial que ratifiquen el reto con el compromiso de tener un lugar de trabajo seguro.
- Ofrecer el entrenamiento requerido y mantener en funcionamiento los sistemas y procedimientos que garanticen una operación segura, sin accidentes de personas, daños al medio ambiente ni enfermedades ocupacionales.

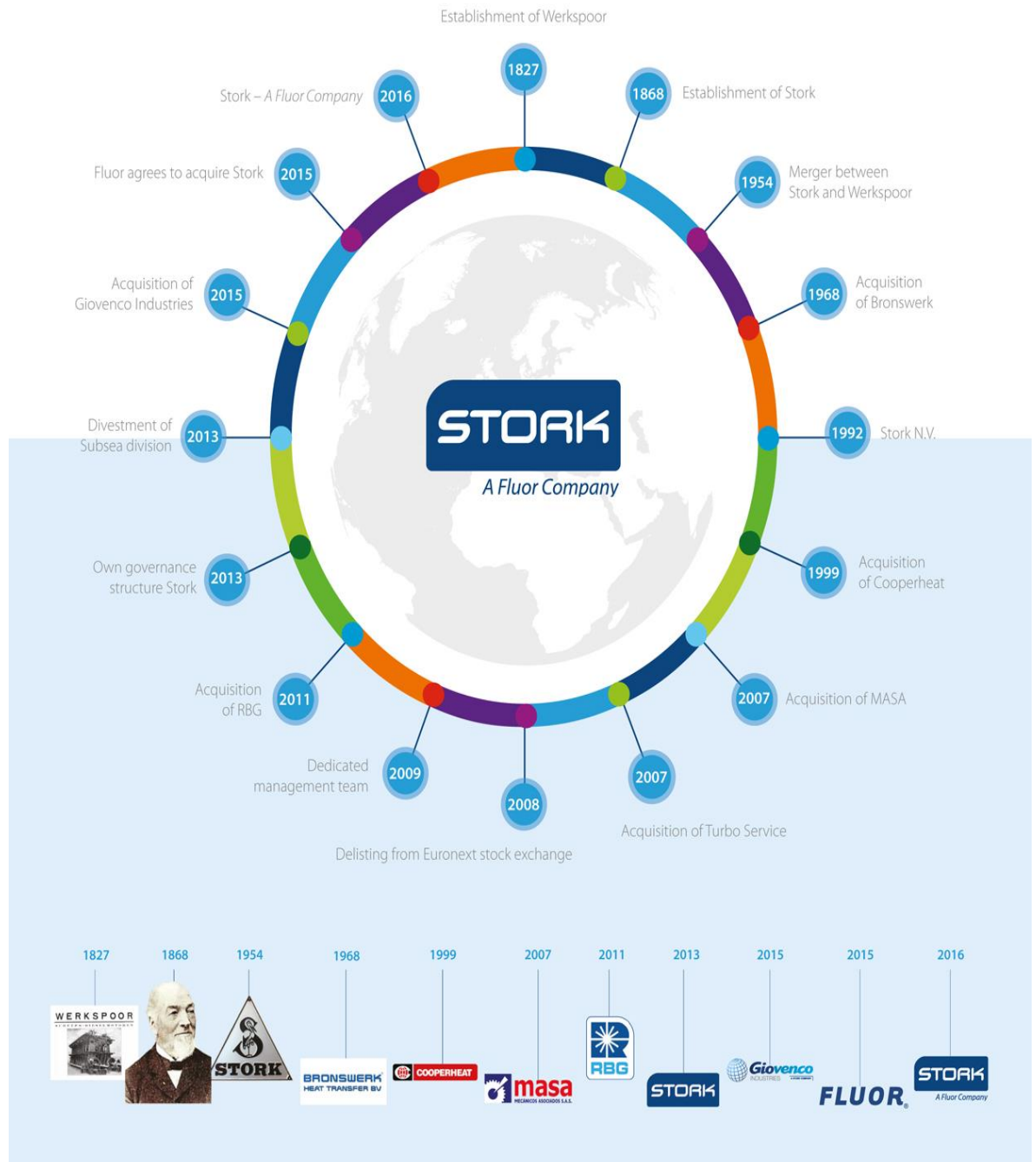
- Tener como principios rectores: el valor por la vida, la innovación y la excelencia y la pasión por crecer para generar valor a nuestros accionistas y a la sociedad colombiana en su conjunto.

2.2 STORK TECHNICAL SERVICES SUCURSAL COLOMBIA.

Stork Technical Services es una empresa de origen holandés con más de 185 años de experiencia, con sedes en los Países Bajos, Reino Unido, Europa Continental, América, Medio Oriente y Asia-Pacífico, opera en la industrias de química, energía, minería, petróleo y gas brindando productos y servicios en: mecánica y tubería, mantenimiento de las estructuras, inspección e integridad, equipos eléctricos e Instrumentación, soluciones de gestión de activos, servicios y productos energéticos en el marco de los estándares más exigentes de conducta y ética comercial. Su historia, se refleja en la figura 5 donde se ilustra las diferentes etapas, alianzas y fusiones con otras empresas como: Turbo Service, Masa, RBG Limited y Fluor, entre otras.

A nivel mundial, Stork Technical Services es el principal experto proveedor de servicios de gestión de integridad de activos en el sector petrolero y gas tanto en tierra como en alta mar, con el fin de ayudar a sus clientes a optimizar el rendimiento mediante el mantenimiento, reparación y modificación de los activos principales para garantizar la continuidad, calidad y eficiencia de los costos a lo largo del ciclo de vida de los activos.

Figura 5. Stork a través de su Historia



Fuente: STORK. Stork a través de su Historia. 2018, <https://www.stork.com/es/acerca-de-nosotros/quienes-somos>. Consultado 19 Julio 2018.

Igualmente, es reconocido a nivel mundial en el Sistema Integrado de Gestión HSEQ, sigla que proviene del inglés y significa: Health, Safety, Environment and Quality que traduce: Salud, Seguridad, Medio Ambiente y Calidad por cuanto la industria debe instaurarse en dichos procesos, y “LISTO” más allá de cero es una visión global en HSE como la disciplina que se ocupa de la gestión o manejo de los riesgos inherentes a las operaciones y procedimientos en la industria y aún en las actividades comerciales y SP (Seguridad de Procesos) lo cual le permite ir más allá para fortalecer la cultura y desempeño en seguridad, conectado a cada uno de los colaboradores con el objetivo de construir de manera colectiva la “Cultura de Seguridad” que perdure en el tiempo.

Stork Technical Services cuenta desde hace más de 32 años con una sucursal en Colombia denominada Stork Technical Services Holding B.V. Sucursal Colombia radicada en Bogotá D.C. y con oficinas en Yopal Casanare, dedicada a gestionar la integridad de los activos durante todo su ciclo de vida siguiendo los lineamientos de la casa matriz STORK con los más altos estándares de seguridad y gestión de riesgos en:

- Operaciones y Mantenimiento.
- Proyectos y Construcciones.
- Servicios de Instalaciones Temporales.
- Consultoría.

2.2.1 Misión. Stork Technical Services Sucursal Colombia tiene como misión agregar valor a los clientes al ofrecerles soluciones integrales de gestión de activos, comprometidos con el progreso de los colaboradores, y con los más altos estándares de seguridad, gestión en riesgos y responsabilidad social corporativa.

2.2.2 Visión. Stork Technical Services Sucursal Colombia tiene como visión ser en 2.017 una organización ágil y competitiva, con el mejor talento humano y socio estratégico de preferencia de los clientes; otorgándoles experiencia, altos estándares de HSEQ y conocimiento durante el ciclo de vida de los activos para alcanzar un crecimiento sostenible en los sectores industriales intensivos de capital, con foco en las industrias de petróleo y gas, petroquímica y minería en Colombia, Perú y con crecimiento en Suramérica.

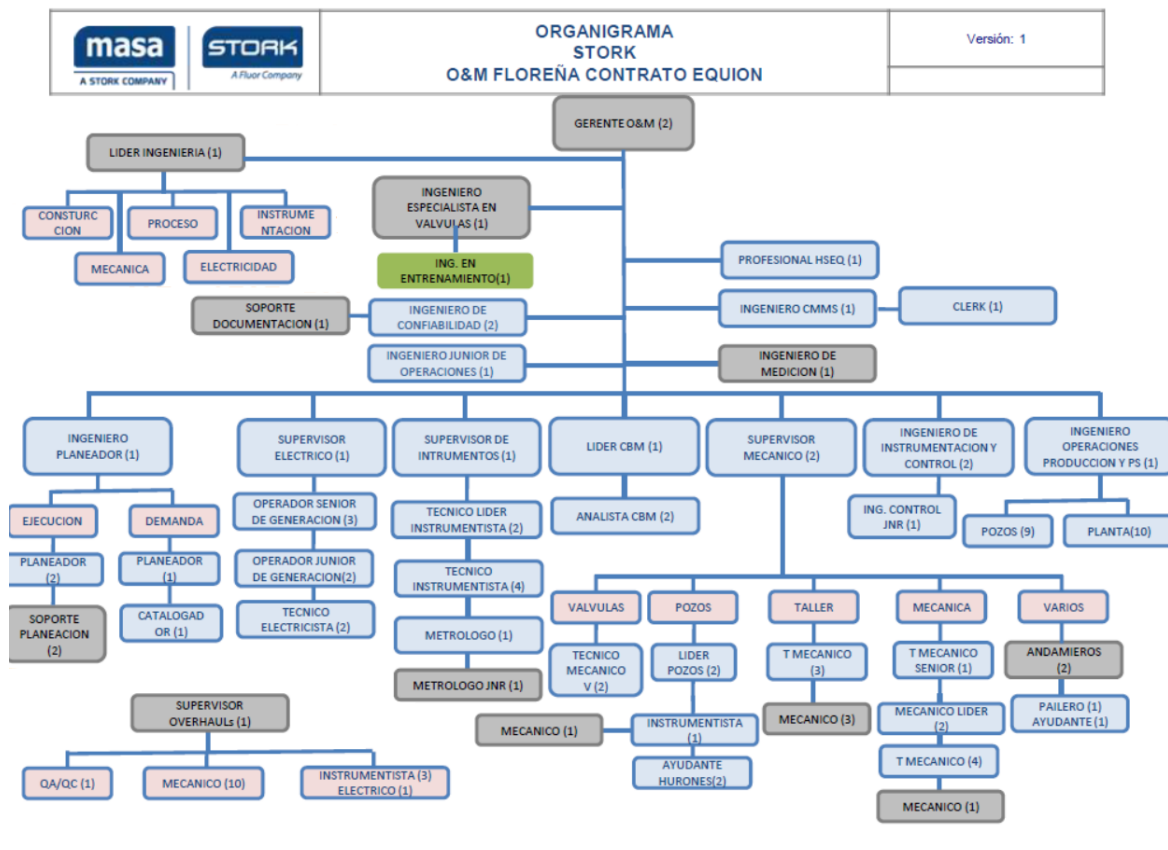
2.2.3 Políticas. Stork Technical Services Sucursal Colombia tiene las siguientes estrategias:

- Excelencia en el servicio y la gestión integral de los riesgos. Bajo el modelo de “sinergia” se logra los mejores tiempos de ejecución, optimización de recursos y menores impactos en pérdidas de producción, planeada o no planeada que se traduce en mayor rentabilidad para el negocio, alineada a las metas de HSEQ y Seguridad de Procesos (SP).
- Emprendimiento. Logra sus metas con intención de mejora continua, con propuestas basadas en el conocimiento y la experiencia con actitud de servicio.
- Trabajo en equipo. Busca relaciones a largo plazo con sus clientes. Su estrategia es consolidar alianzas para obtener resultados en conjunto.
- Su gente. Promueve la disciplina en las personas, en su forma de pensar y actuar. Cuenta con empleados líderes, humildes y motivados con la tenacidad para entregar resultados.
- Pasión por innovar. STORK, la casa matriz, continuamente desarrolla y actualiza sus productos y servicios con el fin de incluir innovaciones para optimizar los procesos de sus clientes.

2.2.4 Estructura Organizacional. La estructura organizacional de Stork Technical Services Sucursal Colombia, depende de la casa matriz ubicada en Holanda y jerarquiza su autoridad en presidencia, vicepresidencias y direcciones ubicadas en los diferentes continentes ofreciendo productos y servicios de mantenimiento, modificaciones e integridad.

Stork Technical Services Sucursal Colombia depende de la vicepresidencia de América Latina y en Offshore de la oficina central en Bogotá y sucursales en: La Guajira, César y Magdalena, Santander, Casanare, Meta, Tolima y Huila. En la figura 6. Organigrama Stork. Se muestra el organigrama de la empresa para su contrato con EQUION, donde se resalta en color verde la posición del estudiante en práctica.

Figura 6. Organigrama Stork



2.3 PRACTICA EMPRESARIAL

En el marco contractual de las dos empresas: Equión en calidad de cliente y Stork como prestador de servicios de mantenimiento y de gestión de activos, para asegurar concretamente la integridad de válvulas de corte, ubicadas en Campo Floreña, se llevó a cabo la Práctica Empresarial por parte de un estudiante de ingeniería mecánica procedente de la Universidad Industrial de Santander mediante el Convenio de Apoyo Interinstitucional para la Realización de Prácticas Empresariales en la Modalidad de Trabajo de Grado entre la Universidad Industrial de Santander y Stork Technical Services Holding B.V Sucursal Colombia. El trabajo se realizó específicamente en las instalaciones de Equión, Campo Floreña, en el Centro Logístico de Equión Casanare (CLEC) y en las oficinas de Stork Technical Services en Yopal.

2.3.1 Duración y plan de trabajo de la práctica empresarial. La práctica empresarial tuvo una duración de 6 meses durante el cual se desarrolló el siguiente plan de trabajo.

1. INDUCCIÓN:

1.1 Inducción general de HSE.

1.2 Inducción sobre metodología de entrenamiento teórico práctico que se aplicará durante el periodo del proyecto.

1.3 Entrenamiento básico en válvulas de corte, bajo metodología del sistema de universidad corporativa de STORK.

2. ESTUDIO DE CRITICIDAD SEGÚN RIESGO.

2.1 Recolección de datos, planta, P&IDS, hojas de datos e información de ingeniería.

2.2 Tabulación en base de datos.

2.3 Cálculo de Riesgo según modelo RBI.

3. ESTRATEGIA DE INSPECCION Y MANTENIMIENTO.

3.1 Rutinas de Inspección y/o mantenimiento.

3.2 Aplicación de Códigos de mantenimiento según ISO 14224

3.3 Frecuencia de rutinas

3.4 Gestión de repuestos, válvulas de recambio y componentes requeridos.

3.5 Análisis de resultados

3.6 Indicadores de desempeño: Seguridad de procesos, Integridad, producción y productividad.

4. SEGUIMIENTO Y MEJORAMIENTO.

5. ENTREGA DE REPORTES.

6. CONSIDERACIONES ESPECIALES.

3. MARCO TEORICO

3.1 CONCEPTO DE VALVULA

En palabras de Manuel Méndez “La válvula es un elemento que se coloca en las tuberías como auxiliares indispensables para la adecuada operación, mantenimiento y seguridad de los sistemas de conducción de fluidos” ¹. Estos dispositivos mecánicos pueden: dar paso o bloquear, regular, modular o aislar innumerables fluidos, desde los más comunes como el agua hasta los más corrosivos o tóxicos como el ácido clorhídrico (HCl), gracias a la gran variedad de diseños y materiales con los que son fabricados.

3.1.1 Características generales de las válvulas. Las válvulas deben tener las siguientes características:

1. Según el tipo de válvula el cierre de mando sea proporcional al flujo dentro o fuera del conducto u otras canalizaciones cerradas.
2. Resistencia mínima posible al fluido cuando se abre.
3. Sello hermético cuando se cierra, es decir, que ningún fluido pueda pasar.
4. Resistencia a cargas dobles y vibración en el conducto asociado.
5. Blindaje a la corrosión.
6. Resistencia a daños por grandes objetos dentro del fluido.
7. Tolerancia a temperaturas extremas.

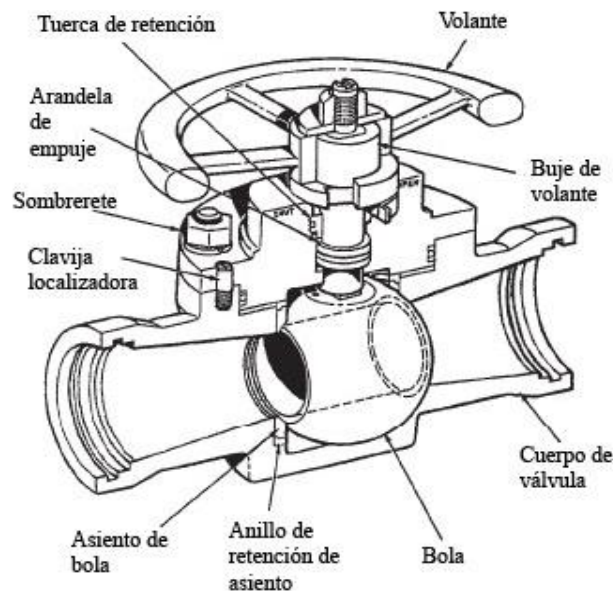
Cabe anotar que las válvulas rara vez se acercan al funcionamiento ideal; así que el ingeniero y usuario deben medir el valor de la calidad de funcionamiento contra el costo proporcionado.

¹. MENDEZ, Manuel Vicente. En: Tuberías a Presión en los sistemas de abastecimiento de agua. Caracas. Universidad Católica Andrés Bello, 2001, 7 p.

3.1.2 Estructura de las Válvulas. De acuerdo con la norma API 6D toda válvula debe constar de cuatro partes principales: Contenedor del fluido, asiento, obturador y operador. Ver figura 7. Estructura de la válvula de bola.

1. El contenedor del fluido o parte sometida a presión; son aquellas como: cuerpos, bonetes, prensa estopas, vástagos, empaques y tornillos que se diseñan para contener el fluido del ducto.
2. El asiento es la parte de la válvula que al entrar en contacto con el obturador logran estrangular el fluido. Los asientos pueden ser del tipo estático cuando no dependen de la presión del fluido para cumplir la función de sello; o del tipo dinámico si dependen de la presión del fluido para cumplir la función de sello.
3. El obturador o elemento de cierre. Ejemplo la bola o compuerta.
4. El operador es el dispositivo para la apertura o cierre de la válvula.

Figura 7. Estructura de la válvula de bola



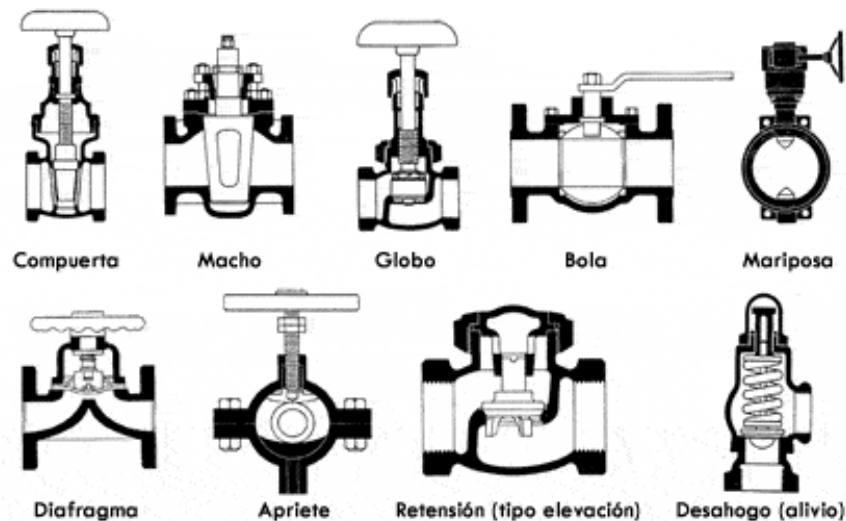
Fuente: TODOVALVULAS. Estructura de la válvula de bola. 2018, <https://www.todovalvulas.com/de-bola>. Consultado 19 Julio 2018.

3.1.3 Clasificación de las válvulas según su función. Los tres grandes grupos como Skousen² clasifica las válvulas son:

1. Válvulas de corte son aquellas que permiten o bloquean el caudal.
2. Válvulas anti retorno permiten en una sola dirección el transporte del fluido.
3. Válvulas de estrangulamiento, que permiten la regulación del caudal en cualquier punto entre totalmente abierto o completamente cerrado.

Cabe aclarar que esta clasificación por funciones no es absoluta ya que por su diseño, el tipo de servicio que prestan o incluso por la característica de su cuerpo, una válvula puede estar contenida en varias de estas divisiones, ejemplo una válvula de globo puede cumplir la función de estrangulamiento, retención y corte a la vez. Ver figura 8. Diferentes tipos de válvulas.

Figura 8. Diferentes tipos de válvulas



Fuente: V. Miguel. Diferentes tipos de válvulas. 2018, <http://mantenimientonuevatecnologia.blogspot.com/2013/05/tipos-de-valvulas.html>. Consultado 19 Julio 2018.

² SKOUSEN, Philip L. En: Valve Handbook. New York. Valtek International, 1997, 7p.

3.1.3.1 Válvulas de corte. Las válvulas de corte son dispositivos, generalmente de metal, polímero o material cerámico, que permiten dar paso a un fluido en una sola dirección por una tubería en la que está inserto. Son usadas para detener el flujo de un proceso, por esta razón, también son denominadas válvulas de bloqueo. Entre estas válvulas es normal encontrar válvulas de compuerta, tapón, bola y alivio.

Entre las aplicaciones de este conjunto de válvulas están:

1. El “bypass” o desvío de flujo para realizar labores de mantenimiento o asegurar de posibles riesgos la seguridad a trabajadores en sitios de trabajo; igualmente son útiles en aplicaciones de mezclado donde las cantidades de los fluidos combinados no son exactas y estos son incorporados por una cantidad de tiempo predeterminada y también en sistemas de seguridad.
2. Las válvulas automáticas de bloqueo utilizadas para apagar, cerrar o parar un sistema en caso de emergencia.
3. Las válvulas de alivio que tienen la característica de auto accionarse a una presión preestablecida siendo usadas para proteger de la “sobre presurización” cuando el fluido es líquido o ventilar en aplicaciones de gas donde la presurización es un peligro para el proceso o la seguridad.

Según Richard W. Greene³: existen diversos tipos de válvulas de bloqueo:

1. Válvulas de compuerta: este tipo de válvula no está diseñada para regular el fluido por ende pertenece al grupo de válvulas de corte o bloqueo, se caracteriza por tener un timón que al ser accionado desciende una compuerta en forma de cuña (obturador) que bloquea completamente el paso del fluido. Usualmente es pesada y difícil de operar ya que el volante requiere de varias vueltas para descender completamente la compuerta; además es conocida por la gran cantidad

³ GREENE, Richard W. En: VALVULAS; SELECCION, USO Y MANTENIMIENTO. Bogotá, 1995, Pp. 6 y 7

de servicios que soporta, ser de operaciones poco frecuentes y tener mínima resistencia a la circulación.

Figura 9. Válvula de compuerta acero forjado bonete atornillado



Fuente: SITES GOOGLE. Válvula de compuerta acero forjado bonete atornillado. 2018, <https://sites.google.com/site/valvulasindustrialesiso9001/home/valvula-compuerta>. Consultado 19 Julio 2018.

2. Válvulas de macho o tapón (plug): Como dice Skousen⁴ son las que utilizan un tapón cilíndrico o cónico para permitir el flujo directo o hacer cierre hermético. Ver figura 10. Las válvulas de tapón se diseñaron inicialmente para reemplazar las válvulas de compuerta, ya que las válvulas de tapón en virtud de su acción de un cuarto de vuelta son de operación sencilla y espacio mínimo para instalación.

Figura 10. Válvula de tapón o macho



Fuente: ARCONI. Válvula de tapón o macho. 2018, <http://arconicompany.com/es/productos/valvulas-az-armaturen/>. Consultado 19 Julio 2018.

⁴ SKOUSEN, Philip L. En: Valve Handbook. New York. Valtek International, 1997, 87p.

3. Válvulas de bola: Ver figura 11.

Las válvulas de bola son una especie de válvulas de tapón que tienen un miembro de cierre en forma de bola. La mayoría de las válvulas de bola también están equipadas con asientos blandos que se adaptan fácilmente a la superficie del obturador. Por lo tanto, desde el punto de sellado, el concepto de la válvula de bola es excelente. Debido a que la bola se mueve a través de los asientos con un movimiento de barrido, las válvulas de bola manejan fluidos con sólidos en suspensión. Sin embargo, los sólidos abrasivos dañarán los asientos y la superficie de la bola.⁵

Figura 11. Válvula de bola del CPF Floreña



4. Válvulas de mariposa: En palabras de Smith, Peter⁶: Son las válvulas que tiene un obturador rotatorio en forma de disco que permite el flujo; aunque la original válvula de mariposa tiene la intención de ser el amortiguador de la línea y no precisamente dar cierre hermético. Las válvulas de mariposa han evolucionado con el desarrollo de los elastómeros haciendo que mejoren el sellado producto del disco con el cuerpo de la válvula y además produjo la extensión de este tipo de válvulas a otras industrias ya que los elastómeros son más resistentes a productos químicos. Ver figura 12.

⁵ SMITH, Peter. En: Valve Selection Handbook. 5th ed. New York. Knovel, 2006, 108 p.

⁶ Ibid. p. 120.

Figura 12. Válvula de mariposa



Fuente: BUTTERFLY VALVES & CONTROLS INC. Válvula de mariposa. 2018, <https://valuebutterflyvalves.com/butterfly-valves/centric-butterfly-valves-v73-series/>. Consultado 20 Julio 2018.

3.1.3.2 Válvulas anti retorno. Dispositivos conocidos con los nombres de válvulas de retención (check) o unidireccionales cuya función es evitar el refluo, es decir, que permiten que el fluido circule en la dirección deseada lo cual evita daños en el proceso o maquinaria; en consecuencia, el flujo del fluido que se dirige desde el orificio de entrada hacia el de utilización tiene el paso libre, mientras que en el sentido opuesto se encuentra bloqueado; por ejemplo, al apagarse una bomba se impide rotación inversa del equipo y el vaciado de las líneas de succión. Las válvulas de retención se pueden agrupar de acuerdo con la forma en que el miembro de cierre se mueve hacia el asiento. Se distinguen cuatro grupos de válvulas anti retorno:

1. Válvulas de retención de levante (lift check valves): El miembro de cierre se desplaza en la dirección normal al plano del asiento. Ver figura 13.
2. Válvulas de retención oscilante (swing check valves). El miembro de cierre se balancea alrededor de una bisagra montada fuera del asiento. Ver figura 14.
3. Válvulas de retención de disco basculante (tilting disc check valves). El miembro de cierre se inclina alrededor de una bisagra, que está montada cerca, pero arriba, del centro del asiento. Ver figura 15.
4. Válvulas de retención de diafragma. El miembro de cierre consiste en un diafragma que se desvía desde o hacia el asiento.⁷ Ver figura 16.

⁷ SMITH, Peter. En: Valve Selection Handbook. 5th ed. New York. Knovel, 2006, 154 p.

Figura 13. Válvula Anti retorno



Fuente: WERNER SÖLKENIPIN. Válvula Anti retorno (lift check vavle). 2018, http://www.wermac.org/valves/valves_check.html. Consultado 22 Julio 2018.

Figura 14. Válvula Anti retorno (swing check vavle)



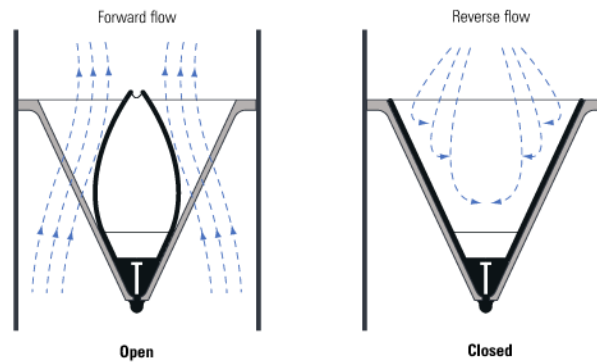
Fuente: CRANE CO. Válvula Anti retorno (swing check vavle). 2018, <http://www.cranecpe.com/chem-energy/products/valves/pacific-csv-cast-steel-valves/pacific-csv-cast-steel-swing-check-valves>. Consultado 22 Julio 2018.

Figura 15. Válvula Anti retorno (tilting-disc check vavle)



Fuente: DEZURIK. Válvula Anti retorno (tilting-disc check vavle). 2018, <http://www.dezurik.com/products/product-line/check-valves/slanting-disc-check-valves-csd/8/36/>. Consultado 22 Julio 2018.

Figura 16. Válvula Anti retorno de diafragma



Fuente: SPIRAX SARCO. Válvula Anti retorno de diafragma. 2018, <http://pointing.spiraxsarco.com/resources/steam-engineering-tutorials/pipeline-ancillaries/check-valves.asp>. Consultado 22 Julio 2018.

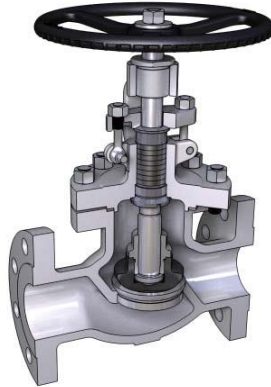
3.1.3.3 Válvulas de estrangulamiento. Estos instrumentos regulan el flujo, la presión y temperatura, mediante la variación de la posición interna del obturador, parte que controla el paso del fluido, además proporcionan apertura o cierre total de la misma; desempeñándose igual que las válvulas de corte como ya se mencionó anteriormente.

Muchos diseños de este tipo de válvulas son actuados de manera manual mediante palancas o volantes sin embargo son más conocidos por sus diversos sistemas de actuadores que permiten un control automático, tanto así que son denominadas válvulas de control; estos actuadores son implementados para recibir una señal de comando y convertirla en una posición específica dentro de la válvula mediante fuentes de potencia externa de tipo eléctrico, hidráulico o neumático.

La válvula de globo es conocida porque su función principal es regular el flujo que pasa por ella, además su nombre no está relacionado necesariamente con la forma de su obturador como las válvulas anteriormente descritas, según Smith P.

“Es habitual referirse al miembro de cierre como un disco, independientemente de su forma”⁸.

Figura 17. Válvula de globo acero fundido con bonete atornillado



Fuente: SITES GOOGLE. Válvula de globo acero fundido con bonete atornillado. 2018, <https://sites.google.com/site/valvulasindustrialesiso9001/home/valvula-globo>. Consultado 19 Julio 2018.

3.2 EL RIESGO

Independiente del contexto o circunstancias de las personas y organizaciones, el riesgo forma parte de la cotidianidad, está presente en los entornos de cualquier esfera en que actúe el ser humano. Cabe preguntarse: ¿Qué es riesgo? El riesgo es el resultado de la percepción del peligro, dicho de otra manera por Ballesteros es “la probabilidad latente de que ocurra un hecho que produzca ciertos efectos, o la combinación de la probabilidad de la ocurrencia de un evento y la magnitud del impacto que pueda causar”⁹ y según CRISTANCHO ARCINIEGAS, M. es “la

⁸ SMITH, Peter. En: Valve Selection Handbook. 5th ed. New York. Knovel, 2006, 54 p.

⁹ BALLESTEROS SANABRIA, A. Riesgo, Amenaza y Vulnerabilidad. [En línea] Epn.gov.co. Bogotá 06 de Agosto de 2018. Consultado 23 Julio 2018. Disponible en: http://epn.gov.co/elearning/distinguidos/SEGURIDAD/13_riesgo_amenaza_y_vulnerabilidad.html.

oportunidad de que suceda algo que tendrá impacto en los objetivos”¹⁰ lo cual implica un proceso para su gestión con base en la aplicación sistemática de políticas organizacionales, procedimientos y prácticas de gestión a las labores de comunicar, establecer el contexto, identificar el problema, analizar, evaluar monitorear y revisar el riesgo.

3.2.1 Clases de riesgos relacionados con mantenimiento industrial. Existen dos tipos de riesgos:

1. Riesgo operativo: es la posibilidad de pérdidas ocasionadas en la ejecución de los procesos y funciones de la empresa por fallas en procesos, sistemas, procedimientos, modelos o personas que participan en dichos procesos.
2. Riesgos físicos: afectan a los materiales como por ejemplo; corto circuito, explosión física, daño en la maquinaria, daño en equipos por su operación, por su diseño, fabricación, montaje o mantenimientos; deterioros de productos y daños en vehículos.

3.2.2 Gestión del riesgo. Las organizaciones para mitigar el impacto de los riesgos deben implementarla la gestión de riesgo la cual se define como el proceso por el cual las empresas tratan los riesgos relacionados con sus actividades a fin de obtener un beneficio sostenido en cada una de las actividades y se fundamenta en la cultura, en los procesos y estructuras tendientes a obtener oportunidades potenciales mientras se administran los efectos adversos.

Los objetivos de la gestión del riesgo son:

- Agregar el máximo valor sostenible a las actividades de la empresa.

¹⁰ CRISTANCHO ARCINIEGAS, María Alejandra. Diseño y apoyo de gestión del riesgo basado en la NTC 5254 en construcción y rehabilitación del área técnica de "Autopistas de Santander S.A". Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Industrial. Piedecuesta: Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de ingeniería industrial. Escuela de administración e ingenierías. 2011. 25 p.

- Visionar los factores que pueden afectar a la organización.
- Aumentar la probabilidad de éxito y reducir la probabilidad de fallo como también la incertidumbre acerca de la consecución de los objetivos generales de la organización.

3.2.3 Implicaciones metodológicas del tratamiento de los riesgos en una organización. Existen siete acciones relacionadas al tratamiento de los riesgos:

1. Identificar los componentes a ser analizados.
2. Analizar la falla de los componentes considerando sus fuentes, tipos de consecuencias y probabilidad de ocurrencias.
3. Identificar el riesgo mediante sus componentes: consecuencia y probabilidad.
4. Establecer la matriz de criticidad y sus componentes.
5. Aplicar los métodos de análisis: cualitativo o cuantitativo (análisis de árboles de fallas, ciclo de vida de los activos y análisis estadístico numérico).
6. Evaluación del riesgo: estableciendo criterios que conlleven a una buena toma de decisiones, tratamiento y prioridades del riesgo.
7. Monitoreo y revisión como parte esencial e integral del proceso de la gestión de riesgos.

Visto así el riesgo se convierte en parte esencial para la gestión de activos tal como lo perfila la norma ISO 55000

3.3 DISTRIBUCIÓN WEIBULL

El análisis de Weibull realiza distribuciones de falla muy importantes con los históricos de mantenimiento como datos de entrada, estos datos generados a su vez serán utilizadas como entradas a los modelos de falla utilizados en un análisis de árbol de fallas, modelos de riesgo, entre otros; en palabras de BEN-DAYA, Mohamed, et al:

La distribución de Weibull es una de las distribuciones de tiempo de vida más utilizadas en ingeniería de confiabilidad y mantenimiento. Es una distribución versátil que puede tomar diferentes formas. Dependiendo del valor del parámetro de forma, β , su función de tasa de falla puede ser decreciente, constante o creciente. Como tal, puede usarse para modelar el comportamiento de falla de varios sistemas de la vida real.¹¹

Ecuación de densidad de Weibull:

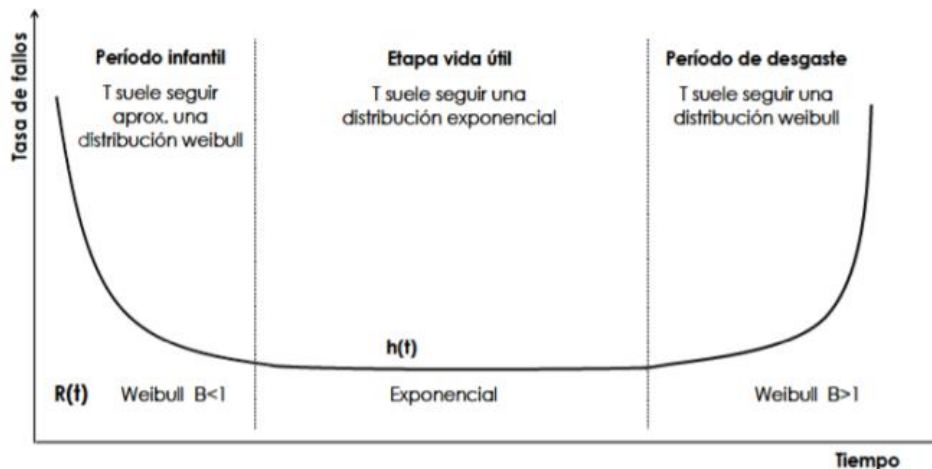
$$f(t) = \frac{\beta t^{\beta-1}}{\eta} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

Ecuación de confiabilidad de Weibull:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

El parámetro de forma, β de la distribución de Weibull, moldea las características de muchas distribuciones diferentes de vida útil, entre las más conocidas esta la curva de la bañera o de Davies.

Figura 18. Curva de la bañera.



¹¹ AIT-KADI, D., BEN-DAYA, M., DUFFUAA, S., KNEZEVIC, J., y RAOUF, A. En: Handbook of Maintenance Management and Engineering. London: Springer. 2009. 61 p.

Esta curva se caracteriza por tres etapas; el desgaste prematuro o etapa infantil que es debido normalmente a defectos de materiales, montajes inadecuados, mantenimientos incorrectos calidad deficiente de elementos entre otros; la etapa de madurez o de vida útil donde la tasa de fallas son las más bajas y se presentan debido cambios constantes en las condiciones de funcionamiento, sobrecargas, operación indebida, prácticamente en su mayoría son fallas por causas básicas tales como características técnicas del equipo o de recurso humano y la fase de envejecimiento donde crece la tasa de fallas por el desgaste o el desuso debido al tiempo o las inclemencias del entorno.

3.4 INFERENCIA BAYESIANA. EL TEOREMA DE BAYES

”La inferencia bayesiana constituye un enfoque alternativo para el análisis estadístico de datos que contrasta con los métodos convencionales de inferencia, entre otras cosas, por la forma en que asume y maneja la probabilidad”¹².

La inducción bayesiana consiste en usar recursos probabilísticos para actualizar (cambiar) nuestra asignación probabilística inicial o previa (haya sido ésta “objetiva” o “subjetivamente establecida”) a la luz de nuevas observaciones; es decir, computar nuevas asignaciones condicionadas por nuevas observaciones. El teorema de Bayes es el puente para pasar de una probabilidad a priori o inicial, $P(H)$, de una hipótesis H a una probabilidad a posteriori o actualizada, $P(H|D)$, basado en una nueva observación D . Produce una probabilidad conformada a partir de dos componentes: una que con frecuencia se delimita subjetivamente, conocida como “probabilidad a priori”, y otra objetiva, la llamada verosimilitud, basada exclusivamente en los datos. A través de la combinación de ambas, el analista conforma entonces un juicio de probabilidad que sintetiza su nuevo grado de convicción al respecto. Esta probabilidad a priori, una vez incorporada la evidencia que aportan los datos, se transforma así en una probabilidad a posteriori.¹³

¹² SILVA, L. y MUÑOZ, A. En: Debate sobre métodos frecuentistas vs bayesianos. Gac Sanit 2000; 14: p. 482-94.

¹³ ANÁLISIS BAYESIANO [Anónimo]

Partiendo de los eventos A y B (donde A y B son ambos sucesos son posibles, es decir, con probabilidad no nula), entonces la probabilidad condicional de A dado B, se define del modo siguiente:

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$$

De modo que, sustituyendo en la expresión

$$P(A \cap B) = P(B|A) P(A)$$

Se llega a la forma más simple de expresar la regla de Bayes:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) P(A)}{P(B)}$$

Ahora bien, supóngase que A_1, A_2, \dots, A_k son k sucesos mutuamente excluyentes, uno de los cuales ha de ocurrir necesariamente; entonces la conocida ley de la probabilidad total establece que:

$$P(B) = \sum_{i=1}^k P(B|A_i) P(A_i)$$

De modo que para un evento A_j , aplicando al denominador la mencionada ley, se tiene:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A_j) P(A_j)}{\sum_{i=1}^k P(B|A_i) P(A_i)}$$

3.5 MANTENIMIENTO

El mantenimiento es el conjunto de acciones realizables para evitar el deterioro natural de cualquier activo físico llámese mueble, inmueble, equipo o maquinaria con el objeto de mantenerlo o restaurarlo a un estado específico en pro de recuperar su funcionalidad para que cumpla su cometido de producir bienes y servicios. El mantenimiento siempre fue considerado como un área de soporte con altos costos y sin productividad para los negocios. En la actualidad, esta forma de pensar ha cambiado y el mantenimiento se considera como otro negocio en donde las empresas pueden ahorrar importantes cantidades de dinero mediante la gestión de mantenimiento. Hoy por hoy, el mantenimiento es sumamente amplio y complejo para el personal técnico y profesional debido a los requerimientos técnicos y de gestión, es así como las organizaciones han venido innovando e implementando sus estrategias con el objeto de mejorar su eficiencia.

3.5.1 Evolución del mantenimiento a través de la Historia. Ros Moreno¹⁴ explica como el concepto y la historia del mantenimiento ha evolucionado, desde un simple entretenimiento de arreglar un aparato o equipo para asegurar el trabajo de una persona o producción hasta la concepción actual de mantenimiento con funciones de prevención, corrección y revisión de los equipos para optimizar las inversiones de una organización.

A finales del siglo XIX, surgió la necesidad de las primeras reparaciones con la automatización de las industrias y es así que desde la revolución industrial, existen grandes hitos en las etapas de la evolución del mantenimiento, ver cuadro 2; dado también a que ha estado ligado desde sus comienzos a la administración, a la

¹⁴ ROS MORENO, A. Mantenimiento Industrial. [En línea] Cartagena, 11 de marzo de 2014, 8 p. Consultado 24 de Julio de 2018. Disponible en: https://issuu.com/antonioros/docs/mantenimiento_industrial.

estadística y a las finanzas. El mantenimiento es parte fundamental de la industria y esto lo ha obligado a evolucionar a través del tiempo.

Cuadro 2. Evolución del Mantenimiento a través de su Historia

Hasta 1945. 1°. Generación	1945 - 1980. 2°. Generación	1980 - 1990. 3°. Generación	1990 – Hoy 4°. Generación
			Proceso de Mantenimiento
			Calidad Total
	Relación de probabilidad de fallo y edad	Mantenimiento preventivo condicional	Mantenimiento fuente de beneficios
Reparar Avería	Mantenimiento preventivo programado	Análisis de causa y efecto	Compromiso de todos los departamentos
Mantenimiento correctivo	Sistemas de Planificación	Participación de producción (TPM)	Mantenimiento basado en el riesgo (RBM)

Fuente: DONIZ MAGALLON, Aarón. IMPLEMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO/PREDICTIVO EN EQUIPO BIOMEDICO EN EL INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL [Tesis]. Tula Tepeji. 2011. P. 19. [Consultado 24 de julio de 2017]. Disponible en: <http://www.uttt.edu.mx/CatalogoUniversitario/imagenes/galeria/62A.pdf>

3.5.2 Tipos de Mantenimiento. En la práctica empresarial se identificaron cuatro tipos de mantenimientos realizados a válvulas:

1. Mantenimiento correctivo: Según la norma X 60-010 de AFNOR¹⁵, lo define como el conjunto de actividades realizadas después del fallo de un bien o deterioro de sus funciones para permitir y cumplir con su aplicación al menos de forma provisional. Es un mantenimiento caro si se considera los costos totales asociados a: repuestos, tiempo muerto de producción, costos relacionados con

¹⁵ JIMÉNEZ GARCÍA, Cecilia. APLICACIÓN DE NUEVAS TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO EN UN PARQUE DE MAQUINARIA DE UN GRUPO DE CIMENTACIONES. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Industrial. Madrid. Universidad Carlos III de Madrid. Escuela Politécnica Superior. Ingeniería en Tecnologías Industriales. 2011. 27 p.

problemas de calidad en el producto, problemas relacionados con la seguridad industrial del personal de mantenimiento y producción, y las multas o sanciones ambientales. El mantenimiento correctivo contempla:

- El paliativo que es un arreglo con el fin de restablecer de forma inmediata la producción y requiere una intervención posterior y de carácter definitivo.
- El curativo que es una acción definitiva que busca el restablecimiento básico de la producción sin necesidad de una intervención por lo menos a la misma avería.

2. Mantenimiento preventivo: apareció durante la segunda guerra mundial con actividades básicas de limpieza y lubricación aparentemente en aviones. En la posguerra las industrias se volvieron más complejas, por lo tanto, se consolidó el mantenimiento en actividades programadas y encaminadas a reducir las paradas de planta realizando actividades de reemplazo de partes y piezas en los tiempos no productivos. Según aclara Jimenes Garcia¹⁶ de la norma AFNOR, lo define como mantenimiento efectuado con la probabilidad de reducir la probabilidad de fallo de un bien o la degradación de un servicio prestado; es decir, el que se ejecuta antes de un fallo o avería y lo constituye el mantenimiento sistemático y el mantenimiento condicional.

El mantenimiento sistemático se realiza con base en un programa previamente establecido siendo medido en unidades horarias o unidades de uso, mientras que el mantenimiento condicional se ejecuta cuando aparecen fallos o daños que puedan provocar irregularidades; así que se trata de una inspección visual casual o planificada; tal es el caso del desgaste del neumático, se constata visualmente cuando llega a su límite se cambia.

¹⁶ JIMÉNEZ GARCÍA, Cecilia. APLICACIÓN DE NUEVAS TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO EN UN PARQUE DE MAQUINARIA DE UN GRUPO DE CIMENTACIONES. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Industrial. Madrid. Universidad Carlos III de Madrid. Escuela Politécnica Superior. Ingeniería en Tecnologías Industriales. 2011. 29 p.

3. Mantenimiento predictivo: es una técnica de gestión que emplea evaluaciones regulares de las condiciones actuales de operación de los equipos o sistemas de producción encaminados a optimizar la operación total de la planta. Son tareas de inspección e identificación de causas de fallas en la operación para prevenir averías. Debe ser usado para mucho más que monitorear las condiciones de operación de un equipo o sistema, este tipo de mantenimiento puede ayudar a identificar las causas que limitan la eficiencia y efectividad de los equipos en planta. Las actividades frecuentes en el mantenimiento predictivo son: El análisis de vibraciones, termografía, análisis de aceites, entre otros.

4. Mantenimiento Cero Horas (Overhaul): Consiste en revisar los equipos dejándolos a cero horas de funcionamiento, es decir, como si fueran nuevos, en tiempos justamente programados antes de que ocurran las fallas cuando la fiabilidad ha disminuido considerablemente poniendo en riesgo su capacidad productiva. Este tipo de mantenimiento tiene por objeto reparar todos los elementos sometidos a desgaste para asegurar un tiempo de buen funcionamiento.

3.5.3 Metodología del mantenimiento. Al incursionar en este tema cabe definir que “metodología es el grupo de mecanismos o procedimientos racionales, empleados para el logro de un objetivo, o serie de objetivos”¹⁷ de los cuales se vale la ciencia, la pedagogía, la jurisprudencia, etc. es decir, está ligada a cualquier actividad que realice el ser humano.

En una empresa es indispensable la aplicación de metodologías que faciliten el trabajo u operación de máquinas y sistemas para aumentar la productividad. La metodología permite en primera instancia abarcar lo general que en sí es el proceso para llegar luego a lo particular: la operación. El objetivo de aplicar

¹⁷ BORGES, Jorge Luis. En: Grijalbo: Gran Diccionario Enciclopédico Ilustrado a Color. Barcelona: Grijalbo Mondadori, 1997. 1135 p. ISBN: 84-253-3171-4.

metodologías específicas en el marco del mantenimiento conlleva a incrementar la producción y a reducir costos; además de la interacción de éstos asegurar el trabajo para más personas. En consecuencia, se puede decir que los beneficios de las metodologías son:

1. Minimizar el tiempo requerido para la ejecución de trabajos.
2. Conservar los recursos y bajar los costos especificando los materiales directos e indirectos más apropiados para la producción de bienes y servicios.
3. Efectuar la producción sin perder de vista la disponibilidad de energéticos o de la energía.
4. Proporcionar un producto que sea cada vez más confiable y de alta calidad.
5. Maximizar la seguridad, la salud y el bienestar de todos los empleados o trabajadores.
6. Realizar la producción considerando cada vez más la protección necesaria de las condiciones ambientales.
7. Aplicar un programa de administración.

En mantenimiento, la metodología es sumamente importante pues su finalidad es prever, planear e implementar estrategias para evitar fallos funcionales en máquinas y sistemas. Entre las metodologías aplicadas al sector petrolero y de gas están:

1. Metodología RCM: (Reliability Centered Maintenance o mantenimiento centrado en la confiabilidad): Es una metodología consecuente para el desarrollo o perfeccionamiento de un plan de mantenimiento, Según Moubray¹⁸, RCM es un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para garantizar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en sus contextos operativos actuales. Así que RCM es una metodología estructurada basada en construcción del análisis modal de fallas y defectos, en la construcción de un árbol lógico de decisiones, en la identificación de las tareas de

¹⁸ MOUBRAY, John. En: Reliability-Centered Maintenance. 3rd ed. Oxford: Butterworth Heinemann, 2007, p. 6 y 7.

mantenimiento apropiadas y en la implantación de recomendaciones y seguimiento de resultados.

Según García Garrido: La metodología en la que se basa RCM va completando una serie de fases para cada uno de los sistemas que componen la planta:

Fase 0: Codificación y listado de todos los subsistemas, equipos y elementos que componen el sistema que se está estudiando. Recopilación de esquemas, diagramas funcionales, diagramas lógicos, etc.

Fase 1: Estudio detallado del funcionamiento del sistema. Listado de funciones del sistema en su conjunto. Listado de funciones de cada subsistema y de cada equipo significativo integrado en cada subsistema.

Fase 2: Determinación de los fallos funcionales y fallos técnicos

Fase 3: Determinación de los modos de fallo o causas de cada uno de los fallos encontrados en la fase anterior

Fase 4: Estudio de las consecuencias de cada modo de fallo. Clasificación de los fallos en críticos, importantes o tolerables en función de esas consecuencias

Fase 5: Determinación de medidas preventivas que eviten o atenúen los efectos de los fallos.

Fase 6: Agrupación de las medidas preventivas en sus diferentes categorías. Elaboración del Plan de Mantenimiento, lista de mejoras, planes de formación y procedimientos de operación y de mantenimiento

Fase 7: Puesta en marcha de las medidas preventivas.¹⁹

2. Metodología RBI (Risk Based Inspection o inspección basada en riesgos): La base teórica de la RBI son las normas API 580 y API 581 y se concibe como la estrategia tecnológica que identifica, evalúa y realiza un ordenamiento de los riesgos industriales partiendo del estudio de integridad de los equipos, sistemas y partes; proyecciones de vida media y fallas de los equipos, es decir, que la RBI “establece frecuencias y alcances de las inspecciones con base en la valoración del comportamiento histórico, factores de daño, características de diseño, condiciones de operación, mantenimiento, inspección y políticas gerenciales tomando en cuenta al mismo tiempo la calidad y efectividad de la inspección así como las consecuencias asociadas a las potenciales fallas”²⁰.

¹⁹ GARCÍA GARRIDO, Santiago et al. En: Operación Y Mantenimiento De Centrales De Ciclo Combinado. Madrid: Díaz De Santos. 2008. 88 p.

²⁰ RELIABILITY AND RISK MANAGEMENT©. "Metodología De Inspección Basada En Riesgo - IBR | R2M". [En línea]. Reliarisk.Com. 16 de febrero de 2017. Consultado 26 de Julio de 2018.

En palabras del Ingeniero de Proyectos Hernández Arango Pablo:

La inspección basada en el riesgo contempla las siguientes etapas:

- Recolección de datos e información.
- Análisis del riesgo.
- Evaluación de consecuencias.
- Evaluación de la probabilidad de falla (veces/año).
- Evaluación del riesgo mediante matriz de riesgos.
- Clasificación de los riesgos.
- Revisión del plan de inspección.
- Revaluación del plan de inspección.

Las utilidades esenciales de la RBI o IBR se pueden concretar en:

- Reducir el riesgo debido a las fallas de alta consecuencia.
- Mejorar la relación costo beneficio en las actividades de inspección y mantenimiento.
- Proporcionar una base administrativa para la transferencia de recursos de equipos de menor riesgo a equipos de riesgo mayor.
- Cuantificar la reducción del riesgo como resultado de las buenas prácticas de inspección.
- Evaluar el efecto de los cambios en operaciones y procesos que afectan la integridad de los equipos.
- Proporcionar una metodología sistemática para identificar los factores críticos que contribuyen a la ocurrencia del riesgo.
- Establecer niveles de riesgo aceptable.²¹

Teniendo en cuenta que la RBI identifica los factores críticos que contribuyen a la ocurrencia del riesgo, cabe preguntarse: ¿Cómo clasifica el riesgo la RBI?, para dar respuesta a esta pregunta esta la matriz de criticidad la cual es una herramienta que permite organizar y catalogar los activos en una valoración de riesgo previamente determinada; este instrumento posee dos ejes uno vertical que

Disponible en: <http://reliarisk.com/post/metodolog%C3%ADa-de-inspecci%C3%B3n-basada-en-riesgo-ibr>.

²¹ HERNÁNDEZ ARANGO, Pablo. INSPECCIÓN BASADA EN RIESGO: GENERALIDADES Y UN CASO PRÁCTICO. INDISA [En línea]. <http://www.indisa.com/es/>. Medellín. 26 de Octubre de 2012, pp. 1-3. Consultado 26 Julio 2018. Disponible en: <http://www.indisa.com/indisaonline/antteriores/Indisa%20On%20line%20111-%20%20INSPECCION%20BASADA%20EN%20RIESGO%20GENERALIDADES%20Y%20UN%20CASO%20PR%C3%81CTICO.pdf>.

registra la probabilidad de fallas y el otro horizontal para las consecuencias donde se ubican los sistemas o equipos según su nivel de impacto.

Para estimar la probabilidad de falla se valora mediante parámetros y sub parámetros establecidos según el tipo de componente, por ejemplo la norma API 581 en su propósito deja en claro los equipos a los cuales proporciona procedimientos cuantitativos para establecer el programa de inspección basado en riesgo (recipientes a presión, tuberías, tanques, dispositivos de alivio de presión e intercambiadores de calor). Las valoraciones se dan en términos de: Probable, ocasional, pocas veces, improbable, remoto y raro. Este valor se ubica en la matriz de riesgo en las abscisas. Ver figura 19.

Figura 19. Categorías de Probabilidad para el análisis desarrollado

CATEGORIA PROBABILIDAD	6	Probable	CATEGORIA PROBABILIDAD	6	Medio	Medio	Medio Alto	Medio Alto	Alto	Alto
	5	Ocasional		5	Medio Bajo	Medio	Medio	Medio Alto	Medio Alto	Alto
	4	Pocas veces		4	Medio Bajo	Medio Bajo	Medio	Medio	Medio Alto	Medio Alto
	3	Improbable		3	Bajo	Medio Bajo	Medio Bajo	Medio	Medio	Medio Alto
	2	Remoto		2	Bajo	Bajo	Medio Bajo	Medio Bajo	Medio	Medio
	1	Raro		1	Bajo	Bajo	Bajo	Medio Bajo	Medio Bajo	Medio
					F	E	D	C	B	A
				CATEGORIA CONSECUENCIA						
				Incidental	Menor	Moderado	Mayor	Grave	Catastrófico	

El análisis de la consecuencia se realiza con el fin de obtener una discriminación entre los componentes más afectados en caso de una falla potencial. Es un cálculo aproximado de lo que podría esperarse si ocurriera una falla, la estimación de la consecuencia se realiza mediante la evaluación de cuatro factores: salud y seguridad, medio ambiente, privilegio para operar o reputación, daño de equipos o pérdida de valor de negocio, ver figura 20. La consecuencia se valora (por lo general en dólares) de acuerdo con la matriz y se da en términos de: incidental o

ninguno, menor, moderado, mayor, grave y catastrófico; cuyo valor se ubica en el eje horizontal.

La matriz posee un código de colores, ver figura 21, que permite identificar la mayor o menor intensidad del riesgo con el valor de criticidad de la instalación, sistema o equipo bajo análisis.

La matriz de criticidad también se le conoce como la matriz RAM del inglés Risk Assessment Matrix o Matriz de Evaluación y Riesgos; además es uno de los pasos que se utiliza en un proceso de gestión de riesgos cuyo objetivo es ayudar a la gerencia y a toda la organización a enmarcarse dentro de las políticas, procedimientos y objetivos estratégicos relacionados con los riesgos e interpretar en términos de niveles de riesgos tolerables las actividades cotidianas. Algunos ejemplos en los que se usa la RAM:

- HSE (Health, Security, Environment). Gestión en salud, Seguridad industrial y medio ambiente: gestión social y seguridad física, fijando los objetivos y priorizando las iniciativas de reducción de riesgos, análisis de trabajo seguro, valoración del riesgo de tareas específicas, investigación de los incidentes (Accidentes, Casi accidentes, fallas operacionales, etc.)
- Diseño: Estudios de factibilidad, evaluaciones de impacto ambiental, selección de estándares de diseño y aplicación de control de cambio.
- Planeación: Planeación de mantenimiento.

Figura 20. Criterios de organización de las consecuencias en la práctica

Probable	CATEGORIA PROBABILIDAD	6	Medio	Medio	Medio Alto	Medio Alto	Alto	Alto
Ocasional		5	Medio Bajo	Medio	Medio	Medio Alto	Medio Alto	Alto
Pocas veces		4	Medio Bajo	Medio Bajo	Medio	Medio	Medio Alto	Medio Alto
Improbable		3	Bajo	Medio Bajo	Medio Bajo	Medio	Medio	Medio Alto
Remoto		2	Bajo	Bajo	Medio Bajo	Medio Bajo	Medio	Medio
Raro		1	Bajo	Bajo	Bajo	Medio Bajo	Medio Bajo	Medio
			F	E	D	C	B	A
		CATEGORIA CONSECUENCIA						
		Incidental	Menor	Moderado	Mayor	Grave	Catastrófico	



CRITERIOS	CATEGORIA CONSECUENCIA					
	F	E	D	C	B	A
	Incidental	Menor	Moderado	Mayor	Grave	Catastrófico
Daño de Equipos	Ninguna. Costos < 20K	Algunos daños, perdida de	Perdida de activos, daños a	Perdida de activos, daños a	Perdida de activos y/o daños	Destrucción o daño total.
Salud y Seguridad	Primeros Auxilios.	Lesiones o Enfermedades que requieran tratamiento médico o trabajo restringido.	Lesiones incapacitantes / serias/Significati vas o con ausencia del trabajo.	De 1 a 10 fatalidades dentro y fuera de las instalaciones, entre 10 o más lesionados que requieran tratamiento de hospitalización.	de 11 a 100 fatalidades dentro o fuera de las instalaciones.	De 101 o más fatalidades dentro o fuera de las instalaciones.
Medio Ambiente	Afectación de área interna de las Instalaciones con recuperación menor a 7 días.	Afectación de un área Externa con recuperación inmediata menor a dos semanas.	Afectación de un área sensible con recuperación menor a 2 semanas o > 2 y < a 4 Semanas.	Afectación de un área sensible con recuperación en un periodo mayor a 2 semanas y < 1 año o afectación a área no sensible con recuperación de un periodo > a 4 semanas y > a 6 meses.	Daño extensivo con afectación de un área sensible con recuperación entre 1 y 5 años.	Daño extensivo a un área ambientalmente sensible con una recuperación > 5 años.
Privilegio para operar / Reputación	Quejas procedentes por parte de vecinos, quejas procedentes de proveedores o terceras partes.	Cubrimiento por medios locales, Municipales. Incumplimiento compromisos con terceras partes del ámbito local.	Cubrimiento por medios regionales a corto plazo. Incumplimiento compromisos con terceras partes del ámbito Regional.	Cubrimiento por medios regionales y nacionales de mediana duración. Afectación de las relaciones en la industria con proveedores de bienes y servicios a nivel nacional e internacional.	Perdida de una licencia local o regional, Impacto en la reputación de los accionistas, rechazo por parte del público en general, rechazo por parte de los inversionistas, Impacto en la reputación de los accionistas,	Afectación a la reputación a nivel internacional, Cubrimiento por medios internacionales de larga duración, rechazo por parte de los accionistas de Equipo y público a nivel internacional.

Figura 21. Matriz de riesgo

Probable	CATEGORIA PROBABILIDAD	6	Medio	Medio	Medio Alto	Medio Alto	Alto	Alto
Ocasional		5	Medio Bajo	Medio	Medio	Medio Alto	Medio Alto	Alto
Pocas veces		4	Medio Bajo	Medio Bajo	Medio	Medio	Medio Alto	Medio Alto
Improbable		3	Bajo	Medio Bajo	Medio Bajo	Medio	Medio	Medio Alto
Remoto		2	Bajo	Bajo	Medio Bajo	Medio Bajo	Medio	Medio
Raro		1	Bajo	Bajo	Bajo	Medio Bajo	Medio Bajo	Medio
			F	E	D	C	B	A
		CATEGORIA CONSECUENCIA						
		Incidental	Menor	Moderado	Mayor	Grave	Catastrófico	

Esta metodología de criticidad permite según PARRA C. & CRESPO A. “Jerarquizar procesos, sistemas y equipos en un complejo de producción subdividiendo los elementos en secciones que puedan ser manejados de manera controlada y auditable”²², es decir, instaura diferentes y posibles criterios para evaluar la criticidad de un activo, los cuales son variables según la necesidad de la organización, ver cuadro 3. Algunos criterios comunes a utilizar dentro de los procesos de jerarquización son:

- Flexibilidad operacional
- Efecto en la continuidad operacional o capacidad de producción
- Efecto en la calidad del producto
- Efecto en la seguridad, ambiente e higiene
- Costos de paradas y del mantenimiento
- Frecuencia de fallas o confiabilidad
- Condiciones de operación
- Flexibilidad o accesibilidad para inspección y mantenimiento
- Requerimientos o disponibilidad de recursos para inspección y mantenimiento.
- Disponibilidad de repuestos²³

²² PARRA MÁRQUEZ, Carlos y CRESPO MÁRQUEZ, Adolfo ROMERO CARRANZA. Técnicas De Ingeniería De Mantenimiento Y Fiabilidad Aplicadas En El Proceso De Gestión De Activos. [En línea]. Mantenimientomundial.com. Sevilla. Septiembre de 2012. Consultado 26 de Julio de 2018. Disponible en: <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/Metodos-basicos-de-criticidad-activos.pdf>.

²³ *Ibíd.*, p. 3.

Cuadro 3. Pasos para realizar el análisis de criticidad

PASO	PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO
1	Definición de los niveles a efectuar el análisis.	El nivel es la categorización de las necesidades de un activo sea una instalación, un sistema, equipo o elemento. Debe contarse con información sobre las instalaciones, tipos de sistemas y equipos, ubicación geográfica y servicio, Filosofía de instalación y equipo. Diagramas de flujo de proceso, registros disponibles de eventos no deseados o fallas funcionales, frecuencia de ocurrencia de las fallas, registros de impactos en producción y registros de impactos en la seguridad de los procesos.
2	Definición de la criticidad.	Para definir la criticidad se tiene en cuenta la estimación de: <ul style="list-style-type: none"> - La frecuencia de la falla funcional que puede existir más de una siendo la más representativa la de mayor impacto en el proceso o sistema. - La frecuencia de ocurrencia del evento según el número de ocurrencias por año. Se utiliza el Tiempo Promedio entre Fallas o la frecuencia de falla en número de eventos por año, en caso de no contar con esta información utilizar bases de datos genéricos (PARLOC, OREDA, etc.) y si ésta no está disponible basarse en la opinión de expertos. Para la estimación de las consecuencias o impactos de la falla, se emplea los siguientes criterios y sus rasgos preestablecidos. Los cinco criterios son: <ul style="list-style-type: none"> - Daños a las instalaciones y al personal. - Impacto a la producción. - Impacto al ambiente y a la población.
3	Cálculo del nivel de criticidad.	Para determinar el nivel de criticidad de una instalación, sistema, equipo o elemento se emplea: $Riesgo = Probabilidad \times Consecuencia$. Buscar en la Matriz de Criticidad, el nivel criticidad de acuerdo con los valores y categorías establecidas.
4	Análisis y validación de los resultados.	Es importante el análisis para definir acciones que minimicen los impactos asociados a los modos de falla que causan la falla funcional a fin de detectar cualquier posible desviación que amerite la reevaluación de la criticidad.
5	Definición del nivel de análisis.	El resultado obtenido de la frecuencia por el impacto permite clasificar los problemas, componentes, equipos, sistemas o procesos basados en la criticidad. La identificación de los activos más críticos permitirá orientar los recursos y esfuerzos a las áreas que más lo ameriten, así como gerenciar las acciones de mitigación del riesgo. He aquí el objetivo de esta metodología.

PASO	PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO
6	Dictamen de la criticidad.	<p>Este paso permite completar la metodología, cuando en la evaluación de un activo se obtienen frecuencias de ocurrencias altas, las acciones recomendadas para llevar la criticidad de un valor más tolerable deben orientarse a reducir la ocurrencia del evento.</p> <p>Si el valor de criticidad se debe a valores altos en alguna de las categorías de consecuencias, las acciones deben orientarse a mitigar los impactos que el evento (modo de falla o falla funcional) puede generar. Dentro de las actividades que se recomiendan, se pueden incluir otras metodologías de Confiabilidad con el objeto de:</p> <p>Identificar la causa o causas de los eventos deseados y recomendaciones mediante el Análisis Causas Raíz.</p> <p>Mitigar los efectos y consecuencias de los modos de falla y frecuencia de las fallas por medio de las aplicaciones de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad e Inspección Basada en Riesgo (RBI).</p> <p>Validar los resultados mediante análisis RAM.</p>
7	Sistema de Seguimiento de Control.	<p>Después de la selección de las acciones de mejora en las frecuencias de ocurrencia de los eventos y mitigación de impactos se debe crear y establecer el Seguimiento y Control, para garantizar el monitoreo de la ejecución de las acciones seleccionadas y el cumplimiento de las recomendaciones consecuentes del Análisis de Criticidad.</p> <p>Los objetivos de Seguimiento y Control son:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Asegurar la continuidad en el tiempo de la aplicación de los planes de acción resultantes de la aplicación de la Metodología Análisis de Criticidad. - Promover la cultura del dato en todos los niveles de la empresa. - Monitorear los cambios o mejoras que pueden derivarse de la aplicación de las acciones generadas como resultados de los análisis.
8	Análisis y Validación de los resultados	<p>Se debe crear un expediente, con los registros y documentos resultantes de la aplicación de los Análisis de Criticidad realizados a las instalaciones, sistema, equipos y elementos. Ej. Para el caso de los equipos, instalaciones, ductos, los resultados obtenidos del análisis deberán registrarse en el formato PM-SAP empleando la Creación o Modificación de Equipos en el Modulo de Mantenimiento de SAP. Clave: 202-60000-ITOP -117- 0002, Noviembre 2004, inciso 1.1.1.3</p>

Cuadro 5. (Continuación)

3.6 LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO Y LA GESTIÓN DE ACTIVOS

La gestión de mantenimiento es un listado de actividades que permiten conservar o restablecer un bien en estado específico, en la medida de asegurar un servicio determinado teniendo en cuenta la calidad del producto, la seguridad de las personas y todo ello al menor costo posible. Como dice Pintelon²⁴ la gestión del mantenimiento no es un proceso aislado, de hecho es un sistema dependiente de factores propiamente ligados a la gerencia y al mantenimiento, así como de factores internos y externos a la organización. Según Vanneste²⁵ La situación más deseable es la completa integración de la gestión del mantenimiento dentro del sistema.

Según la norma UNE EN 16646: “El mantenimiento es uno de los procesos principales. Está en estrecha relación con todos los otros procesos (de la gestión de activos) y es importante para identificar sus entradas y salidas a monitorizar para comprobar el desempeño del sistema de gestión de los activos físicos”²⁶.

Aduciendo que la gestión de activos es la pauta que busca gestionar todo el ciclo de vida de los activos de una organización con el fin de maximizar su valor, se puede inferir que no es una práctica prescriptiva de tareas o tecnologías. En palabra de Guillermo Sueiro:

Hoy existe un Modelo de Gestión de Activos y Confiabilidad que, a través de herramientas específicas, permiten lograr el Costo-Eficacia deseado. La clave radica en saber diagnosticar el problema específico que se nos presenta y determinar cuál es la técnica más apropiada a utilizar. Por lo tanto, la responsabilidad de las gerencias será la de saber reclutar y contratar especialistas que aseguren que se

²⁴ PINTELON, L. y GELDERS, L. Maintenance management decision making. En: European Journal of Operational Research. Junio, 1992, vol.58 no 3, p. 301-317.

²⁵ VANNESTE, S. y VAN WASSENHOVE, L. An integrated and structured approach to improve maintenance. En: European Journal of Operational Research. Enero, 2011, vol. 82 no 2, p. 241-257.

²⁶ UNA NORMA ESPAÑOLA – EUROPEAN NORM. Mantenimiento en la gestión de los activos físicos, ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN, Madrid, 2015, p. 7 y 8. (UNE EN 16646:2014)

está atacando el verdadero problema con la herramienta adecuada. Todas las técnicas de última generación utilizadas al respecto, coinciden básicamente en presentar una metodología estructurada, capacitación, trabajo grupal, capacidad para implementar las acciones correctivas necesarias y un fuerte foco en los resultados²⁷.

En esta dinámica empresarial el mantenimiento se destaca porque pasa de ser un generador de gastos a un instrumento de generación de ingresos mediante el mejoramiento y optimización de los activos al objeto del logro del negocio; he ahí el por qué las organizaciones deben implementar planes de mantenimiento para dar respuesta a la demanda de seguridad, haciendo que se adopten enfoques y metodologías en sus diversas fases.

Con el paso del tiempo, el mantenimiento ha venido adecuando sus estrategias hacia la predicción y prevención de fallos para lo cual se ha fundamentado en las diferentes normas internacionales porque dentro de ese tamizaje el riesgo es la constante permanente que permea sistemas, equipos, personas, salud y medio ambiente.

3.6.1 Generalidades de la Gestión de Activos. Los orígenes de la gestión de activos datan desde los años 70 cuando la OPEP aumentó el precio de crudo y terminó con el petróleo barato de la posguerra, lo cual trajo como consecuencias: desactivación económica mundial, aumento en la inflación, reducción en las tasas de crecimiento y desempleo. Esto obligó a los empresarios a buscar nuevas tácticas para minimizar costos, maximizar productividad y por ende mejorar rentabilidad.

Surge entonces en Estados Unidos, en 1990, la North American Maintenance Excellence Award con los objetivos de promover la calidad y competencia en el uso de prácticas eficientes y la identificación de empresas líderes; además de

²⁷ SUEIRO, Guillermo. ¿Qué es la confiabilidad? [En línea]. <https://avdiaz.wordpress.com/>. Consultado 26 de Julio de 2018. Disponible en: <https://avdiaz.files.wordpress.com/2012/06/calidad-y-confiabilidad.pdf>

buscar el posicionamiento de las diez mejores prácticas, estrategias y beneficios de la implementación. Las nuevas prácticas que revolucionaron las industrias del Reino Unido se desarrollaron como la actual filosofía gerencial denominada “Asset Management” o Gestión de Activos. Luego en 2004 se publica la norma British Standard PAS 55 estándar para la gestión de activos, la cual para el 2008 es muy reconocida planteando la creación de la norma ISO 55000, quien es creada finalmente por el año 2010.

3.6.2 La Función del Mantenimiento en la Gestión de Activos. El mantenimiento planifica y da soluciones de los activos físicos, tiene importancia a nivel de diseño durante el proceso de inversión en pro de optimizar las actividades durante el ciclo de vida del activo, cumplir requisitos normativos y legales; además de ser un respaldo en la operación. Ver Cuadro 4.

Cuadro 4. Mantenimiento vs Gestión de Activos

ROLES DEL MANTENIMIENTO	PROCESOS DEL ACTIVO
Ser consultor del área que implementa los factores clave de éxito	En el proceso de planificación determina la estrategia de negocios, planes a nivel de cartera, análisis del mercado y requisitos o restricciones para el sistema de activos.
Determinar la solución de activos más eficaz y las tasas de desempeño óptimas para los indicadores claves elegidos	En el proceso de adquisición de insumos, repuestos y servicios, da el visto bueno, fortalece el discurso técnico de los actores y valida la idoneidad de los proveedores.
Ser responsable de mantener la información histórica asociada a los activos físicos y tener una participación.	En el proceso de mantenimiento, suministra los históricos, participa en el montaje y puesta en marcha de los activos físicos para asegurar la operación y mantenimiento de los mismos.
Plantear el sistema integral para que la empresa asegure que los activos sean productivos he ahí el origen de la gestión de activos.	En el proceso de Mejora y Retirada del activo.

3.7 DEL RIESGO Y DEL MANTENIMIENTO A LA GESTIÓN DE ACTIVOS

Las organizaciones en pro de garantizar sus productos y servicios deben prestar especial atención a tres aspectos involucrados en sus procesos: el activo, el riesgo y el mantenimiento. Ver figura 22.

Figura 22. Integración de activo, riesgo y mantenimiento



El activo es primordial para las organizaciones porque representa sus valores sean financieros o no financieros. El riesgo es una situación real y concreta inherente al activo comprometiendo la confiabilidad (que es la capacidad de desempeñar una función requerida durante un lapso y en condiciones

establecidas) y la seguridad (entendida como la ausencia de riesgo y la confianza) convirtiéndose en un indicador y una estrategia conducente a proyectar acciones planificadas que preserven la vida del activo, ayuden en la toma de decisiones y por ende en la consecución de resultados. El mantenimiento es característico del activo y es el encargado de conservarlo en buen estado y perfecto funcionamiento.

Desde este abordaje integral del asunto en cuestión, ¿Cómo interactúan estos tres aspectos al interior de una organización? En una organización pequeña o grande, todo activo físico está asediado por riesgos, el mantenimiento opera como el correctivo que mitiga el riesgo y protege al activo con el fin de mantener la funcionalidad y valor financiero. Visto así: el riesgo, el mantenimiento y el activo conforman un engranaje que llevan a instaurar los nuevos conceptos de: gestión de riesgo, gestión de mantenimiento y gestión de activos. Ver Anexo B.

La gestión de riesgo proporciona las metodologías, procesos y herramientas que constituyen el soporte para la toma de decisiones, permiten el desempeño sostenible de los activos en términos de funcionalidad, seguridad y costos. La mitigación del riesgo debe considerarse de modo integral e incluye: reducción del riesgo mediante labores de mantenimiento, reducción del riesgo durante los fallos del sistema y reducción del riesgo asociado al personal de mantenimiento la cual deben ser contemplada en mantenimiento y ejecutada mediante órdenes de trabajo.

La gestión de mantenimiento basada en el riesgo utiliza técnicas apropiadas para comparar el efecto de los fallos con la seguridad y los costos con las tareas de mantenimiento. De este modo, se puede gestionar de manera eficaz los recursos disponibles si se actualizan las especificaciones y la periodicidad de mantenimiento en función del riesgo.

La gestión de activos se utiliza para planificar la funcionalidad de los activos y exige:

1. Conocer las necesidades de las parte interesadas
2. Comprender los riesgos asociados a dichas necesidades para proveer los servicios demandados en forma segura y fiable
3. Armonizar de forma integral tres objetivos básicos de toda organización: seguridad, niveles de servicio y viabilidad financiera.

En la relación interdisciplinaria de cada una de estas gestiones los objetivos, las políticas y planes estratégicos deben:

1. Coadyuvar a la mejora continua de la organización
2. Ser coherentes con los objetivos corporativos para que estos a su vez impregnen la estructura organizacional y todos sus actores hablen un mismo lenguaje, tengan una misma identidad y compromiso, y obviamente se reviertan en valores financieros, éticos, humanos, de seguridad personal y ambiental.

En esta dinámica empresarial el mantenimiento se destaca porque pasa de ser un generador de gastos a un instrumento de generación de ingresos mediante el mejoramiento y optimización de los activos al objeto del logro del negocio; he ahí el por qué las organizaciones deben implementar planes de mantenimiento para dar respuesta a la demanda de “seguridad” haciendo que se adopten enfoques y metodologías en sus diversos fases y procesos.

Con el paso del tiempo, el mantenimiento ha venido adecuando sus estrategias hacia la predicción y prevención de fallos para lo cual se ha fundamentado en las diferentes normas internacionales porque dentro de ese tamizaje el “riesgo” es la constante permanente que permea sistemas, equipos, personas, salud y medio ambiente.

4. MARCO NORMATIVO

4.1 NORMAS API

Las normas API comenzaron a publicarse 1966 con la intención de estandarizar temas técnicos y áreas específicas de la ciencia. Su larga trayectoria ha hecho que sea adoptada por entes reguladores de los Estado Unidos y de la Organización Internacional de Estandarización ISO. Entre el gran grupo de normas API, cabe destacar:

4.1.1 Norma API 6A. Esta Norma Internacional especifica los requisitos y brinda recomendaciones para el rendimiento, intercambio dimensional y funcional, diseño, materiales, pruebas, inspección, soldadura, marcado, manejo, almacenamiento, y re manufactura de diferentes tipos de válvulas estranguladoras, conectores, colgadores (fittings) y cabezales para su uso en las industrias del petróleo y gas. Ver Anexo C.

4.1.2 Norma API 6D. La Norma API 6D fue publicada en 1936, sucesivamente revisada y con una última edición en 2014 aplicada a la innovación y a la tecnología, además especifica los requisitos y brinda recomendaciones para el diseño, fabricación, prueba y documentación de válvulas de bola, control, compuerta y tapón para su aplicación en sistemas de tuberías que cumplen con los requisitos de ISO 13623 para las industrias del petróleo y el gas natural²⁸. Ver Anexo D.

²⁸ AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Specification for Pipeline Valves. USA: API. 2008. Parte 1: il. (ANSI/API SPECIFICATION 6D)

4.1.3 Norma API 576. La Norma API RP 576 brinda conocimientos básicos y relevantes sobre Inspección y reparación de dispositivos automáticos de alivio de presión. Es una práctica recomendada desarrollada y publicada por el “American Petroleum Institute” con la intención de asegurar el funcionamiento de válvulas de alivio ya sean operadas por piloto, de disco de ruptura o venteos emergentes de presión y vacío, ver Anexo E. “La primera edición de este estándar se publicó en septiembre de 1992. El lanzamiento más reciente fue la cuarta edición, publicada en abril de 2017”²⁹.

La inspección de válvula de alivio de presión según la norma API 576 puede darse en las siguientes fases, la cual también es aplicable a otro tipo de válvulas, según sea el caso Ver cuadros 5,6, y 7.

Cuadro 5. Identificación de Problemas y Causas

PROBLEMA	CAUSAS
CORROSIÓN	<ul style="list-style-type: none"> - Superficies deslizantes atascadas, pernos, tornillos, tuercas y otras roscas. - Resortes rotos o cedidos. - Asientos de metal con metal
ASIENTOS	<ul style="list-style-type: none"> -Corrosión, acumulación de depósitos o mugres, residuos de soldadura. -Trepidación por pérdida de presión durante la entrada o salida de la válvula durante el disparo. -Erosión por escape. -Calibración incorrecta. - Sobredimensionamiento exagerado.
RESORTES DAÑADOS	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción de diámetro por corrosión superficial. - Corrosión por H2S porque ataca la microestructura de la válvula.

²⁹ INSPECTIONEERING, LLC. API RP 576 - Inspection of Pressure-Relieving Devices. [En línea]. Inspectioneering.com. The Woodlands. Consultado 1 de Agosto de 2018. Disponible en: <https://inspectioneering.com/tag/api+rp+576>.

PROBLEMA	CAUSAS
CALIBRACIÓN INCORRECTA	<ul style="list-style-type: none"> -Apertura incompleta porque no hay suficiente flujo. -Uso de material inadecuado para calibrar válvulas, puesto que si son válvulas para gas deban calibrarse con gases y no con un líquido por ejemplo. -Medida incorrecta de anillos y reguladores.
TAPONAMIENTO Y ATASCAMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> -Obstrucción por solidificación de coque y monómeros. -Obstrucción a la entrada y salida de las válvulas. -Atascamiento por corrosión o deformación entre disco y guía.
LOCALIZACIÓN, IDENTIFICACIÓN E HISTORIA INCORRECTAS	<ul style="list-style-type: none"> -Instalación en sitios que NO proveen protección adecuada a las válvulas. -Especificación de los registros históricos de cada válvula cada vez que sea retirada para inspección y reparación. -Identificación con un número específico de TAG.
MALTRATO	<ul style="list-style-type: none"> -Durante el transporte debe hacerse en posición vertical. -Durante el mantenimiento mantener las tolerancias dadas por el fabricante. Y no golpear los componentes durante el desarmado. -Durante la instalación forzar el alineamiento entre la tubería de salida y la válvula creando fuerzas de reacción de las tuberías, por expansión térmica o falta de sustentación.
DIFERENCIAL DE PRESIÓN INSUFICIENTE	<p>Cuando la presión de apertura está muy cerca de la presión de operación:</p> <ul style="list-style-type: none"> -El diferencial debe ser más de 5 [PSI] para sistemas que operan a menos de 50 [PSI]. -El diferencial debe ser el 10% para sistemas que operan entre 50 y 250 [PSI].

Cuadro 5. (Continuación)

Cuadro 6. Inspección en el Campo

PROBLEMA	ADVERTENCIAS
SEGURIDAD	<ul style="list-style-type: none"> -Siempre realice el bloqueo de entrada antes que el de salida. -Antes de retirar la válvula y cuando la vuelva a colocar, verifique la auto-sustentación de tubería a entrada y salida. -Antes de retirada o desarmada, verifique la toxicidad y inflamabilidad del fluido o fluidos que pueden ser atrapados en la válvula.
IDENTIFICACIÓN	<p>Las válvulas se identifican con un TAG que incluya los datos exigidos en ASME VIII, VG-129</p>
DATOS OPERATIVOS	<p>El retiro de una válvula de alivio instalada en un equipo en operación debe ser planeada para minimizar el tiempo utilizado.</p> <ul style="list-style-type: none"> -El aislamiento de las válvulas debe hacerse con las válvulas de bloqueo adyacentes y sólo por personal específicamente autorizado. (ASME VIII apéndice M). -El volumen entre la válvula y el bloqueo debe incorporar un venteo a un lugar seguro para descargar el fluido atrapado en ese espacio, y verificar el sellado de la válvula de bloqueo. -En descargas a un cabezal debe ser instalado un ciego u otro bloqueo si no existe bloqueo a la salida. -Si la válvula descarga a un cabezal común, también la descarga debe ser bloqueada con un ciego. -Si la válvula descarga a un cabezal, la descarga debe ser bloqueada con un ciego. -Si se inspecciona en sitio, un ciego debe ser instalado a la entrada.

Cuadro 7. Inspección en el Taller

ACCION	EJECUCION
INSPECCIÓN INICIAL	<p>Antes de llevar al taller:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Registrar la presencia de partículas contaminantes u obstructivas que pueden caerse durante el transporte. -Tener cuidado con el manejo de válvulas que contienen fluidos explosivos o tóxicos.
INSPECCIÓN DE TUBERÍA ADYACENTE	<ul style="list-style-type: none"> -Programar la inspección de tuberías a la entrada y salida de la válvula de seguridad, para evitar fallas futuras por acumulación de sedimentos. -Inspeccionar los sedimentos para identificar si son ocasionados por escape continuo de la válvula.
TRANSPORTE DE VÁLVULAS AL TALLER	<ul style="list-style-type: none"> -El transporte debe hacerse en posición vertical, tapadas las caras de las bridas para evitar el ingreso de partículas. -Su precisión es crítica para la operación segura de la planta por ello deben ser tratadas como instrumentos delicados.
DETERMINACIÓN DE LA PRESIÓN DE APERTURA	<p>Al entrar al taller:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Verificar que los sellos de seguridad estén intactos. -Verificar la presión de apertura antes de desarmarlas porque este valor definirá la frecuencia de inspección. -Repetir la prueba si la primera vez abre antes de subir la presión al 150%. -Considerar atascamiento si al 150% de presión no sube todavía.
NOTA ESPECIAL SOBRE LAS VÁLVULAS MUY CONTAMINADAS	<ul style="list-style-type: none"> -Se recomienda no disparar las válvulas y mejor reducir el intervalo de inspección, si al recibir la válvula se observa tan contaminada que un disparo puede dañar el asiento.
INSPECCIÓN VISUAL INICIAL	<p>El mecánico especializado en válvulas de seguridad debe:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Identificar en las bridas el excesivo desgaste o corrosión. -Identificar en los resortes el ataque por corrosión y el rango correcto de operación. -Identificar en los fuelles corrosión o rotura
DESARMANDO LA VÁLVULA	<ul style="list-style-type: none"> -No es necesario desarmar la válvula si opera bien o sino presenta corrosión o contaminación observable. -Asegurarse que no quede fluido del proceso en la válvula que pueda encenderse o ser tóxico. -Disponer de recipientes adecuados y bien marcados, para colocar los componentes durante el desarmado. -Inspeccionar visualmente en cada paso del proceso de desarmado los componentes registrando desgaste o corrosión. Componentes que deben quedar registrados son: Vástago, guía, disco, boquilla y fuelle.

ACCION	EJECUCION
<p align="center">LIMPIEZA E INSPECCIÓN DE PARTES</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Todas las partes deber ser desarmadas, lavadas y separadas de forma tal que no se mezclen las de unas válvulas con las de otras. -Verificar cuidadosamente cada componente y registrar las medidas solicitadas por el catálogo de cada fabricante. -Identificar desgaste o corrosión. -Inspeccionar las superficies de asiento para evidenciar rugosidades, ralladuras o golpes que afecten el sellado. -Verificar las tolerancias del disco y asiento con instrumentos calibrados. -Verificar la plenitud del asiento con anillos/discos lapidados, lentes planos u otros dispositivos de verificación. -Verificar la fuerza del resorte con equipo especializado. -Inspeccionar los resortes buscando líneas de quiebre o deformación plástica. -Comparar con los valores de reparación la tolerancia entre guía y disco e igual entre disco y porta-disco. -Revisar la boquilla registrando obstrucciones o deformaciones.
<p align="center">REACONDICIONAMIENTO Y REEMPLAZO DE PARTES</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Reemplazar las partes que se encuentren desgastadas más allá de la tolerancia estipulada por el fabricante. -Mecanizar las partes desgastadas que todavía se hallan dentro del rango de las tolerancias estipuladas por el fabricante.
<p align="center">CALIBRANDO LA PRESIÓN SET</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Verificar con el fabricante cual es la variación máxima del resorte si la presión va a ser cambiada. -Cambie el resorte si la presión excede el rango. -Variaciones para corregir por temperatura, deben estar de acuerdo con los datos de los fabricantes. -Variaciones para corregir el CDTP por contrapresión temperatura o fluido deben estar de acuerdo con los datos del fabricante.
<p align="center">COMPLETANDO LOS REGISTROS NECESARIOS</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Verificar el sellado de la válvula una vez que haya sido calibrada con la presión de entrada al 90% de la presión de SET. -Revisar el bonete, fuelles, y empaques por posibles escapes. <p>ADVERTENCIA:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Escapes de válvulas de seguridad y alivio, en servicio deben ser minimizados por los riesgos al medio ambiente, personal y equipo.

Cuadro 7. (Continuación)

4.1.4 Norma API 580. La Norma API 580: Risk Based Inspection (RBI) o Inspección Basada en el Riesgo (IBR). Es conocida como la filosofía de la metodología de Inspección Basada en Riesgo, introduce los principios y presenta las pautas generales mínimas para el RBI, no es un manual de prácticas recomendadas que proporcionan métodos de cálculo cuantitativos para determinar un plan de inspección.

4.1.5 Norma API 581. La Norma API 581 es complemento de la 580 y se enfoca en la Metodología de la Inspección basada en el Riesgo para realizar una administración de datos de inspección que ayuden al mejoramiento de la integridad estructural de una planta y el buen manejo económico con respecto a paradas inesperadas; incluso mediante el análisis de riesgo se pueden lograr la reducción de hasta un 80% del número de equipos a intervenir y con ello lograr la extensión de los intervalos entre paradas de plantas.

Como todos los análisis de riesgo, la RBI o IBR implica el cálculo de probabilidad de falla y el modelaje de sus consecuencias lo cual tiene unos criterios: estadísticas genéricas de falla, deterioro, calidad, costos, detección, aislamiento, mitigación y condiciones de operación. Ver figura 23.

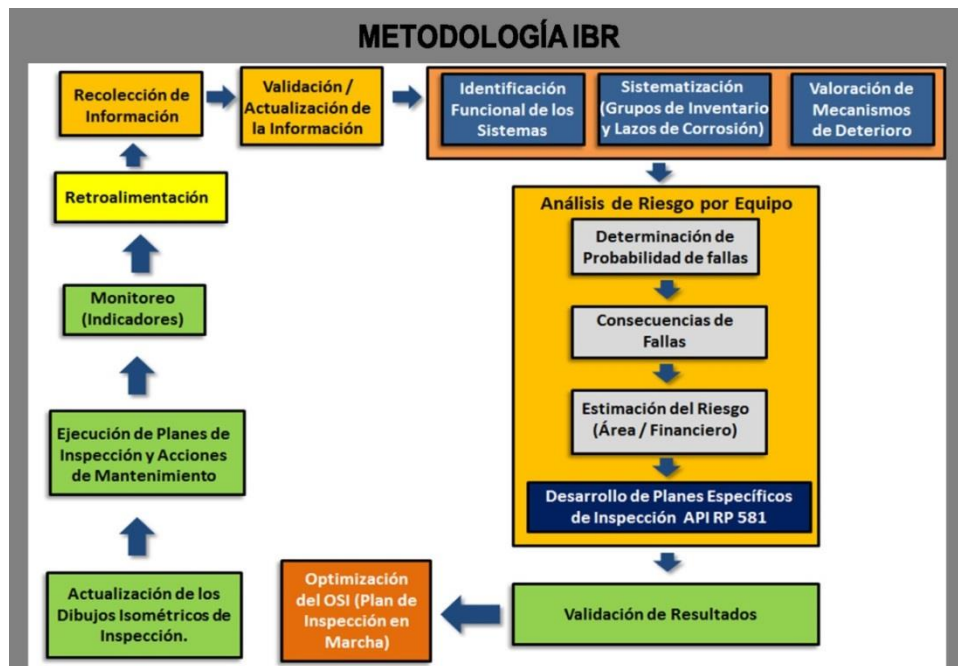
Los productos principales de un estudio de IBR son: Matriz de Riesgo, Jerarquización con base en el riesgo de cada equipo, Planes de Inspección y Portafolio de Acciones de Mitigación. Ver figura 24.

Figura 23. Factores que intervienen en la caracterización del riesgo



Fuente: R2M. Factores que intervienen en la caracterización del riesgo. [Imagen]. METODOLOGÍA DE INSPECCIÓN BASADA EN RIESGO - IBR R2M. 2017. [Consultado 24 de julio de 2017]. Disponible en: <http://reliarisk.com/post/metodolog%C3%ADa-de-inspecci%C3%B3n-basada-en-riesgo-ibr>

Figura 24. Flujograma de la metodología RBI



Fuente: R2M. Flujograma de la metodología RBI. [Imagen]. METODOLOGÍA DE INSPECCIÓN BASADA EN RIESGO - IBR R2M. 2017. [Consultado 24 de julio de 2017]. Disponible en: <http://reliarisk.com/post/metodolog%C3%ADa-de-inspecci%C3%B3n-basada-en-riesgo-ibr>

4.1.6 Norma API 598. Según la misma norma³⁰: Esta cubre los requisitos de inspección, indagación, exámenes complementarios y pruebas de presión para las válvulas de asiento elástico, asiento no metálico por ejemplo: asiento cerámico y asiento de metal a metal tales como válvulas de compuerta, globo, enchufe, bola, cheque y mariposa También se puede aplicar a otro tipo de válvulas. Ver Anexo F.

Los requisitos de prueba cubren tanto las pruebas de presión requeridas como las opcionales en la planta del fabricante de la válvula o en una instalación mutuamente aceptada por el fabricante y el comprador.

La norma especifica las siguientes pruebas y exámenes:

- Prueba de cuerpo.
- Prueba del asiento de atrás.
- Prueba de cierre a baja presión.
- Prueba de cierre a alta presión con doble bloqueo y purga.
- Examen visual de las piezas moldeadas.
- Prueba neumática de cuerpo de alta presión.³¹

Además de las normas anteriormente nombradas, existen referencias a otras normas que son específicas para ciertos tipos de válvulas. Ver Anexo G.

4.2 NORMAS ASME

La “American Society of Mechanical Engineers” o Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, fundada en 1880, con el objeto de generar códigos de diseño, construcción e inspección y pruebas para equipos sujetos a presión como válvulas y calderas entre otros, publica ciertos códigos y normas que cubren infinidad de disciplinas de ingeniería mecánica.

³⁰ AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Valves Inspection and Testing. USA: API. 2004. Parte 1: il. (API STANDARD 598)

³¹ *Ibíd.*, p. 1.

4.2.1 Norma ASME B16.5. Según la misma Norma ASME B16.5: “Esta norma describe los diversos rangos de presión y temperatura materiales, dimensiones, tolerancias, marcación, pruebas y métodos de designación de aberturas para bridas y sus accesorios.”³².

Algunos aspectos relevantes en esta norma son:

- La fabricación de artículos mediante las especificaciones técnicas y en esto se conecta con la norma ISO 9001
- Instituye las tablas para la especificación de materiales de acuerdo con rangos de temperatura y presión, por lo tanto clasifica los materiales en grupos.
- Define las características de la gama de bridas forjadas en aceros.
- Establece la demarcación mínima para garantizar el cumplimiento de las bridas.

4.2.2 Norma ASME B16.34. Es de origen americano y define los criterios básicos en cuanto a materiales, dimensiones y tolerancia para fundir, forjar, diseñar y fabricar válvulas, como también define la relación presión-temperatura y define los estándares de prueba no destructivas de las mismas.

Algunos aspectos relevantes de esta norma son:

- Diseños
- Espesores de pared.
- Pruebas no destructivas en válvulas en niveles de aceptación.
- Clasificación de materiales usados exclusivamente en válvulas incluyendo alternativas de materiales.
- Temperaturas con la finalidad de realizar una adecuada selección de materiales.
- Presión y temperatura en distintos líquidos, gases y vapores.

³² AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. Pipe flanges and flanged fittings. New York: ASME. 2004. Parte 1: il. (ASME B16.5-2003)

4.3 NORMAS ISO

El Organismo Internacional de Estandarización. (ISO) corresponden a un grupo de protocolos que tiene como finalidad organizar y homogenizar la gestión empresarial en lo que corresponde a seguridad, salud, calidad, entre otros; así como la palabra ISO denotativamente significa igual.

Se utilizan para cerciorarse que los diferentes bienes y servicios cumplan con el más mínimo de calidad, que se respete el medio ambiente, se minimice el riesgo para ofrecer productos y servicios seguros, como también para estandarizar el comercio haciendo posible la disminución de errores y aumentar la productividad en las organizaciones.

4.3.1 Norma ISO 14224. Propone los pilares para la recolección e intercambio de datos de Confiabilidad y Mantenimiento en un formato estándar para las áreas de perforación, producción, refinación transporte de petróleo y gas natural, con pautas que pueden extenderse a otras actividades e industrias. Específica, recolecta y asegura la calidad de los datos con el fin de conocer la confiabilidad de los equipos y poderla comparar con la de otros de características similares. Sus definiciones se originan de la filosofía de mantenimiento RCM (ver cuadro 8) y de la técnica de mantenimiento FMEA (herramienta básica de RCM para optimizar la Gestión de Mantenimiento con su Análisis de los Modos y Efectos de Falla) por lo tanto su trabajo se centra en el registro de fallas, jerarquización, calificación de fallas, definición de límites y parametrización de la confiabilidad.

Existe una importante relación entre el análisis de criticidad y esta norma; parte fundamental del análisis de criticidad se centra en la retroalimentación con las inspecciones visuales y datos entregados por los operadores, lo cual define planes de inspección, revisión y mantenimiento, estableciendo un rango de tiempo para

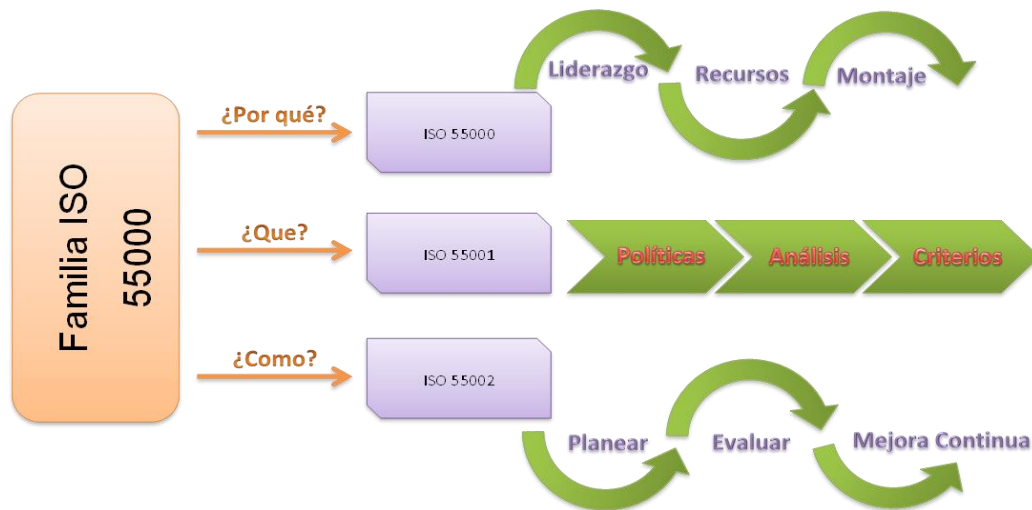
corregir elementos en condiciones no muy óptimas y que hacen parte de la operatividad de los equipos

Cuadro 8. Productos del RCM

RCM COMO
<p>*Estrategia de mantenimiento se basa en un árbol lógico de decisiones que permite seleccionar actividades adecuadas de mantenimiento para evitar la ocurrencia de fallos o disminuir sus posibles efectos.</p> <p>*Interesado de la función de la máquina desde el punto de vista productivo; enfatizando en que los sistemas pueden fallar funcionalmente.</p> <p>*Inspector que busca que los equipos funcionen en condiciones suficientes.</p> <p>*Fichero de los efectos de cada falla de acuerdo con el impacto en la seguridad, la operación y el costo.</p> <p>*Factor que disminuye o tiende a cero el índice de emergencias o el número de averías repetitivas.</p> <p>*Mantenedor a Cero Horas (Overhaul) revisando los equipos a Intervalos programados, para precisar que no aparezcan fallos.</p> <p>*Mantenimiento técnico, justificado donde es necesario aplicarlo para evitar tareas de forma rutinaria.</p> <p>*Elemento que disminuye la cantidad de horas y recursos empleados en mantenimiento.</p> <p>*Planeador que disminuye el tiempo de paros para realizar trabajos planificados y no planificados.</p>

4.3.2 Familia de las ISO 55000. La NTC ISO 55000 instituye los principios, da una visión general, define la terminología y establece procedimientos organizacionales de la gestión para una gestión de activos, en razón a que la gestión involucra todas las etapas del activo y a toda la organización incluyendo sus factores y actores internos y externos. Ver figura 25.

Figura 25. Familia ISO 55000.



Desde este contexto, surgen dos preguntas:

1. ¿Por qué una norma para gestión de activos? Porque requiere un enfoque disciplinado que maximice las inversiones de una organización y que se especifique los requisitos que orienten a una organización en la adquisición, establecimiento, operación, uso, implementación, mantenimiento y mejora del sistema de gestión de activos de una organización con el fin de obtener buen desempeño y mejor beneficio a lo largo del ciclo de vida del activo.
2. ¿Cómo se refleja en una organización la implantación de esta norma? En la instauración de una cultura de cambio en su planificación estratégica no sólo interna sino de sus interacciones con diversos agentes y su entorno, en la definición, establecimiento y potencialización de objetivos teniendo en cuenta que se enfoca a clientes, productos y activos críticos.

La NTC ISO 55001 define los requerimientos para el establecimiento, mantenimiento, implementación, y mejora del Sistema de Gestión Activos para cualquier tipo de activos y cualquier tipo de organización. Vista así, ¿Qué ventajas tiene la aplicación de esta norma en una organización?

- Proporciona un enfoque estructurado para la gestión del ciclo de vida de los activos, conducente a reducir los riesgos asociados.
- Aporta los requisitos no sólo de los activos físicos sino de aquellos que son intangibles porque también agregan valor a la organización.
- Da cuenta cómo se encuentra y se ubica la organización en el mercado.
- Desarrolla un sistema de gestión proactivo de ciclo de vida de los activos.
- Optimiza los activos y el rendimiento.
- Abre puertas a nuevos negocios con visión internacional porque se está operando en el marco de estándares internacionales.

La NTC ISO 55002 “Proporciona las directrices para la implementación de un sistema de gestión para la administración de activos llamados: sistema de gestión de activos, de acuerdo con los requisitos de la Norma 55001”³³. El propósito de la ISO 55002-2014 es definir el conjunto de requisitos mínimos para identificar las oportunidades de mejora de la eficiencia de los activos de cualquier tipo de organización, determinar los procesos comunes durante las auditorías y los resultados de las mismas y la implementación de la gestión de activos en una organización, siguiendo el marco de la norma 55002, ¿Cómo y por dónde debe comenzar? (Ver cuadro 9).

³³ GUÍA TÉCNICA COLOMBIANA. Gestión de Activos-Sistema de Gestión para la aplicación de la ISO 55001, ICONTEC, Bogotá, 2015, 40 p. (NTC ISO 55002)

Cuadro 9. Implementación de la Gestión de Activos, según NTC 55002

DEBE COMENZAR POR	
<p>-Describir el modo cómo se establecerá e implementará la GA revisando los procesos organizacionales, determinando las áreas que necesitan desarrollo para apoyar la GA.</p> <p>-Buscar estrategias de integración de los procesos existentes con los nuevos y así encausar la política de GA.</p>	<p>-Implementar el PEGA (Plan Estratégico de Gestión de Activos) como estrategia metodológica que señala los desajustes y el lugar de los riesgos.</p> <p>-Adoptar un método estructurado que identifique, analice y evalúe el riesgo que conlleve a un plan de seguimiento en pro de consolidar el SGA dentro de la organización</p>

Bajo los conceptos que plantea las Normas de la Familia ISO 55000 respecto a la Gestión de Activos (GA) se puede inferir que: (Ver cuadro 10).

Cuadro 10. Ítems de la Gestión de Activos

<p>Gestión de Activos (GA) es una estrategia y no una táctica.</p> <p>GA es un balance entre Costo-Riego y Oportunidad.</p> <p>GA es gestionar el riesgo de los Activos.</p> <p>GA es gestionar el negocio de la empresa y la reputación de forma organizada.</p> <p>GA es alinear el pensamiento entre todos los miembros de la organización.</p> <p>GA es nutrir cotidianamente el contexto de la colaboración entre los diferentes departamentos de la organización.</p> <p>GA es cambiar la cultura para hacer mejor las cosas.</p> <p>GA es gestionar y proteger la información de los activos para elevar los datos a estadísticas conducentes a una mejor toma de decisiones.</p> <p>GA es conocer el desempeño del portafolio de los activos desde el punto estratégico para saber cómo y dónde invertir.</p> <p>GA es asegurar contratos.</p>
--

4.4 NORMA PAS 55

En el año 2004 aparece en Inglaterra la norma PAS 55 la cual precisa qué es necesario hacer pero no el cómo hay que hacer en el camino hacia la optimización de la gestión de activos en todas las áreas de la compañía. Por otra parte, define a la Gestión de Activos como “las actividades y prácticas sistemáticas y controladas a través de las cuales una organización gestiona óptimamente sus activos, su desempeño, asociando sus riesgos y gastos a través de su ciclo de vida con el fin de aplicarlas en los planes de integración de la organización”³⁴. Visto desde esta óptica la gestión de activos conduce a la puesta en marcha los procesos de mantenimiento que requieren las organizaciones para consolidar: la estructura, el manejo del riesgo, la conciencia del adiestramiento, la autoridad, las responsabilidades, la participación, los requerimientos legales, la comunicación y la consulta, ver figura 26. Línea de tiempo sobre normas de gestión de activos.

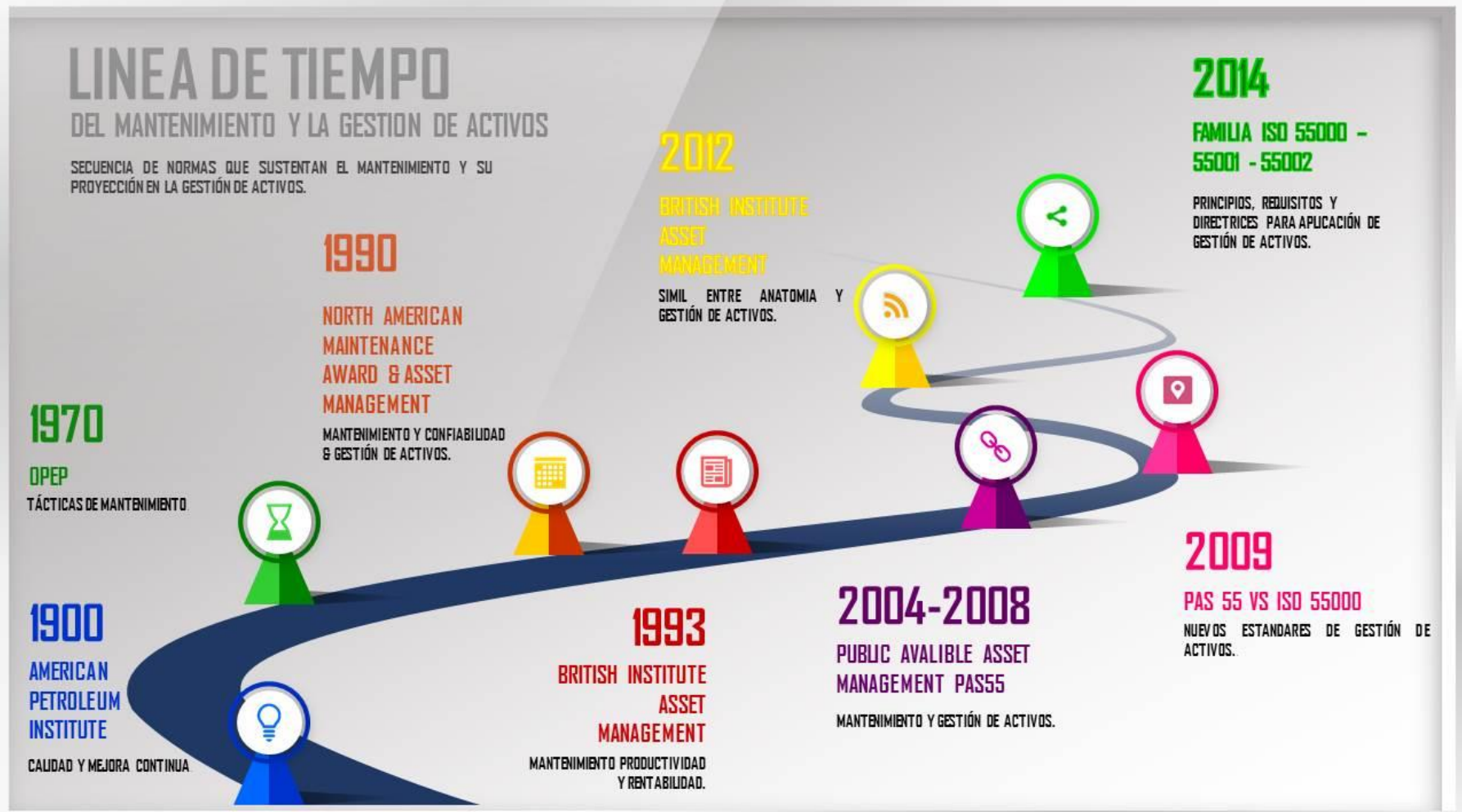
4.5 NORMA UNE EN 16646

Esta norma europea presenta la gestión de activos físicos como un marco para las actividades de mantenimiento. También introduce la relación entre el plan estratégico de la organización y el sistema de gestión del mantenimiento y describe las interrelaciones entre los procesos de mantenimiento y todos los otros procesos de gestión de activos físicos. Aborda el papel e importancia del mantenimiento dentro del sistema de gestión de activos físicos durante todo el ciclo de vida de un bien.³⁵

³⁴ PUBLICLY AVAILABLE SPECIFICATION PAS 55-1:2008. Asset Management, British Standards Institution, Londres, 2008, 5 p. (PAS 55-1:2008)

³⁵ UNA NORMA ESPAÑOLA – EUROPEAN NORM. Mantenimiento en la gestión de los activos físicos, ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN, Madrid, 2015, p. 7 y 8. (UNE EN 16646:2014)

Figura 26. Línea del tiempo sobre normas de gestión de activos.



Esta norma es reconocida por querer aterrizar las normas de la familia ISO 55000 ya que según el Ingeniero Luis Felipe Sexto³⁶, las normas ISO 55000 no son claras respecto al rol del mantenimiento, haciendo creer que gestión de activos es gestión de mantenimiento y resulta muy importante tener entendimiento total de estos dos temas ya que por lo general la gestión de activos se aborda desde el área de mantenimiento ya que proviene de esta área de conocimiento. Para profundizar en el tema del mantenimiento dentro del marco de la gestión de activos esta norma relaciona el sistema de procesos del mantenimiento y todos los demás procesos de gestión de activos, según la jerarquización que le da a los activos.

Además la comprensión de este engranaje, permite aseverar que desde el análisis y valoración del riesgo, desde las estrategias y planes de mantenimiento se incursiona en la gestión de activos de manera implícita porque se integra de manera multifuncional temas como: ciclo de vida de los activos, creación de históricos, mejora continua, interacción con diversos agentes internos y externos a la organización, seguridad, responsabilidad socio-ambiental entre otros.

³⁶ SEXTO, Luis Felipe. EN 16646 MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS FÍSICOS significado y trascendencia. [En línea] www.linkedin.com. Tarragano Tarragona, 30 de Marzo de 2017. Consultado 4 de Julio de 2018. Disponible en: <https://es.linkedin.com/pulse/en-16646-mantenimiento-y-gesti%C3%B3n-de-activos-f%C3%ADsicos-sexto>.

5. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

5.1 INDUCCIÓN GENERAL DE HSE

Dada las condiciones de alto riesgo a que estaba sometida la práctica a realizar en las instalaciones de EQUION Campo Floreña, Yopal, Casanare, bajo la dirección de STORK TECHNICAL SERVICE y para dar cumplimiento al plan de trabajo propuesto se recibió la inducción y el entrenamiento en competencias HES y trabajo en espacios confinados con el propósito de:

- Conocer el ambiente de trabajo
- Identificar los peligros y el riesgo a que se está expuesto.
- Familiarizarse con la documentación a diligenciar como requisito para el sistema de permiso de trabajo.

Esta capacitación siguió el siguiente procedimiento:

1. Entrenamiento básico en competencia HSE: El entrenamiento básico corresponde a la identificación de peligros, símbolos y siglas, a la aplicación de medidas de control, herramientas y equipos, materiales y productos químicos; al cómo evitar accidentes, a la protección personal, a la seguridad en las vías, al cuidado del ambiente, y al cuidado de la vida.

2. Entrenamiento en espacios confinados: Se entiende por espacio confinado aquel que es lo suficientemente grande para que el personal ingrese, tiene un medio de ingreso limitado o restringido y no se diseñó para ocupación normal o continua. Puede ser un espacio cerrado o parcialmente cerrado donde puede presentar la muerte o lesiones graves por sustancias o condiciones peligrosas; por eso para la empresa contratante como para la empresa cliente es obligatorio que

antes de realizar cualquier tipo de labor que esté relacionada a este espacio se tengan actualizadas las capacitaciones y certificaciones correspondientes, así como los debidos permisos.

3. Diligenciamiento de documentos: Son para tramitar el desarrollo de cualquier actividad, entre los que se usaron están:

- Los Reportes: En ellos se muestra resultados de trabajo, hallazgos, desviaciones de procedimientos, actos o condiciones inseguras, accidentes u oportunidades de mejora.
- Los Registros: Son evidencias del trabajo realizado, comprenden listas de chequeo, registros de asistencia, pre operacional y fotografías.
- Los Permisos de trabajo: Son autorizaciones escritas debidamente documentadas en lo que corresponde a sitio de trabajo, condiciones, equipos, herramientas, planeación de trabajo, condiciones de seguridad de las personas y del medio ambiente, ver Anexo H. También es un reporte de control y una herramienta esencial para el manejo del riesgo y de los aspectos de HSE.

El permiso de trabajo por sí sólo no constituye un medio de registro de control si no que debe estar asegurado por la implementación del Sistema de Permisos de Trabajo (PTW), que sirve para que la autoridad del área:

- Haga seguimiento al trabajo mientras se está desarrollando.
- Exija el permiso de trabajo cada vez que se va hacer una obra o labor para que las tareas se hagan más seguras y de la mejor manera.
- Obliga a que se apliquen controles antes y durante el desarrollo de las labores para prevenir accidentes y hacer evaluación de riesgos.

Los permisos de trabajo se requieren cuando la empresa necesita hacer labores no rutinarias que pueden ser riesgosas si no se controlan o cuando se hacen trabajos que generan llama o chispa. Cuando se trata de este tipo de tareas se elaboran diferentes formularios como son: permisos para trabajos especiales

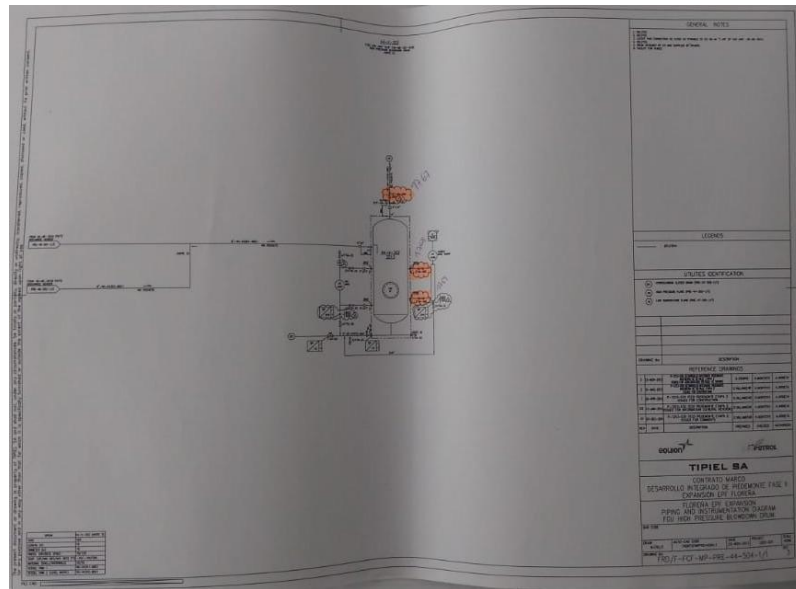
(labores que no producen llama o chispas y se harán de manera rutinaria) y permisos para trabajos en caliente (cuando se realizan tareas que producen calor, chispa o llama).

5.2. ESTUDIO DE CRITICIDAD SEGÚN EL RIESGO

El estudio de Criticidad elaborado para las 1969 válvulas de corte en las instalaciones de Equión Energía Limited campo Floreña Yopal Casanare bajo la dirección de Stork Technical Service, se dio en razón a la no conformidad de los inversionistas por el manejo de las válvulas, activo que representa para la empresa una gran inversión. Este trabajo inició con la realización del inventario de las válvulas en uso en todo el Centro de Producción Floreña (CPF), el diligenciamiento de formatos específicos de entidad relación para fundamentar el estudio de criticidad válvula por válvula e igualmente se realizó el inventario de las válvulas fuera de uso para trazar las estrategias de mantenimiento.

5.2.1 Inventario de válvulas en uso. El inventario de las 1969 válvulas de corte se realizó en las cuatro fases de Campo Floreña, instalaciones de Equión Energía Limited, bajo la coordinación de Stork Technical Service, teniendo en cuenta la jerarquización de la norma ISO 14224. La recolección de datos de información se hizo a partir de documentos históricos referentes a: ubicación geográfica, planos, procesos, diagramas de flujo, información sobre las instalaciones, sistemas y procesos, ver figura 27. Stork Technical Service estructuró previamente los diferentes recorridos para la ubicación de las válvulas, se transitó cada itinerario para encontrarlas, identificarlas, tomar datos, realizar el inventario y así tener la información requerida para el análisis de criticidad, en los cuadros 11 se identifican algunos de los campos que se buscaron entre la información de las válvulas.

Figura 27. P&ID Tambor de purga de alta presión



Cuadro 11. Algunos ítems utilizados para el inventario de las válvulas

ÍTEM	Corresponde al número consecutivo asignado para cada elemento en la tabla.
TAG	Código dado al equipo para su fácil identificación donde sus siglas hacen referencia al tipo de válvula, ubicación y línea en la que se encuentra.
LOCALIZACIÓN	Localización de las válvula referenciadas por las siguientes siglas: EPF FLO F1 (Campo Floreña Fase 1), EPF FLO F2 (Campo Floreña Fase 2) PAUTO SUR (Línea de transporte), EPF FLO F3 (Campo Floreña Fase 3)
SYSTEM-Sistema	Corresponden a los 92 sistemas de válvulas que se encuentran en el área de influencia, entre las más relevantes se encuentran: Full Gas-Separation, Slug Catcher (Atrapador de partículas pegajosas), Process Injection, Gas Compression.
TYPES/ TIPOS	Se clasificaron las válvulas según los siguientes tipos: Ball, Check, Plug, Globe, Gat, etc.
SUBTYPE /	Se clasificó cada tipo de válvula según su subtipo, por ejemplo:

SUBTIPOS	Trunnion ball, Floating ball como subtipos de las válvulas de bola; de igual manera en las demás válvulas como las cheque que contiene las Swing Check, doble disk check, piston check, entre otras..
LÍNEA DE SERVICIO	Se clasificaron las válvulas según el servicio que prestan como: Fuel Gas, Natural Gas, Crude Oil, Sour Gas, Glycol, Crude/Water,Nat Gas, Water, Liq Ng, Crude/Nat Gas, Oil/Water, Air, Nitrogen y Chem Inyect.
FUNCION DE LA VALVULA	Clasificación de las válvulas según la función que desempeñan. Entre ellas se hallaron: SDV- Shut Down Valve, BDV – Blow Down Valve ,HV-Hand Valve Ball, CK – Check Valve, XXV – Emergency Shut Down Valve (ESDV), PV or PCV – Pressure Control Valve, Doble Block & Bleed Valve, GLB – Hand Valve Globe, LV or LCV – Level Control Valve, GAV – Hand Valve Gate, Flow Control Valve, HV – Hand Valve Butterfly, HVN- Hand Valve Needle, BAV – Hand Valve Butterfly Y PL-Plug Valve.
APLICACIÓN DE LA VÁLVULA	La colocación de la válvula en determinado lugar puede ejercer una acción de: Control, retención o bloqueo.
TIPO DE EQUIPO	Se le asigna a la válvula el código correspondiente al tipo de equipo que corresponde según la tabla que establece la Norma API 581
EQUIPOS PADRE	Se tuvo en cuenta el equipo a la cual están conectadas las válvulas los cuales pueden ser: Línea de fluidos, líneas que entran o salen de un compresor, una bomba o un tanque.
MEDIDA DE ENTRADA O SALIDA	Teniendo en cuenta la normatividad de la ASME B16.34, se dimensiona la presión de la válvulas y sus conexiones
TRIM	Bajo la normatividad de la API 600, se determinó los elementos internos y sus materiales para las válvulas

Cuadro 11. (Continuación)

Una vez concluido lo anterior, se adicionó la información técnica para corroborar el estado de las válvulas en lo que concierne a presión de operación, temperatura, entre otros, ver cuadro 12, esta labor se apoyó con la información de los manuales de operación.

Cuadro 12. Algunos Ítems de Información Técnica

NUMERO	Corresponde al número consecutivo asignado para cada válvula.																																																																																																																											
INFORMACION DE FABRICACIÓN	Se identificaron las válvulas por información de compra: Serie, modelo,																																																																																																																											
TEMPERATURA	Se determinó la temperatura máxima y mínima a la cual puede estar sometido el equipo.																																																																																																																											
MATERIAL DEL CUERPO DE LA VALVULA	<p>Teniendo en cuenta la Norma ASME B16.34 se determinó como estaba compuesto el cuerpo (Body) de la válvula según los siguientes ítems.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">General Classification</th> <th colspan="3">ApplicableASTM Material Specification</th> </tr> <tr> <th>Forgings</th> <th>Castings</th> <th>Bar</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cast Iron</td> <td></td> <td>A126</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ductile Iron</td> <td></td> <td>A395</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Carbon Steel</td> <td>A105</td> <td>A216 Grade WCB*</td> <td>A675-70**</td> </tr> <tr> <td>Carbon Steel (low temp)</td> <td>A350 Gr LF1 & LF2</td> <td>A352 Grade LCB</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Carbon 1/2 Moly</td> <td>A182 Grade F1</td> <td>A217 Grade WC1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1-1/4 Chrome - 1/2 Moly</td> <td>A182 Grade F11</td> <td>A217 Grade WC6</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2-1/4 Chrome - 1 Moly</td> <td>A182 Grade F22</td> <td>A217 Grade WC9*</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5 Chrome - 1/2 Moly</td> <td>A182 Grade F5a</td> <td>A217 Grade C5*</td> <td></td> </tr> <tr> <td>9 Chrome - 1 Moly</td> <td>A182 Grade F9</td> <td>A217 Grade C12</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Type 304</td> <td>A182 Grade F304</td> <td>A351 Grade CF8*</td> <td>A479-304**</td> </tr> <tr> <td>Type 304L</td> <td>A182-F304L</td> <td>A351 Grade CF3</td> <td>A479-304L</td> </tr> <tr> <td>Type 347</td> <td>A182 Grade F347</td> <td>A351 Grade CF8C</td> <td>A479-347</td> </tr> <tr> <td>Type 316</td> <td>A182 Grade F316</td> <td>A351 Grade CF8M*</td> <td>A479-316**</td> </tr> <tr> <td>Type 316L</td> <td>A182 Grade F316L</td> <td>A351 Grade CF3M</td> <td>A479-316L</td> </tr> <tr> <td>3-1/2 Nickel</td> <td>A350 Grade LF3</td> <td>A352 Grade LC3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Aluminum</td> <td>B247</td> <td>B26</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Bronze</td> <td></td> <td>B61</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>B62</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>B148-C952*</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Inconel 600</td> <td>B166</td> <td>A743-CY40</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Monel 400</td> <td></td> <td>A494-M30C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hastelloy B2</td> <td></td> <td>A494-N-7M-1*</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>A494-N-12M-V</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hastelloy C</td> <td></td> <td>A494-CW-6M*</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>A494-CW-12M-W</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Titanium</td> <td>B381</td> <td>B367</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>B367 Gr. 3*</td> <td>B348 Gr. 4</td> </tr> <tr> <td>Nickel</td> <td></td> <td>A494-CZ-100</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Alloy 20</td> <td>B462</td> <td>A351-CN-7M*</td> <td>B473</td> </tr> </tbody> </table>	General Classification	ApplicableASTM Material Specification			Forgings	Castings	Bar	Cast Iron		A126		Ductile Iron		A395		Carbon Steel	A105	A216 Grade WCB*	A675-70**	Carbon Steel (low temp)	A350 Gr LF1 & LF2	A352 Grade LCB		Carbon 1/2 Moly	A182 Grade F1	A217 Grade WC1		1-1/4 Chrome - 1/2 Moly	A182 Grade F11	A217 Grade WC6		2-1/4 Chrome - 1 Moly	A182 Grade F22	A217 Grade WC9*		5 Chrome - 1/2 Moly	A182 Grade F5a	A217 Grade C5*		9 Chrome - 1 Moly	A182 Grade F9	A217 Grade C12		Type 304	A182 Grade F304	A351 Grade CF8*	A479-304**	Type 304L	A182-F304L	A351 Grade CF3	A479-304L	Type 347	A182 Grade F347	A351 Grade CF8C	A479-347	Type 316	A182 Grade F316	A351 Grade CF8M*	A479-316**	Type 316L	A182 Grade F316L	A351 Grade CF3M	A479-316L	3-1/2 Nickel	A350 Grade LF3	A352 Grade LC3		Aluminum	B247	B26		Bronze		B61				B62				B148-C952*		Inconel 600	B166	A743-CY40		Monel 400		A494-M30C		Hastelloy B2		A494-N-7M-1*				A494-N-12M-V		Hastelloy C		A494-CW-6M*				A494-CW-12M-W		Titanium	B381	B367				B367 Gr. 3*	B348 Gr. 4	Nickel		A494-CZ-100		Alloy 20	B462	A351-CN-7M*	B473
General Classification	ApplicableASTM Material Specification																																																																																																																											
	Forgings	Castings	Bar																																																																																																																									
Cast Iron		A126																																																																																																																										
Ductile Iron		A395																																																																																																																										
Carbon Steel	A105	A216 Grade WCB*	A675-70**																																																																																																																									
Carbon Steel (low temp)	A350 Gr LF1 & LF2	A352 Grade LCB																																																																																																																										
Carbon 1/2 Moly	A182 Grade F1	A217 Grade WC1																																																																																																																										
1-1/4 Chrome - 1/2 Moly	A182 Grade F11	A217 Grade WC6																																																																																																																										
2-1/4 Chrome - 1 Moly	A182 Grade F22	A217 Grade WC9*																																																																																																																										
5 Chrome - 1/2 Moly	A182 Grade F5a	A217 Grade C5*																																																																																																																										
9 Chrome - 1 Moly	A182 Grade F9	A217 Grade C12																																																																																																																										
Type 304	A182 Grade F304	A351 Grade CF8*	A479-304**																																																																																																																									
Type 304L	A182-F304L	A351 Grade CF3	A479-304L																																																																																																																									
Type 347	A182 Grade F347	A351 Grade CF8C	A479-347																																																																																																																									
Type 316	A182 Grade F316	A351 Grade CF8M*	A479-316**																																																																																																																									
Type 316L	A182 Grade F316L	A351 Grade CF3M	A479-316L																																																																																																																									
3-1/2 Nickel	A350 Grade LF3	A352 Grade LC3																																																																																																																										
Aluminum	B247	B26																																																																																																																										
Bronze		B61																																																																																																																										
		B62																																																																																																																										
		B148-C952*																																																																																																																										
Inconel 600	B166	A743-CY40																																																																																																																										
Monel 400		A494-M30C																																																																																																																										
Hastelloy B2		A494-N-7M-1*																																																																																																																										
		A494-N-12M-V																																																																																																																										
Hastelloy C		A494-CW-6M*																																																																																																																										
		A494-CW-12M-W																																																																																																																										
Titanium	B381	B367																																																																																																																										
		B367 Gr. 3*	B348 Gr. 4																																																																																																																									
Nickel		A494-CZ-100																																																																																																																										
Alloy 20	B462	A351-CN-7M*	B473																																																																																																																									

La información complementaria de este inventario se encuentra consignada en el Anexo I. BASE DE DATO VALVULAS DE CORTE.xlsx

5.2.2 Inventario de válvulas repuesto. Una vez elaborado el estudio de criticidad se conocen las necesidades de mantenimiento respecto a las válvulas de las cuales se requiere un indeterminado número de repuestos o válvulas para recambio que son seleccionadas de las válvulas que no están en operación y se encuentran ubicadas en el mismo CPF y el Centro Lógico Equión Casanare (CLEC), ver Figura 28. Carpa para disposición de válvulas repuesto. Esta tarea de inventario estuvo apoyada por órdenes de compra, registros fotográficos, catálogos e información técnica, entre otros. Una vez seleccionadas las válvulas a usar en pro de las válvulas críticas se emite órdenes para realizar mantenimiento AS-NEW y certificación en integridad mediante normatividad API, luego se incluyen en el sistema de información de activos de Equión: SAP, con condición de uso para válvulas críticas, ver Anexo J. Toda esta información requerida es fundamental para el departamento de contabilidad y finanzas para la valoración de estos activos.

Figura 28. Carpa para disposición de válvulas repuestos



5.2.3 Inspección basada en riesgo aplicada a los dispositivos de corte en las instalaciones de Equión. La inspección basada en riesgo, conocida con por su siglas en ingles RBI (Risk Based Inspection), es una de las estrategias adecuadas para alcanzar tal fin. Es un proceso compuesto por varias etapas; identificación y evaluación de los riesgos que pueden comprometer la integridad de los equipos, causar daño a las personas o perjudicar el medio ambiente; determinación de su control mediante inspecciones programadas y análisis adecuados. Hay que recordar que el riesgo es independientemente de la profesión, ubicación, edad o género, las personas coexistimos con el riesgo. Cada una de las decisiones que se toman, pueden resultar en diversas consecuencias cada una de ellas con una probabilidad de ocurrencia particular. Como por ejemplo conducir un auto, el conductor acepta el riesgo de sufrir un accidente, la razón por la cual se acepta este riesgo, es que la probabilidad de resultar muerto o herido es tan baja como para no tomar ese medio de transporte. Los factores principales que influyen en aceptar este riesgo, son el tipo de vehículo, las características de seguridad instaladas, el volumen de tráfico y velocidad. Por lo tanto, el riesgo es la probabilidad de que algunos eventos ocurran, durante un periodo de tiempo y la consecuencia (generalmente negativa) asociada con el evento.

5.2.3.1 Calcular la probabilidad de falla bajo demanda. La norma API 581, emplea el modelo estadístico de Weibull, la inferencia Bayesiana y factores de corrección con los siguientes pasos para seguir

Paso 1. Definir el intervalo de inspección. Como el tiempo entre el año de manufactura y la puesta en marcha de la planta.

Pasó 2. Determinar los valores de los parámetros de Weibull, factor de forma β , y vida característica η . Para determinar estos valores, se clasifica la severidad del servicio de cada válvula. La severidad del servicio, depende de tres factores, la

temperatura de operación, el tiempo medio entre fallas y el fluido que maneja, ver tabla 1.

La temperatura y tipo de fluido son factores que se toman de la información de cada válvula, en cambio el tiempo medio entre fallas necesita parte de información de los reportes de cada válvula, por eso usando la tabla B-9 de la ISO 14224, (ver tabla 2), se puede tomar registro de los modos de falla en las válvulas para así calcular este factor. La norma API 581, recomienda valores generales para diferentes equipos, para este caso, en reunión con el especialista se fijan los parámetros utilizados, Luego de haber determinado la categoría de servicio, se determinan los valores de los parámetros Weibull, dependiendo del tipo de válvula, ver tabla 3.

Tabla 1. Categoría severidad de servicio.

SERVICIO	RANGO TEMP (Los limites se fijan con relación a la temperatura de chispa)	Tiempo medio entre fallas MTBF (años)	Corrosividad del fluido
Leve	Menos a 200°F	5	1
Moderado	Desde 200, hasta 500 °F	3	2
Severo	Mayores a 500 °F	1,4	3

El servicio sucio se determina mediante el análisis de los informes de re-certificación y P&ID, junto con el análisis de la composición del fluido (si está disponible) y las condiciones del proceso (Aplicable para este caso). Un servicio sucio normalmente deja depósitos de sólidos en los asientos de la válvula, lo que puede afectar la apertura o cierre de la válvula estos se evidenciarán, por tal razón a nivel internacional recomiendan ejecutar una rutina de inspección durante un periodo corto que permita evaluar la acumulación o sedimentación de partículas.

Tabla 2. Modos de falla presentes

MODOS DE FALLA PRESENTES EN LOS REGISTROS	ABREVIATURA MODO DE FALLAS
Falta estanqueidad (Fuga externa de fluido)	FEF
Actividad de mantenimiento/inspección programada	SCH
Válvula presenta pase interno	PPI
Válvula no abre/no cierra (válvula está pegada)	NANC
Válvula abre o cierra descontroladamente	ACD
Válvula abre o cierra parcialmente (Presenta dificultad para operarla)	ACP
Válvula falla mecánica (rotura, desgaste, fracturas)	PFM

Fuente: INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. Switzerland: ISO. p. 126-127: il. (ISO 14224:2006)

Tabla 3. Parámetros de Weibull

Severidad del fluido	Factor de Forma β	Factor de Forma β	Factor de Forma β	Factor de Forma β	Factor de Forma β	Factor de Forma β	Vida Característica η	Vida Característica η	Vida Característica η	Vida Característica η	Vida Característica η	Vida Característica η
	Hand Valve	Check Valve	Safety Valve	Actuated Valve	Control Valve	Relief Valve	Hand Valve	Check Valve	Safety Valve	Actuated Valve	Control Valve	Relief Valve
LEVE	1,5	1,5	1	1,5	1,5	1	70,5	33,7	6	70,5	33,7	6
MODERADO	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	45,9	28	4	45,9	28	4
SEVERO	1,5	1,5	2	1,5	1,5	2	27,6	20	3	27,6	20	3

Paso 3. Determinar el factor de ajuste o de aplicación. Según la norma API 581³⁷: Se realiza un ajuste de los parámetros anteriores, teniendo en cuenta que el tiempo medio entre fallas, de sus siglas en inglés (MTBF) será equivalente a la vida característica η cuando el parámetro de Weibull β es igual a 1; se realizan ajustes entonces al parámetro η con tal de aumentar o disminuir la probabilidad de falla. Este factor de aplicación en las válvulas convencionales hace ajustes a la vida característica según su función en el proceso, por ejemplo se recomienda que las válvulas de alivio que descargan a un sistema cerrado o tea y usen un factor de ajuste del 75%; puesto que una válvula convencional no tiene fuelle para proteger la carcasa de fluidos corrosivos en el sistema de descarga, entonces la vida característica (representado por el parámetro η) se reduce, ver tabla 4. Factor de aplicación.

Tabla 4. Factor de aplicación

DESCRIPCION	PESO DE AJUSTE
Block	1
Control	1,3
Retention	1,3
Purge or Bleed	1
Safety and Relief	2

Paso 4. Determinar el factor de ajuste por ambiente: Este factor que también modifica el parámetro de vida η , hace alusión al contexto operacional en el que se encuentra el dispositivo, este contexto es llamado en la norma como factores

³⁷ AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Risk Based Inspection Technology. Washington: API. 2008. Parte 1, p. 29-34: il. (API RECOMMENDED PRACTICE 581)

ambientales. Según la técnica fueron valorados tres factores ambientales que pueden afectar la fiabilidad de los dispositivos: la existencia de vibración en la tubería instalada, la temperatura de funcionamiento y la relación operativa (máxima presión del sistema sobre la presión estándar). Cabe aclarar que existen más factores que pueden ser valorados si se tiene esa información.

Los valores operacionales según sea la válvula son participes de los modos de fallo, por ejemplo: “cuando la relación operativa es mayor que 90% en válvulas de alivio por resorte, la presión del sistema está cerca de la fuerza de cierre proporcionada por el muelle sobre la superficie de asiento y el PRD será más propenso a tener fugas”³⁸. Algunos valores recomendados para los diferentes factores ambientales, ver tabla 5. Factor de ajuste por ambiente.

Tabla 5. Factor de ajuste por ambiente

AMBIENTE MODIFICADOR	Ajuste a la Probabilidad de falla en demanda	Ajuste a la Probabilidad de fuga
La válvula opera a temperatura entre 200<T<500 °F	1,0	0,8
La válvula opera a temperatura mayores a 500 °F	1,0	0,6
Radio de operación, > 90% para válvulas actuadas por resorte, >95% para válvulas actuadas por piloto	1,0	0,5
Válvula ubicada en tubería donde se percibe vibraciones	1,0	0,8
Válvula ubicada aguas debajo de equipos de desplazamiento positivo o maquinas rotativas	1,0	0,8

³⁸ AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Risk Based Inspection Technology. Washington: API. 2008. Parte 1, p. 35: il. (API RECOMMENDED PRACTICE 581)

AMBIENTE MODIFICADOR	Ajuste a la Probabilidad de falla en demanda	Ajuste a la Probabilidad de fuga
Historial de disparo excesivo (más de 5 por año)	0,5	0,5
Historial de Chárter	0,5	0,5

Tabla 5. (Continuación)

Fuente: AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Risk Based Inspection Technology. Washington: API. 2008. Parte 1, p. 64: il. (API RECOMMENDED PRACTICE 581)

Paso 5. Vida característica modificada: Se calcula la vida característica modificada, usando el factor de aplicación y factor de ajuste por ambiente (F_c y F_{env}); mediante la ecuación:

$$\eta_{mod} = F_c \times F_{env} \times \eta$$

Paso 6. Determinar el factor de confianza de inspección: Se determina el factor de confianza de la inspección dependiendo de la ejecución de ciertas actividades realizadas durante la inspección programada. Ver Figura 29. Ejemplo de control de actividades para la confianza de inspección. A continuación se muestran algunas actividades:

- Limpieza y prueba de hermeticidad en banco.
- Inspección interna de componentes.
- Prueba y recertificación.
- Prueba en sitio: Líquidos con Líquido, Gases con Nitrógeno.
- Búsqueda de evidencia de taponamiento, corrosión, suciedad u otras condiciones anormales.
- Completo diligenciamiento de certificado incluyendo códigos de gestión.

Figura 29. Ejemplo de control de actividades para la confianza de inspección

	Válvula ubicada en tubería donde se percibe vibraciones?	Prueba operativa de lazo de control (Últimos 5 años)	Overhaul de actuador de control (Últimos 5 años)	Overhaul de instrumentación y control (Últimos 5 años)	Overhaul de cuerpo (Últimos 5 años)	Mantenimiento preventivo	Documentación (Registro adecuado y detallado de las actividades)	Factor Overhaul
	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	0
	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	0

De acuerdo a la combinación de estas actividades, se clasifica la confiabilidad de la inspección y se asigna un coeficiente, ver tabla 6.

Tabla 6. Factor confiabilidad de la inspección

Calificación de la inspección	Debe cumplir con	Factor de inspección CF
Altamente efectivo A	Pre-prueba, No Pre-limpieza, Prueba y recertificación, Inspección de tuberías, Registro y documentación de la inspección completo.	0,95
Efectivo B	Pre-prueba, Pre-limpieza, Inspección de internos, Prueba y recertificación, Prueba en sitio con fluido del proceso, Registro y documentación de la inspección completa.	0,95
Inefectivo C	No pre-prueba, No prueba en sitio y recertificación.	0,7

Paso 7. Cálculo de la probabilidad Ponderada

Paso 7.1 Calcular la probabilidad previa de falla bajo demanda $P_{f,prior}^{prd}$: Dado que los parámetros de Weibull establecidos para una determinada válvula proporciona la probabilidad de falla bajo demanda en función del tiempo, una probabilidad predeterminada de falla bajo demanda se puede obtener para el dispositivo en función de su duración en servicio en el momento de la inspección. Esto se conoce como la probabilidad previa de falla bajo demanda y se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$P_{f,prior}^{prd} = 1 - \exp \left[- \frac{t^\beta}{\eta_{mod}} \right]$$

Dónde:

t: Duración en servicio al momento de la inspección.

Paso 7.2 Determinar la probabilidad condicional de falla $P_{f,cond}^{prd}$: Probabilidad afectada por la confiabilidad de la inspección. Un ejemplo que muestra cuanto afecta a la probabilidad esta confiabilidad de inspección son las tuberías sucias.

“Si se determina que la tubería está obstruida, la metodología juzgará que la inspección o prueba es fallida, independientemente de los resultados de la prueba de banco o método de inspección utilizado. Una buena práctica de ingeniería sugeriría que si la tubería esta tapada en más del 25%, la tubería debe definirse como tapada, ya que esto conduciría por el intervalo de inspección. Esta metodología ajusta la confiabilidad del sistema para reflejar taponamiento excesivo de tuberías.”³⁹.

La ecuación utilizada es la siguiente, por recomendación del especialista:

³⁹ AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Risk Based Inspection Technology. Washington: API. 2008. Parte 1, p. 36: il. (API RECOMMENDED PRACTICE 581)

$$P_{f,cond}^{prd} = CF \times P_{f,prior}^{prd}$$

La norma también sugiere ciertos valores para este factor de confiabilidad de la inspección, ver tabla 7. Factor confiabilidad recomendado por la norma.

Tabla 7. Factor confiabilidad recomendado por la norma

INSPECTION RESULT CONFIDENCE FACTOR CF	INEFFECTIVE	FAIRLY EFFECTIVE	USUALLY EFFECTIVE	HIGHLY EFFECTIVE
	Ineffective	Fairly Effective	Usually Effective	Highly Effective
Pass, pass CF	No credit	0,5	0,7	0,9
Fail, fail CF	No Credit	0,7	0,95	0,95
No Leak, noleak CF	No Credit	0,5	0,7	0,9
Leak, leak CF	No Credit	0,7	0,95	0,95

Fuente: AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Risk Based Inspection Technology. Washington: API. 2008. Parte 1, p. 66: il. (API RECOMMENDED PRACTICE 581)

Paso 7.3 Determinar la probabilidad ponderada de falla $P_{f,wgt}^{prd}$: Dependiendo de la efectividad de la inspección y si el dispositivo pasa o no la inspección, la norma recomienda ecuaciones; para el caso se utilizan las siguientes fórmulas:

- Altamente efectivo, A

$$P_{f,wgt}^{prd} = P_{f,cond}^{prd}$$

- Efectivo, B

$$P_{f,wgt}^{prd} = P_{f,cond}^{prf}$$

- Inefectivo, C

$$P_{f,wgt}^{prd} = P_{f,prior}^{prd} \times 0,5 + P_{f,cond}^{prd} \times 0,5$$

Paso 7.4. Determinar la vida característica actualizada: Hace referencia a la vida característica afectada por la confianza de la inspección.

$$\eta_{upt} = \frac{t}{\left(-\ln \left[1 - P_{f,wgt}^{prd}\right]\right)^{\frac{1}{\beta}}}$$

Paso 8. Determinar la frecuencia del evento iniciador (EF_j), para cada escenario de sobrepresión: “El primer paso en la evaluación de la probabilidad de una falla del PRD, es determinar la tasa de demanda (demandas o eventos / año). API RBI proporciona estimaciones de las frecuencias de eventos, basándose en los diversos casos de alivio de sobrepresión bajo demanda del dispositivo protegido.”⁴⁰ (Ver tabla 8).

Paso 9. Determinar el factor de reducción de la tasa de demanda ($DRRF_j$): Se considera un factor de reducción de la demanda, debido a otras barreras de protección que disminuye la probabilidad de sobrepresión. Estos pueden ser los sistemas de control, la instrumentación, los sistemas de paradas e incluso las acertadas intervenciones del operador. (Ver tabla 8).

⁴⁰ AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Risk Based Inspection Technology. Washington: API. 2008. Parte 1, p. 31: il. (API RECOMMENDED PRACTICE 581)

Tabla 8. Caso demanda en sobrepresión

CASO DEMANDA EN SOBREPRESIÓN	FACTOR DE REDUCCIÓN DE LA TASA DE DEMANDA DRRFJ	FRECUENCIA DEL EVENTO INICIADOR (EVENTOS/AÑO) EFJ
Fuego	0,1	0,004
Bloqueo de la descarga con controles administrativos en sitio	1	0,01
Bloqueo de la descarga sin controles administrativos en sitio	1	0,1
Perdida de refrigerante	1	0,1
Relevo térmico con controles administrativos en sitio	1	0,01
Relevo térmico sin controles administrativos en sitio	1	0,1
Falla del sistema de potencia eléctrica	1	0,08
Falla válvula de control, evento iniciador es en la posición normal de falla	1	0,1
Falla válvula de control, evento iniciador es en la posición opuesta de falla	1	0,02
Falla la torre de la bomba	1	0,2
Se presenta reacción química	1	1
Sobrellenado de líquido con controles administrativos en sitio	0,1	0,01
Sobrellenado de líquido sin controles administrativos en sitio	0,1	0,01
Ruptura de un tubo del intercambiador de calor	1	0,001

Fuente: AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Risk Based Inspection Technology. Washington: API. 2008. Parte 1, p. 66: il. (API RECOMMENDED PRACTICE 581)

Paso 10. Determinar la tasa de demanda (DR_j):

$$DR_j = EF_j \times DRRF_j$$

Paso 11. Identificar la MAWP (maximum allowable working pressure) máxima presión de trabajo admisible del equipo protegido. Según la norma API 576⁴¹: La presión máxima de operación a una temperatura diferente, de la de diseño, si refleja las condiciones específicas de operación. La MAWP puede ser mayor que la presión de diseño y se utiliza para selección de las Válvulas de seguridad y Alivio. Típicamente está determinada por el espesor de la aleación de metal utilizada y las propiedades de resistencia a la tracción de la aleación.

Paso 12. Determinar el factor de daño: Debido a que el equipo protegido no cuenta con un estudio de RBI terminado, se determina un factor de daño dependiendo de características actuales del equipo protegido. (Ver tabla 9)

Tabla 9. Factor de daño

CLASE DE FACTOR DAÑO DEL EQUIPO PROTEGIDO	FACTOR DAÑO
Ninguno	1
Mínimo	20
Menor	200
Moderado	750
Severo	2000

Fuente: AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Risk Based Inspection Technology. Washington: API. 2008. Parte 1, p. 67: il. (API RECOMMENDED PRACTICE 581)

⁴¹ AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Inspection of Pressure Relieving Devices. Washington: API. 2008. Parte1: il. (API RECOMMENDED PRACTICE 576)

Para determinar la clase de factor de daño, el especialista definió los siguientes ítems:

Característica del equipo protegido: Se asigna una calificación dependiendo de la característica del equipo protegido. (Ver tabla 10).

El Factor de corrosión: Se identifica la “pérdida de corrosión admisible”, 30%, 60%, o mayor a 90%, si lo hay, del equipo protegido.

Perdida de espesor: Se identifica si existe pérdida de espesor del equipo protegido por algún mecanismo de falla diferente a la corrosión.

Tabla 10. Característica equipo protegido

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICA
A	Equipo tiene menos de una año en servicio
B	Se ha cumplido con el plan de inspección del equipo y no se ha encontrado daños
C	En la última inspección se encontró con daños y no han sido reparados
D	En la última inspección se encontró con daños han sido reparados
E	No se ha cumplido con la rutina de inspección del plan de integridad (IM)

Paso 13. Calcular la probabilidad de falla del equipo protegido en el evento de sobrepresión, $P_{f,j}$: Se calcula la probabilidad de falla del equipo protegido en evento de sobrepresión basándose en los mecanismos de falla presentes, y en la frecuencias de falla suministradas por datos de la industria, teniendo en cuenta

que las válvulas son tomadas como tubería presurizada o vasijas, según el equipo.
(Ver tabla No. 11)

$$P_{f,j} = P_f + \left(\frac{1 - gfft}{3} \right) \left(\frac{P_{o,j}}{MAWP} - 1 \right)$$

Paso 14. Calcular la probabilidad de falla bajo demanda de la válvula de corte $P_{fod,j}$, según modelo de inferencia Bayesiana para mayor precisión:

$$P_{fod} = 1 - \exp \left[\left(\frac{t}{\eta_{upt}} \right)^\beta \right]$$

Paso 15. Calcular la probabilidad de falla para abrir bajo demanda $P_{f,j}^{prd}$:

$$P_{f,j}^{prd} = P_{fod,j} \times DR_j \times P_{f,j}$$

$P_{fod,j}$: Probabilidad de falla bajo demanda.

DR_j : Tasa de demanda del escenario de sobrepresión.

$P_{f,j}$: Probabilidad de falla del equipo protegido.

Tabla 11. Frecuencia genérica de falla.

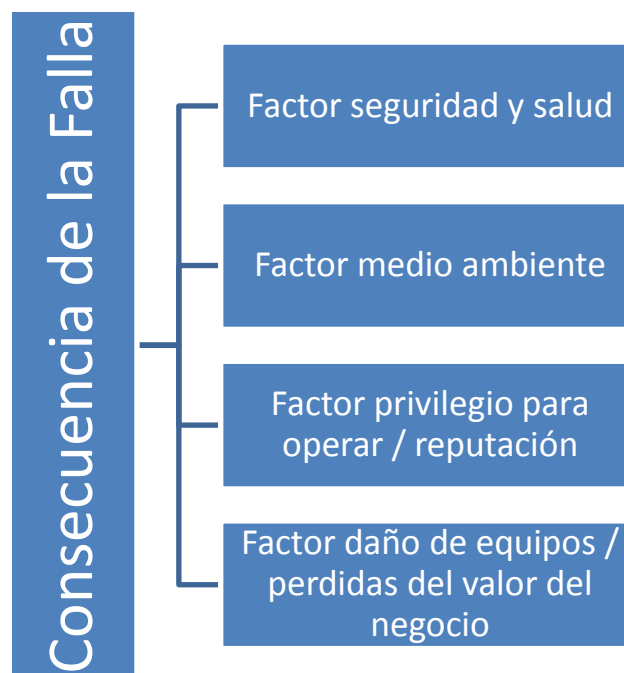
EQUIPO	Leve (1)	Medio (2)	Alto (3)	Catastrófico (4)	Σgff	gff total
COMPRESOR (Turbo o reciprocante)	8,00E-06	2,00E-05	2,00E-06	6,00E-07	3,06E-05	3,00E-05
TUBERIA	8,00E-06	2,00E-05	2,00E-06	6,00E-07	3,06E-05	3,00E-05
BOMBA	8,00E-06	2,00E-05	2,00E-06	6,00E-07	3,06E-05	3,00E-05
INTERCAMBIADOR DE CALOR	8,00E-06	2,00E-05	2,00E-06	6,00E-07	3,06E-05	3,00E-05
TANQUE	7,00E-05	2,50E-05	5,00E-06	1,00E-07	1,00E-04	1,00E-04
VASIJAS	8,00E-06	2,00E-05	2,00E-06	6,00E-07	3,06E-05	3,00E-05

Fuente: AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Risk Based Inspection Technology. Washington: API. 2008. Parte 1, p. 56: il. (API RECOMMENDED PRACTICE 581)

5.2.3.2 Calcular las consecuencias. El siguiente parámetro del riesgo es la consecuencia el cual sigue el mismo estilo de calculo que la probabilidad la cual se vio afectada por diversos factores. En este caso las consecuencias son medidas por su impacto económico según múltiples evaluaciones respecto reparación, interrupción del negocio, daños a la población y al ambiente e incluso reputación de la empresa.

El análisis de consecuencia se realiza con el fin de obtener una discriminación entre los componentes más afectados en caso de una falla potencial; es un cálculo aproximado de los que podría esperarse si ocurriera una falla, la estimación de la consecuencia se realiza mediante la evaluación de los factores que se muestran en la Figura 30. Árbol de consecuencias.

Figura 30. Árbol de consecuencias



Para establecer cuál de los escenarios (fuga, Ruptura) se debe considerar el nivel de amenaza más relevante, considerando que cada categoría de amenaza presenta un modo de falla prevaleciente.

Además la consecuencia será valorada de acuerdo a la clasificación de la matriz RAM Equion-Energía Limited simplificando los valores para adecuarlos a la matriz RAM de 6 x 6 propuesto para esta valoración. A continuación se describe brevemente la metodología usada para la evaluación de los 4 factores.

1. Salud y Seguridad:

Incidental o Ninguno: Primeros Auxilios.

Menor: Lesiones o Enfermedades que requieran tratamiento médico o trabajo restringido.

Moderado: Lesiones incapacitantes, serias, significativas o con ausencia del trabajo.

Mayor: De 1 a 10 fatalidades dentro y fuera de las instalaciones, entre 10 o más lesionados que requieran tratamiento de hospitalización.

Grave: de 11 a 100 fatalidades dentro o fuera de las instalaciones.

Catastrófico: De 101 o más fatalidades dentro o fuera de las instalaciones.

2. Daño de Equipos / Perdida de Valor Negocio:

Incidental o Ninguno: Ninguna. Costos mayo a los 20.000 USD.

Menor: Algunos daños, perdida de activos y/o tiempo de inactividad. Costos 20.000 a 100.000 USD.

Moderado: Perdida de activos, daños a la instalación y/o tiempo de inactividad serios. Costo entre 100.000 y 1 millón USD.

Mayor: Perdida de activos, daños a la instalación y/o tiempo de inactividad serios Costos entre 1 millón a 50 millones USD.

Grave: Perdida de activos y/o daños a la instalación serios. Tiempo de inactividad significativo, con efecto económico apreciable. Costo entre 50 millones y 500 millones USD.

Catastrófico: Destrucción o daño total. Posibilidad de pérdida de la producción permanente. Costo mayor a 500 millones USD.

3. Medio Ambiente:

Incidental o Ninguno: Afectación de área interna de las Instalaciones con recuperación menor a 7 días.

Menor: Afectación de un área Externa con recuperación inmediata menor a dos semanas.

Moderado: Afectación de un área sensible con recuperación entre 2 semanas a 4 Semanas.

Mayor: Afectación de un área sensible con recuperación en un período mayor a 2 semanas y menor a un 1 año o afectación a área no sensible con recuperación de un periodo mayor a 4 semanas y menor a 6 meses.

Grave: Daño extensivo con afectación de un área sensible con recuperación entre 1 y 5 años.

Catastrófico: Daño extensivo a un área ambientalmente sensible con una recuperación mayor a 5 años.

4. Privilegio para Operar o Reputación:

Incidental o Ninguno: Quejas procedentes por parte de vecinos, quejas procedentes de proveedores o terceras partes.

Menor: Cubrimiento por medios locales, Municipales. Incumplimiento compromisos con terceras partes del ámbito local.

Moderado: Cubrimiento por medios regionales a corto plazo. Incumplimiento compromisos con terceras partes del ámbito Regional.

Mayor: Cubrimiento por medios regionales y nacionales de mediana duración. Afectación de las relaciones en la industria con proveedores de bienes y servicios a nivel nacional e internacional.

Grave: Pérdida de una licencia local o regional, Impacto en la reputación de los accionistas, rechazo por parte del público en general, rechazo por parte de los inversionistas, Impacto en la reputación de los accionistas, Cubrimiento por medios internacionales a corto plazo.

Catastrófico: Afectación a la reputación a nivel internacional, Cubrimiento por medios internacionales de larga duración, rechazo por parte de los accionistas de Equion y público a nivel internacional.

Paso 1. Debido a informes anteriores de mantenimiento sobre eventos de las válvulas y las recomendaciones del especialista se usaron los escenarios de sobrepresión recomendados por la norma 581 anteriormente nombrados en la Tabla 8.

Es necesario calcular los costos de los daños a equipos en la zona afectada, si los resultados de falla son fuego o explosión. Un valor de costo constante se utiliza en esta evaluación basada en la norma API 581. En otras palabras, como punto de partida el costo medio de los otros equipos que rodean a cualquier componente dado es aproximadamente el mismo, independientemente de la ubicación dentro de la planta.

Paso 2. Calcular la sobrepresión $P_{o,j}$, para el evento de que la válvula falle al abrir bajo demanda. Existen tres tipos de opciones que conciernen a la sobrepresión: Si la válvula falla al abrir o cerrar a la salida aguas abajo del equipo rotativo que no sea del tipo de desplazamiento positivo entonces el evento de sobrepresión es de 1.3 veces la presión de descarga normal o punto de burbuja; si es aguas abajo del equipo rotativo de desplazamiento positivo la sobrepresión es de 4 veces el MAWP o si es aguas abajo de unidades de proceso o vasijas entonces la sobrepresión es 1.1 veces el MAWP aguas arriba de la presión origen de la vasija. Los anteriores valores son tomados de la tabla 7.3 de la norma API 581.

Paso 3. Dado que hay equipos que necesitan manejar la sobrepresión con un riesgo asociado bajo, la composición de varias válvulas para su protección hace improbable de que todas las válvulas fallen al tiempo. Para el caso donde se requieren múltiples válvulas de corte para manejar la sobrepresión, se determina el factor de ajuste de sobrepresión con la siguiente ecuación:

$$F_a = \sqrt{\frac{A^{prd}}{A_{total}^{prd}}}$$

A^{prd} : Área del orificio de la válvula bajo evaluación.

A_{total}^{prd} : Área total de los orificios de las válvulas que protegen el mismo equipo.

Paso 4. Calcular la sobrepresión reducida por múltiples dispositivos de corte, utilizando la siguiente ecuación:

$$P_{or,j} = F_a \times P_{o,j}$$

Paso 5. Calcular la consecuencia financiera por pérdida de contención del equipo protegido para cada escenario de sobrepresión.

Paso 5.1. Calcular el costo de reparar la pieza específica del equipo FC_{cmd} .

$$FC_{cmd} = \left[\frac{\sum_{n=1}^4 gff_n \times holecost_n}{gff_{total}} \right] \times matcost$$

$holecost_n$: Costo de reparar el equipo.

$matcost$: Factor de costo según el material.

gff : Frecuencia genérica de falla.

El costo de reparar el equipo ($holecost_n$) se ha relacionado a su tamaño, máxima presión de operación (MOP) y tipo de aplicación que presta mediante la tabla 12. Costo y tiempo de reparación de equipos; de igual manera según el especialista

se adjudicaron factores a los materiales como se puede ver en la tabla 13. Factores por tipo de material.

Tabla 12. Costo y tiempo de reparación de equipos

EQUIPO	Tamaños entre 1 y 6"	Tamaños entre 6" y 24"	Tiempo Reparación para tamaños entre 1" y 6"	Tiempo Reparación entre 6" y 24"
HV-Hand Valve Ball	0,7	1	1	3
HV - Hand Valve Butterfly	0,7	1	1	2
CK - Check Valve	0,7	1	1	2
GAV - Hand Valve Gate	0,7	1	1	2
GLB - Hand Valve Globe	0,7	1	1	2
HVN- Hand Valve Needle	0,7	1	1	1
SDV - Shut Down Valve	1	1,2	2	5
SURFACE SAFETY VALVE	1	1,2	2	4
EMERGENCY SHUT DOWN VALVE	1	1,2	2	5
Doble Block & Bleed Valve	0,7	1	1	3
DIVERT VALVE SOLENOID	0,7	1	1	1
Flow Control Valve	1,1	1,3	1	3
PV or PCV - Pressure Control Valve	1,1	1,3	1	1
LV or LCV - Level Control Valve	1,1	1,3	1	3
FLOW SAFETY VALVE (CHECK)	0,7	1	1	2
BDV - Blow Down Valve	1	1,2	3	5
XXV - Emergency Shut Down Valve (ESDV)	1	1,2	4	8
PL-Plug Valve	0,7	1	1	3

Estas tablas son el resultado de información de proveedores quienes han cotizado reparación de válvulas por sus tamaños, en promedio se tiene que para válvulas menores a 5 pulgadas el costo por reparación es de 500 USD, entre 5 y 8 pulgadas es por 700 USD y mayores a 8 pulgadas por 1200 USD.

Tabla 13. Factores por tipo de material

MATERIAL EQUIPO PROTEGIDO	FACTOR COSTO DE MATERIAL "matcost"
SS	2,5
CSN	1
CSA	1,5
CSL	2
CSC	3
SSE	3,5
SA-216 WCB	1
SA-105-F	1
Rubber	1
SA-350 LF2 MLT	1
WELD	1
Chrome Alloy	1
Alloy steel	1
SA-212 B	1
SA-171	1
Fiberglass	1
Corezyn 75	1
SA-234 WPB	1
SA-182 F304L	1
SA-182 F304	1
SA-181 60	1
SA-181 70	1
SA-105 N	1
SA-266 2N	1
SA-182 F316	1
SA-312 F316	1
SA-182 F22	1
SA-105	1

Paso 5.2. Calcular el costo de daño a los equipos en el área consecuencia:

$$FC_{affa} = CA_{cmd} \times equipcost$$

quipcost: Costo promedio de reparación de los equipos afectados en el área consecuencia.

CA_{cmd}: Área consecuencia, la cual se calcula de la siguiente manera:

$$CA_{cmd} = a \times rate^b$$

rate: Capacidad de flujo.

a: Constante del fluido.

b: Constante representativo del fluido.

Las constantes a y b, dependen de la composición química del fluido, como se ve en la siguiente tabla.

Tabla 14. Constantes fluido representativo

FLUIDO	FLUIDO REPRESENTATIVO	A	B
AIR	H2	420	1
CHEM INYECT	H2S	203	0,89
CRUDE	C25 +	103	0,9
CRUDE/NAT GAS	C25 +	103	0,9
CRUDE/WATER/NAT GAS	C25 +	103	0,9
DIESEL	C25 +	103	0,9
ESPUMA CONTRAINCENDIO	C3-C4	313,6	1
FUEL GAS	C1-C2	280	0,95
GLYCOL	EG	108	1
LIQ NG	NG	1751	0,934
METHANOL	Metanol	1751	0,934
NATURAL GAS WET	C1-C2	280	0,95
NATURAL GAS SWEET	C1-C2	280	0,95
NATURAL GAS BITTER	C1-C2	280	0,95
NITROGEN	NO2	1	1
OIL/WATER	C25 +	103	0,9
PRODUCED WATER	C25 +	103	0,9
WATER	WATER	1	1

Paso 5.3. Determinar el costo de interrupción de negocio FC_{prod} . El tiempo requerido para reparar los equipos afectados $Outage_{affa}$ se toma de la tabla No. 12 Costo y tiempo de reparación de equipos.

$$FC_{\text{prod}} = (\text{Outage}_{\text{cmd}} + \text{Outage}_{\text{affa}})(\text{prodcost})$$

$\text{Outage}_{\text{cmd}}$: Probabilidad del tiempo para reparar el daño en el equipo protegido.

$\text{Outage}_{\text{affa}}$: Tiempo requerido para reparar los equipos afectados en el área de consecuencia.

prodcost : Costo de pérdida de producción por día.

Paso 6. Calcular los costos asociados con las lesiones a personal FC_{inj} . Según los estudios previamente realizados en la zona la densidad de personas por pie cuadrado es de 0.002 y el costo de lesiones por persona es de 1.000.000 USD. En la figura 31. Se ve como no hay asentamiento alguno cerca a las instalaciones para dimensionar el valor de densidad poblacional de la zona.

$$FC_{\text{inj}} = CA_{\text{inj}} \times \text{popdens} \times \text{injcost}$$

CA_{inj} : Área consecuencia

popdens : Densidad de población.

injcost : Costos asociados a lesiones del personal.

Paso 7. Calcular los costos asociados con la limpieza del medio ambiente; existe una relación muy significativa entre el impacto y el estado del fluido que se libera en una falla o evento; por recomendación del especialista debe ser 20 veces más impactante un producto que no sea gaseoso.

$$FC_{\text{environ}} = \left[\frac{\sum_{n=1}^4 \text{gff}_n \times \text{vol}_n^{\text{env}}}{\text{gff}_{\text{total}}} \right] \times \text{envcost}$$

$\text{vol}_n^{\text{env}}$: Volumen de fluido expulsado en la pérdida de contención.

envcost : Costo de limpieza del fluido por barril.

Figura 31. Campo Floreña



Fuente: MOLINA, Alfonso. Campo Floreña, en Casanare, operado por Equion Energía, empresa del Grupo Empresarial Ecopetrol. [Imagen]. Más crudo en Casanare campos pauto y floreña alcanzaron récord de producción. Bogotá: 2015. p. 1. [Consultado: 1 de agosto de 2018]. Disponible en Internet: <http://inteligenciapetrolera.com.co/inicio/mas-crudo-en-casanare-campos-pauto-y-floreña-alcanzaron-record-de-produccion>

Paso 8. Calcular la consecuencia financiera total, FC:

$$FC_{cmd} = (FC_{affa} + FC_{prod} + FC_{inj} + FC_{environ}) \times \textit{Mantenibilidad}$$

Además de usar los valores anteriormente calculados se agrega el concepto de mantenibilidad el cual dista de su significado denotativo en mantenimiento y connota la facilidad contextual del dispositivo (sea lugar, facilidad de acceso, repuestos, entre otros) para realizar el mantenimiento; para esto caso se establecieron unos factores que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 15. Factores de Mantenibilidad

CALIFICACION	CONCEPTO
3	MUY DIFICIL
2	DIFICIL
1,5	MEDIANAMENTE DIFICIL
1,2	NORMAL
1	MUY FACIL

5.2.4 Cálculo del riesgo. Presentar los resultados en una matriz de riesgo es una manera eficaz de mostrar la distribución de los riesgos para los diferentes componentes en una unidad de proceso sin valores numéricos. En la matriz de riesgos, las categorías de consecuencia y probabilidad están dispuestos de tal manera que los componentes de alto riesgo se encuentran hacia la parte superior derecha de la matriz. Los rangos para valorar probabilidad y consecuencia están en las tablas 16 y 17.

Tabla 16. Rangos para valoración probabilidad

CATEGORIA DE PROBABILIDAD	CONCEPTO	LIMITE DE CATEGORIAS
1	Probable	Hasta 0,1
2	Ocasional	Hasta 0,3
3	Pocas veces	Hasta 0,5
4	Improbable	Hasta 0,7
5	Remoto	Hasta 0,9
6	Raro	Hasta 1

Tabla 17. Rangos para valoración consecuencia

CATEGORIA DE CONSECUENCIA	CONCEPTO	LIMITE DE CATEGORIAS
F	Incidental	20000
E	Menor	100000
D	Moderado	1000000
C	Mayor	50000000
B	Grave	500000000
A	Catastrófico	500000001

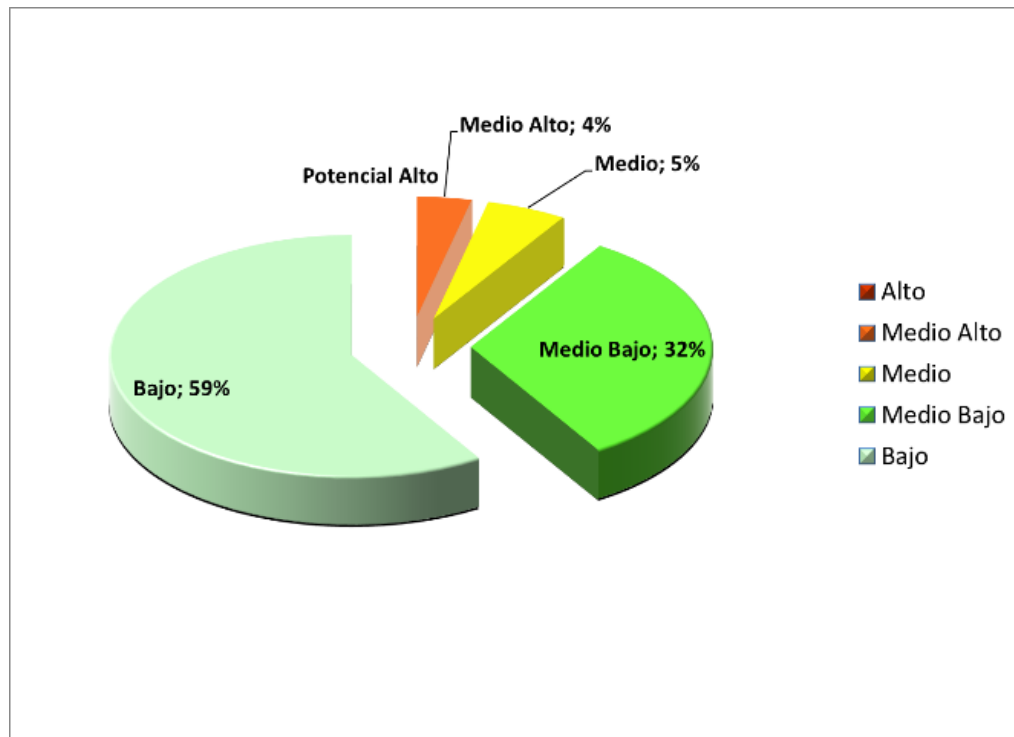
De acuerdo al alcance propuesto del proyecto, se identificaron 1969 válvulas instaladas en las diferentes líneas de flujo del CPF Floreña, las cuales cumplen con los requerimientos planteados para este estudio de criticidad, el resultado de la evaluación arrojó una distribución dentro de la matriz, en la cual se visualiza gráficamente la ubicación en los diferentes niveles de riesgos y la cantidad de válvulas por nivel que se ubicaron dentro de la matriz; de acuerdo a su ubicación dentro de la matriz el nivel mayor se encuentra entre 6D, 6C y 5D definiendo las válvulas en estos rangos como las de mayor criticidad y en los niveles E1, E2 y D1, las válvulas de menor criticidad.

A continuación se observa la figura 32. Jerarquización de válvulas basadas en el nivel de riesgo, representa la distribución de válvulas por cada nivel de color de la matriz. Adicionalmente en las figura 33. Porcentaje de válvulas por nivel riesgo. Visualizamos la distribución porcentual de las válvulas según la clasificación del riesgo, parte del alcance de este informe de Criticidad.

Figura 32. Jerarquización de válvulas basadas en el nivel de riesgo

Jerarquización de Válvulas Basados en los Niveles de Riesgo								
PROBABILIDAD	Probable	6	0	3	23	42	0	0
	Ocasional	5	0	2	31	7	0	0
	Pocas veces	4	0	36	38	20	0	0
	Improbable	3	0	32	104	12	0	0
	Remoto	2	0	14	163	40	0	0
	Raro	1	0	175	969	258	0	0
			F	E	D	C	B	A
			Impacto Bajo		Impacto medio		Impacto Alto	
			Incidental	Menor	Moderado	Mayor	Grave	Catastrófico
CONSECUENCIA								

Figura 33. Porcentaje de válvulas por nivel riesgo



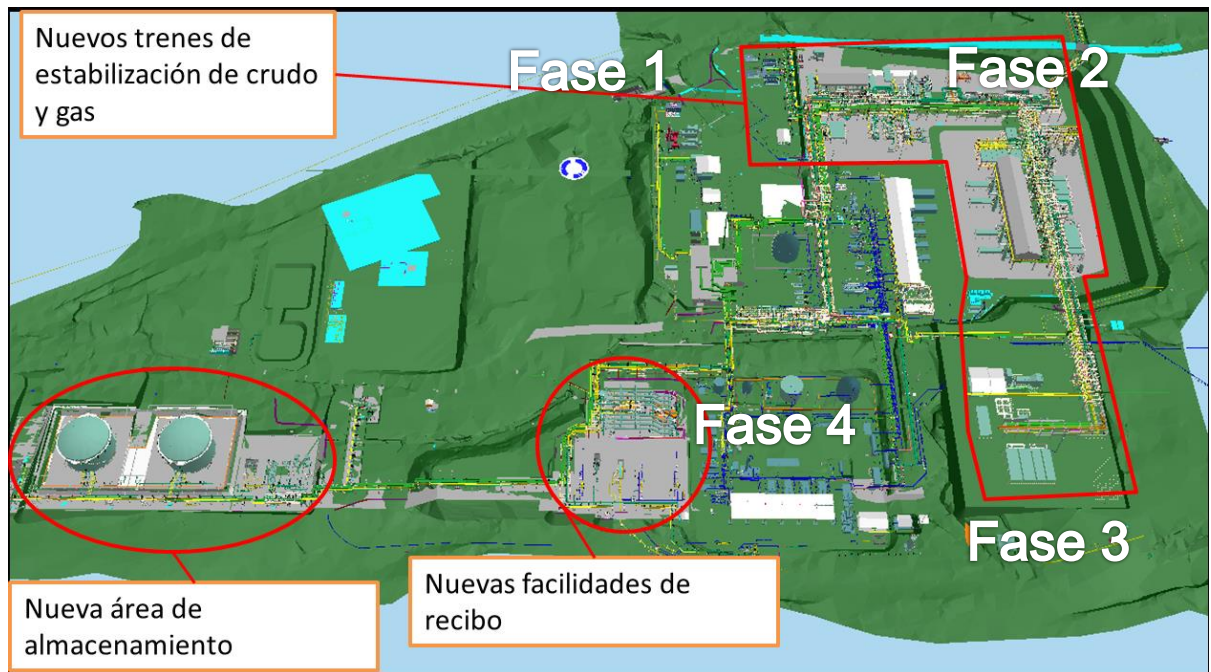
5.3 MANTENIMIENTO ASOCIADO A VÁLVULAS DE CORTE

La estrategia está basada en los niveles de clasificación del riesgo, resultado del estudio de criticidad de válvulas de corte y otros requerimientos técnicos.

5.3.1 Hallazgos y recomendaciones. Dentro de la planta el acceso se encuentra desde nivel de piso hasta plataformas en altura, requiriendo en algunos casos la construcción de andamios. Sin embargo las válvulas operativas tienen acceso para operarlas. El acceso a las válvulas se presentó sin dificultad pero la ubicación de algunas entre distintos equipos deja entre ver lo complejo del acceso para ejecutar su mantenimiento.

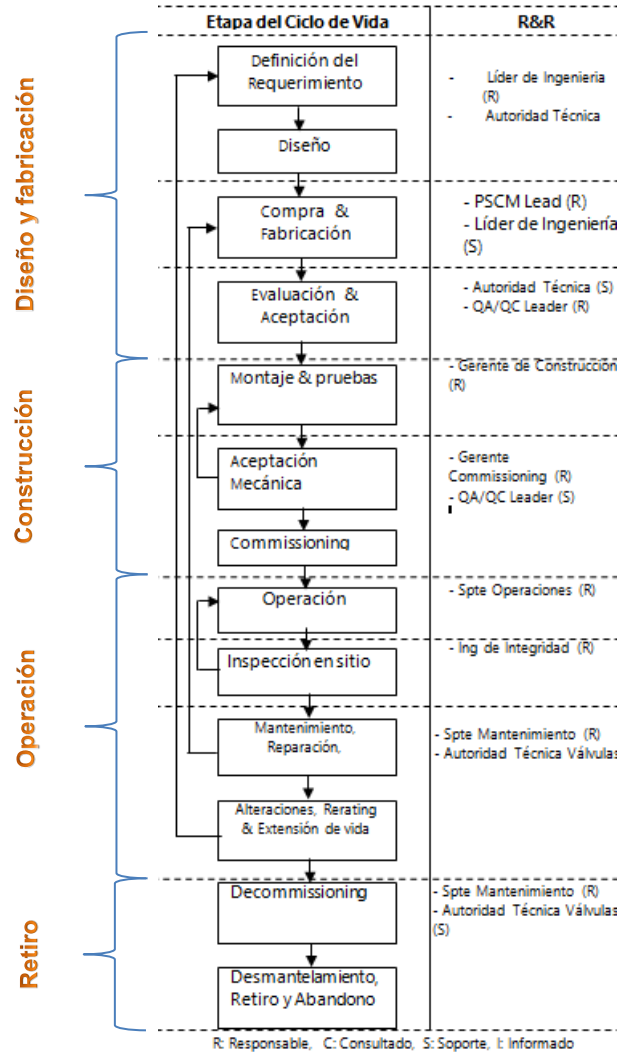
En las instalaciones hay un gran número de válvulas relativamente nuevas más exactamente el 61% de válvulas fueron instaladas en el año 2014, además una población de válvulas con una edad considerable, todas ellas localizadas en las fase I y II de las instalaciones (ver figura 34). En la actualidad se desarrolla un proceso de inspección por parte de un equipo de profesionales tanto de integridad como de mantenimiento, que continuamente están reportando la condición de los diferentes equipos de la planta incluyendo las válvulas. Como parte del proceso de la gestión de mantenimiento los hallazgos técnicos y recomendaciones son elevados al ERP para su respectiva planeación y posterior corrección.

Figura 34. Fases de las instalaciones del CPF Floreña



5.3.2 Estrategia del ciclo de vida. La estrategia está enfocada a asegurar el nivel de Integridad de los dispositivos a lo largo del ciclo de vida y como tal está basada en el manejo de los riesgos. A continuación se ilustra de forma gráfica del esquema general del ciclo de vida de activos. Ver figura 35.

Figura 35. Ciclo de vida válvulas



En la fase de diseño y fabricación el proceso comienza una vez efectuado los análisis, simulaciones y estudios de Ingeniería, el dispositivo debe ser especificado en una hoja de datos “Data Sheet” ya que este documento será usado para aplicar a propuestas, cotizaciones y finalmente hará parte fundamental de la orden de compra; por otra parte el grupo de aseguramiento de calidad o el grupo 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”. La empresa de Ingeniería deberá entregar como parte de los documentos finales del proyecto la identificación de cada uno de los dispositivos, por ejemplo para el caso de una válvula de alivio de presión el documento donde se clasifica como un Equipo Crítico de Seguridad (SCE) si así lo amerita, “DataSheet” y Cálculos de la simulación según el software usado, tal como PSVs plus.

En la fase de construcción se debe asegurar que los dispositivos sean instalados adecuadamente siguiendo las prácticas de construcción y el diseño establecido para cada sistema; para esto se debe seguir los lineamientos establecidos para el montaje según los estándares de la Industria y las buenas prácticas constructivas; en el caso de dispositivos de alivio de presión algunos estándares que se deben seguir son:

- 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.

Los procesos de QAQC (Quality Assurance and Quality Control o garantía de calidad y control de calidad) se realizan mediante el seguimiento del plan de calidad y el plan de inspección y pruebas (programas internos para aseguramiento de calidad de la empresa cliente), los cuales deben ser seguidos y asegurar que los dispositivos se han instalado correctamente y se han aceptado según los diseños establecidos. Durante la etapa de construcción y “commissioning” los siguientes documentos deben ser emitidos y entregados a la operación:

- Manual del fabricante.
- Registro de Aceptación o “Commissioning”.
- Registro de Calibración.

La fase de Operación está diseñada para asegurar que todos los dispositivos sean operados y mantenidos dentro de los límites y estándares de diseño y operación a través de procesos de identificación y manejo de las amenazas que conllevan a la degradación de los dispositivos y que las válvulas operen adecuadamente según las condiciones técnicas de los sistemas.

En el mantenimiento es necesario asegurar que los siguientes aspectos sean contemplados y manejados apropiadamente:

- Que se disponga y se siga el procedimiento de mantenimiento de los dispositivos.
- Que las válvulas y dispositivos sean tratados como SCE según corresponda y se siga la práctica establecida.
- Que la estrategia de re certificación sea actualizada y seguida según corresponda.
- Que se siga la estrategia de manejo de corrosión.
- Que se establezca el desempeño operativo de cada una de las válvulas (Registrando y midiendo indicadores de desempeño).

Para asegurar el buen desempeño de los dispositivos se debe seguir los lineamientos de las normas y estándares internacionales, que establecen las pautas a seguir para mantener en la operación los dispositivos con el nivel de integridad mecánico y en condiciones satisfactorias; durante esta etapa es fundamental recopilar toda la información referente al comportamiento del dispositivo relacionado con mecanismos de daño y desviaciones detectadas durante la operación, pruebas o mantenimiento; la información debe ser consignada y estar disponible para acceder por cualquier persona en la organización. La información relacionada con inspecciones y mantenimiento debe ser consignada en el ERP tal como SAP, donde se debe reflejar el historial de

mantenimiento, inspección y los modos de falla establecidos para este tipo de equipos como lo indica la norma ISO 14224.

Además en esta etapa se planea la frecuencia de recertificación la cuales son el producto de la evaluación basada en riesgo RBI (Risk Based Inspection); 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” (Management of Change o gestión del cambio).

Algunas recomendaciones agregadas a la fase de operación y mantenimiento son:

- 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 o un programa similar que acredite la competencia.
- Las válvulas no deben ser alteradas o modificadas.

Se debe generar la siguiente documentación para mantenimiento:

- Registro de cada uno 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.
- Análisis de criticidad de asignación de frecuencias de re certificación.

La última fase del ciclo de vida de los dispositivos es el aseguramiento del apropiado decomisionado y abandono de los equipos; durante este es necesario asegurar todos los aspectos relacionados con seguridad, salud y ambiente y que todos los requerimientos regulatorios hayan sido cumplidos

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 en el ERP - SAP.
- Actualización de procedimientos operacionales.
- Evaluaciones de integridad mecánica.
- Disposición para reutilizar.

La siguiente información debe estar disponible y al alcance de los interesados:

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

5.3.2.1 Indicadores que afectan la confiabilidad y disponibilidad. Son siete eventos que afectan la vida característica de las válvulas:

- Falla al cerrar: la válvula abre pero cuando va a cerrar se queda abierta o no cierra completamente.
- Aperturas esporádicas o inesperadas: la válvula abre aunque no se han dado las condiciones para que opere.
- Pase interno: la válvula se encuentra cerrada pero el fluido de proceso no es contenido dentro de los parámetros de diseño.
- Rutinas de inspección y recertificación en "Overdue": Se han pasado las fechas programadas en el CMMS y no se han cumplido las rutinas.
- Taponamiento: la válvula o los ductos de acceso o evacuación se han encontrado taponados parcial o totalmente.
- Daño estructural: Se observa daño en los soportes, tensión en tuberías o la incorrecta instalación, que puede inducir en daño o mala operación.
- Problemas menores de servicio: Cuando se detectan elementos sueltos, bridas, pintura, etc.

Se consideran acciones o fallas que pueden inmediatamente o de manera gradual limitar o disminuir la confiabilidad y/o disponibilidad del equipo y deben ser verificados de manera rutinaria mediante comportamiento de índices de desempeño y efectividad de acciones recomendadas como:

Tabla 18. KPI's o Indicadores de mantenimiento

KPI	Descripción	Formula Medición	Meta	Frecuencia
1	En "Overdue"	Número de Rutinas No Ejecutadas	0	Mensual
2	Probabilidad de falla en Demanda	Se realiza una valoración de acuerdo a otras fallas que pueden inducir a que la válvula termine fallando en demanda.	99%	Mensual
3	Falla posterior a la demanda	Numero de eventos en los cuales la válvula no cierra después de la apertura	0	Trimestral
4	Pase Interno	Numero de eventos que se detecta fuga a través del asiento de la válvula	0	Trimestral
5	Disponibilidad	Todo sistema de alivio y bloqueo debe estar activo, alineado y protegiendo los equipos. Debe cumplirse con procedimiento para manejo de "overrides" y "By-pass" en la planta.	100%	Mensual

Para la correcta implementación y medida de los indicadores de desempeño se hace necesario que todo evento o desviación al buen comportamiento operativo sea investigado e identificado con su causa raíz, lo cual está contemplando entre las políticas y los formatos guías de la empresa.

Igualmente esta estrategia debe ser verificada para su cumplimiento al menos una vez cada año por el grupo de aseguramiento técnico, donde entre otros aspectos se verificara:

- Estado de integridad de los dispositivos.
- Revisión de indicadores de desempeño.
- Captura de lecciones aprendidas.

- Opciones de mejora y retroalimentación.

5.3.3 Inspección y Mantenimiento de válvula. Existen tres tipos de intervención para las válvulas; mantenimiento preventivo, Cambio en Línea y “Overhaul” (Cambio de Internos).

a) Mantenimiento Preventivo (Lubricación): Consiste en la inspección y lubricación interna de la válvula por puntos de engrase, ubicados por diseño en puntos específicos del cuerpo de la válvula, la lubricación es con el fin de suavizar su operación y preservar los internos al contacto con los fluidos (efecto sellante), adicionalmente protege de fugas externas por las graseras de la válvula.

b) Cambio válvula en Línea: La actividad se realiza por condición en la mayoría de las válvulas si llegan a presentar problemas en el funcionamiento; consiste en cambiar en el sitio la válvula que presenta falla por otra de las mismas características, según requerimiento del diseño. La válvula puede ser reparada o nueva que cumpla con la especificaciones técnicas.

c) “Overhaul” Válvula (Cambio de Internos): Consiste en el desmonte y cambio de partes blandas, inspección general de internos, cambio o rectificado de componentes desgastados, ensamble, pruebas y recertificación. Esta actividad es realizada para válvulas desmontadas por código de falla presente. La actividad es realizada en taller con personal que presente amplios conocimientos en el mantenimiento de válvulas. La actividad es realizada para dos escenarios, cuando la válvula requiere nuevamente ser instalada en la línea, o con la opción de tenerla como repuesto (spare) para que pueda ser instalada cuando se requiera por el grupo de operaciones en otra área que permita disminuir las perdidas en la producción.

5.3.4 Inspección Actuador mecánico (Gear Box). Como parte fundamental en la mayoría de las válvulas aquí analizadas, el actuador mecánico necesita una estrategia individual para garantizar su mantenimiento. De igual manera que en las válvulas tiene tres tipos de intervención: Mantenimiento Preventivo, Reparación en línea y “Overhaul”; las cuales se desarrollan a continuación:

a) Mantenimiento Preventivo (Lubricación): Consiste en la inspección y lubricación interna de la caja de engranajes para preservar, se puede realizar bajo dos escenarios, destapando la caja de engranajes, realizar limpieza general (retiro de residuos), cambio de grasa, realizar el tapado de la caja y aplicando sellante para evitar la humedad y preservar el mecanismo.

b) Reparación en Línea: Consiste en la inspección y reparación en sitio de componentes que tengan una daño menor, como desajuste o cambio de rodamientos; dejándolo operativo.

c) “Overhaul” (Reparación de Componentes): Se puede realizar bajo dos escenarios:

1. Cambio de “Gear Box” por componente reparado en sitio, el cual consiste en llevar el actuador de las mismas especificaciones reparado completamente y realizar el cambio dejando la válvula operativa.

2. El otro escenario es el retiro del actuador para realizar mantenimiento general en taller y volver a instalarlo nuevamente en la válvula.

La toma de decisión para determinar el escenario adecuado de realizar la intervención al actuador, se debe realizar un análisis de riesgo particular para cada válvula.

Figura 36. Resumen estrategias de mantenimiento

ESTRATEGIA GLOBAL DE INSPECCION DE VALVULAS DE CORTE EQUION 2017											
TIPO DE INSPECCION Y MANTENIMIENTO	ALCANCE	Frecuencias en meses según clasificación de Riesgo. (Donde 1=Extra Alto a 10= Súper Bajo)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inspección General por Componentes:											
Actuador Manual (Gear Box)	Desmante, Des-Ensamble, Cambio de Rodamientos o bujes, resortes, guías, cambio de empaques, verificación dimensional (desgaste o deformación de componentes) y corrección de elementos deteriorados. Ajuste y Prueba funcional.	60	60	60	60	60	60	©	©	©	©
Válvula	Desmante, cambio de partes blandas, inspección general interna, cambio o rectificado de componentes desgastados. Prueba y recertificación .	120	120	©	©	©	©	©	©	©	©
Mantenimiento predictivo	Prueba funcional realizada por oportunidad: parametros: apertura y cierre, hermeticidad interna o externa. Ejecutan los Operadores.	36	36	48	48	©	©	©	©	©	©
Mantenimiento Preventivo	Lubricación periódica de válvula principal, inspección visual. Según procedimiento e instructivo.	12	12	18	18	24	24	24	24	24	24
	Si La válvulas es operada por Gear Box realizar rutina de lubricación en el mismo tiempo de intervención de la válvula. Inspección Intrusiva lubricación de Gear Box (Destapar tapa actuador, realizar limpieza general, cambio de grasas, oring visor).	24	24	24	24	36	36	48	48	60	60

5.3.5 Estrategia de válvulas para reemplazo en Válvulas de corte. Se verifican las válvulas que se tienen en bodega de materiales ya sea certificadas (nuevas, reparadas o disponibles para reparación); en función de la matriz de criticidad y los niveles de riesgo.

Se propone complementar el nivel de inventarios con reparación y compra de válvulas que permitan reemplazar las que tengan alguna falla registrada. Para los

niveles de criticidad indicados, se crearán en SAP las rutinas específicas para que sean ejecutadas en conjunto con el operador logístico y de mantenimiento.

Para complementar el nivel de inventario se recomienda la compra de válvulas de repuesto para niveles de potencial alto y medio alto en la matriz de riesgo; para potencial medio se debe verificar la compra del repuesto por grupos mayores a 3 válvulas, para válvulas en riesgo potencial medio bajo y bajo verificar la compra o nivel de inventario de repuestos para familias superiores o iguales a 5.

Se verifica existencia de válvulas sobrantes de proyectos culminados o que no fueron ejecutados (válvulas que serán reemplazadas o retiradas a corto plazo), con las cuales se complementan los inventarios recomendados; esta verificación de activos físicos se realiza en CLEC, CPFF, pozo N, patios, sobrantes de expansión y cargo directo (como se especificaba anteriormente en el numeral 5.2.2); se consolidó la información disponible y se revisaron cruzándolo con válvulas requeridas según la estrategia. Todas las válvulas se consolidan y envían a CLEC para manejo unificado del inventario por materiales. Ver tabla 19.

Tabla 19. Revisión de inventarios

INVENTARIO DE VÁLVULAS REVISADAS EN CLEC Y LA OPERACIÓN		
TOTAL VÁLVULAS REVISADAS	VÁLVULAS SELECCIONADAS PARA MANTENER	VÁLVULAS NO REQUERIDAS
701	223	478

Según el nivel de riesgo se presentan las válvulas que se deben comprar para tener como respuestas para fácil cambio de las válvulas que fallen y que secuencialmente se deben reparar, estas últimas como complemento a las

válvulas seleccionadas en bodegas para mantener el nivel de inventario. Se incluyen algunas válvulas con riesgo bajo, que presentan algún tipo de falla y se hace necesario su remplazo. Ver Tabla 20. Válvula para compras.

Tabla 20. Válvulas para compras

NEW DATA SHEET	SIZE	RATING	SIZE CONNECTION	Risk Clasification	V/V FALLA	VAL. PARA COMPRA
BA-05	4	ANSI 300	RF	Medium		1
BA-05F	2	ANSI 300	RF	medium High	1	1
BA-05F	4	ANSI 300	RF	medium High	1	1
BA-05	2	ANSI 300	RF	Medium	1	1
BA6-004	2	ANSI 600	RF	Medium	1	1
BA-02F	3	ANSI 150	RF	Medium		1
BA-03F	10	ANSI 150	RF	Medium		1
BA4-002	3	ANSI 3030	HUB	medium High		1
BA5-007	6	ANSI 1500	RTJ	Medium		1
BA-05F	6	ANSI 300	RF	Low	1	1
GA6-004	6	ANSI 600	RF	Low		1
BA9-005	6	ANSI 900	RTJ	medium High (F/line)	1	1
GA5-006	12	ANSI 1500	RTJ	medium High (F/line)	1	1
BA5-006	4	ANSI 1500	RTJ	Low	1	1
GA-17	6	ANSI 2500	RTJ	medium High (F/line)		1

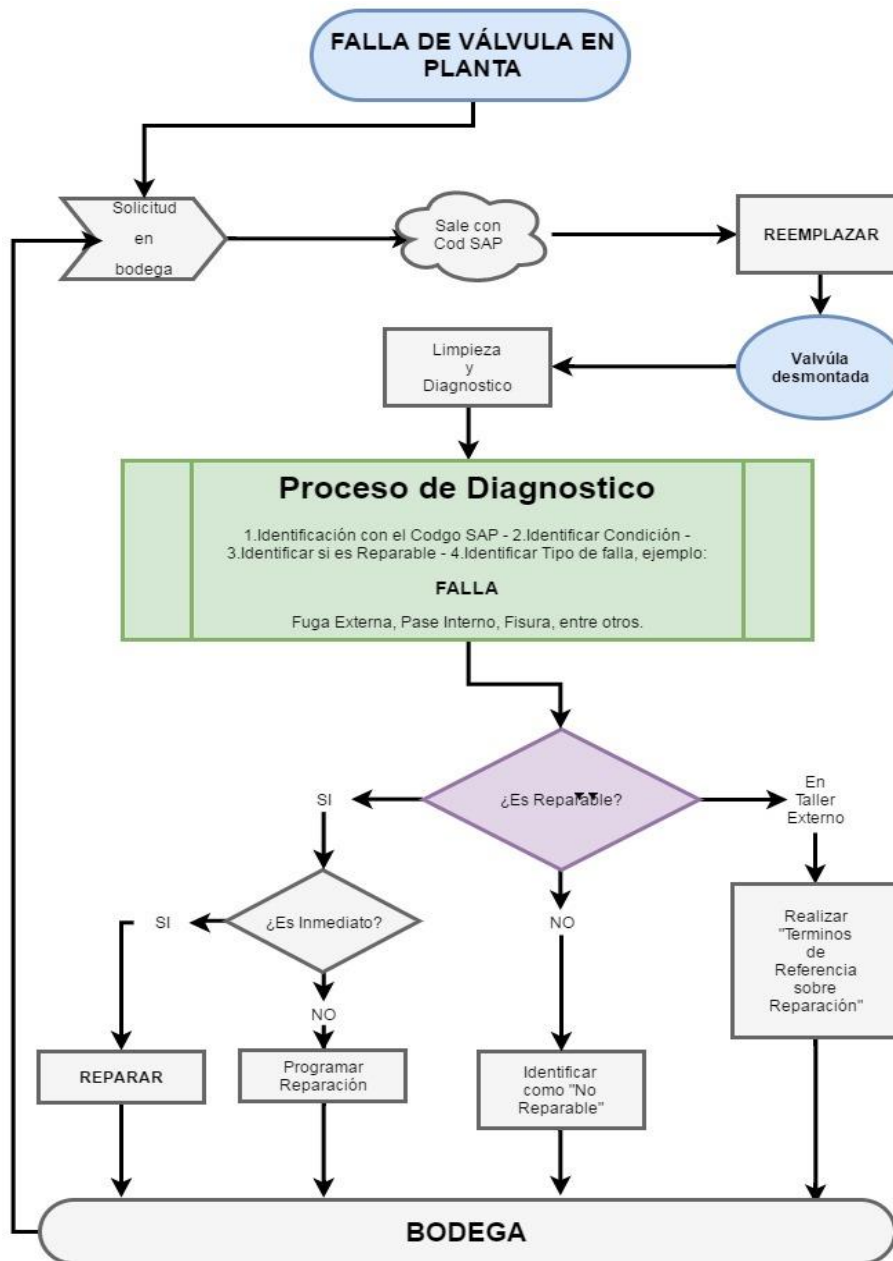
Para garantizar la disponibilidad de válvulas críticas, las válvulas en inventario que correspondan a riesgo medio y alto deberán ser certificadas anualmente y garantizada su disponibilidad, esta labor se incluye como una rutina en SAP a ser efectuada por los técnicos de válvulas.

Para realizar esta acción es necesario tener en cuenta:

- Cuando se utilice una válvula de riesgo medio o alto, debe ser reemplazada con prioridad.
- Las válvulas en inventarios deben ser preservadas anualmente y verificado su disponibilidad y estado.
- Las válvulas en inventario deben tener un plan de preservación.

Como proceso para el manejo de las válvulas críticas se tiene el siguiente flujo grama de manejo de válvulas críticas que se envían a Bodegas (figura 37).

Figura 37. Flujograma de manejo de válvulas críticas



En caso del fallo de válvulas críticas es primordial el reemplazo inmediato, la válvula que falló la cual está desmontada debe ser limpiada y diagnosticada como actividad previa al mantenimiento o reparación, de esta manera se define si la válvula es reparable o no, si se puede hacer esta reparación en sitio o debe ser en una locación exterior, tener trazabilidad y dar un excelente manejo al activo en todo momento.

5.3.6 Frecuencia de Intervención. El objetivo final del análisis, es determinar el tipo de mantenimiento y la frecuencia de intervención para las válvulas que fueron objeto del estudio, se tiene en cuenta la valoración del riesgo de acuerdo a las evaluaciones de probabilidad y de consecuencia realizada para las válvulas, según la ubicación dentro de la matriz. Se tiene que los niveles van de 1 a 10, teniendo 1 como el nivel más alto de probabilidad vs consecuencia y 10 el nivel más bajo; de acuerdo a esta clasificación se definen las prioridades y el intervalo de intervención para cada válvula. Ver figura 38. Niveles de Riesgo.

Figura 38. Niveles de Riesgo

1 y 2	Potencial Alto	5A, 6A, 6B
3 y 4	Potencial Medio Alto	3A,4A,4B,5B,6C,5C,6D
5 y 6	Potencial Medio	1A,2A,2B,3B, 3C,4C, 4D,5
7 y 8	Potencial Medio Bajo	1B,3C,2D,3D,3E, 4E,4F,5F
9 y 10	Potencial Bajo	1C,1D,1E,2E,1F,2F,3F

Se tiene periodos de 5 años para intervención general en los actuadores ubicados en los niveles 1 y 2 de riesgo, con una intervención anual de mantenimiento preventivo (lubricación), este mantenimiento también es para todas las válvula incluyendo los “Gear Box” y mínimo cada 10 años debe ser cambiada la válvula,

esta última condición de cambio de la válvula para los demás niveles, se clasifica por condición.

Figura 39. Resumen frecuencia de intervención en meses.

CLASIFICACIÓN RIESGO	ACTUADOR MANUAL (GEAR BOX)	VÁLVULA	MANTENIMIENTO PREVENTIVO
1	60	120	12
2	60	120	12
3	60	A FALLO	18
4	60	A FALLO	18
5	120	A FALLO	24
6	120	A FALLO	24
7	A FALLO	A FALLO	24
8	A FALLO	A FALLO	24
9	A FALLO	A FALLO	24
10	A FALLO	A FALLO	24

6. REALIZACIÓN DE SOFTWARE COMO PLAN DE MEJORAMIENTO Y SEGUIMIENTO

La intención de este software es progresivamente mejorar el proceso de análisis de riesgo para que se pueda realizar de manera intuitiva y rápida; ya que posee un código versátil y herramientas para manejos de bases de datos lo cual le hace fácil manejar gran cantidad de información. El código realiza el análisis de riesgo según el procedimiento de la norma API 581 con los parámetros que se ajustaron a las condiciones de las instalaciones de EQUION.

Este software hace un fácil manejo de la información que puede tratarse desde Ms Excel simplemente siguiendo unas cuantas recomendaciones; haciendo que los técnicos y trabajadores del área de mantenimiento de válvulas puedan registrar de manera intuitiva cualquier cambio o imprevisto en el proceso.

6.1 GUIA INSTALACIÓN HERRAMINETA MATRIZ RAM

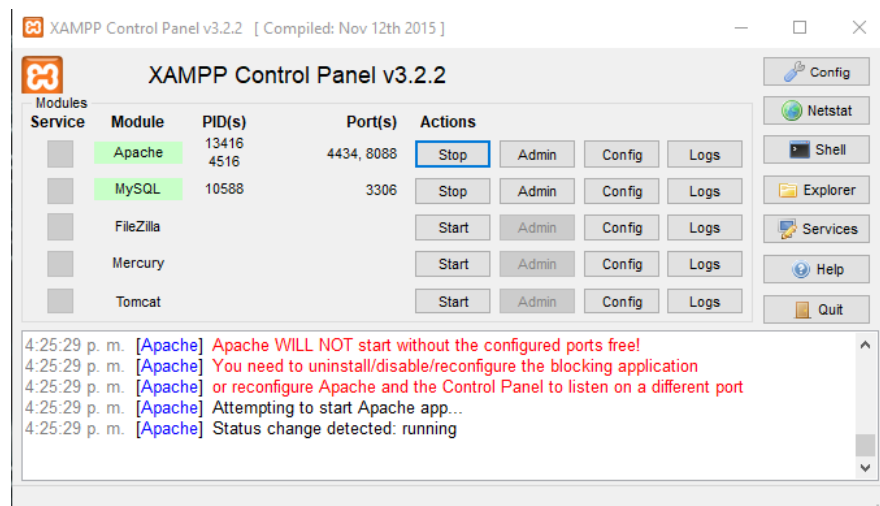
6.1.1 Instalación servidor local XAMPP (apache). Se descarga de la página oficial <https://www.apachefriends.org/es/index.html> y se ejecuta el instalador, su instalación están sencilla como seguir los pasos predeterminados por el agente de instalación del software. Ver figura 40.

6.1.2 Ejecutar servidor local XAMPP (apache). Se ejecuta el servidor XAMPP y se inicia los módulos apache y SQL, como se muestra en la figura 41. En el botón Config del módulo MySQL se busca el archivo my.ini, se abre un documento en el block de notas en se busca la línea “max_allowed_packet” y se le asigna el valor de 16 MB dejándolo de la siguiente manera: max_allowed_packet = 16M.

Figura 40. Instalador de XAMPP (apache)



Figura 41. Servidor XAMPP (apache)



6.1.3 Importar la base de datos archivo .sql. Se debe ir al phpmyadmin del localhost y crear una base de datos con el nombre: machine_mvc. Ver figura 42.

Figura 42. Ingreso al local host



Bases de datos

Crear base de datos [?](#)
machine_MVC utf8_bin

Una vez creada la base de datos, se procede a importar el archivo SQL. Se selecciona la Base de datos creada anteriormente y se busca en el menú la opción importar. Ver figura 43.

Figura 43. Ventana del Local host

Se selecciona el archivo machine_mvc.sql y se da en continuar con esto la base de datos estará lista para ser utilizada.

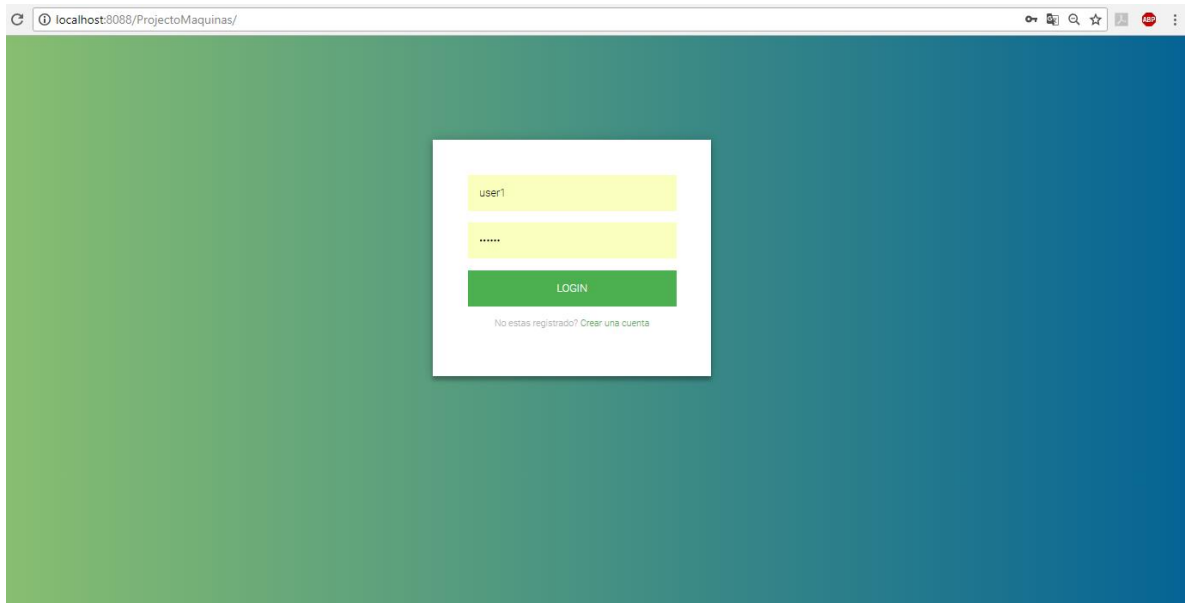
6.1.4 Copiar carpeta proyecto en el servidor local. Se copia la carpeta del proyecto llamada “ProyectoMaquinas” en la ruta C:\xampp\htdocs. Nota: es de suma importancia no cambiar el nombre de la carpeta. Ver figura 44.

Figura 44. Carpeta del proyecto

dashboard	2/02/2018 11:20 a.	Carpeta de archivos
drupal-8.4.2	2/02/2018 2:57 p. m.	Carpeta de archivos
ProyectoMaquinas	30/07/2018 9:20 a.	Carpeta de archivos
...

6.1.5 Ejecutar la herramienta desde el localhost. Por último, se abre el navegador web Chrome y se coloca localhost:80/ProyectoMaquinas (el número de puerto puede variar) obteniendo la interface inicial, a la cual se accede con los parámetros “Usuario: user1 y Contraseña 132465”. Ver figura 45.

Figura 45. Interfaz Inicial de la Herramienta



6.2 RECOMENDACIONES

El archivo .CSV que se suba al sistema debe ser guardado con el tipo CSV delimitado por comas (*.csv).

La primera fila de dicho archivo no puede ser modificada o alterada de ninguna manera, ya que pone en riesgo la integridad del sistema y su correcta ejecución.

Los valores numéricos decimales deben ser denotados con punto(.) en vez de comas (,) ya que esta última es utilizada como filtro en el procesado del archivo (.csv).

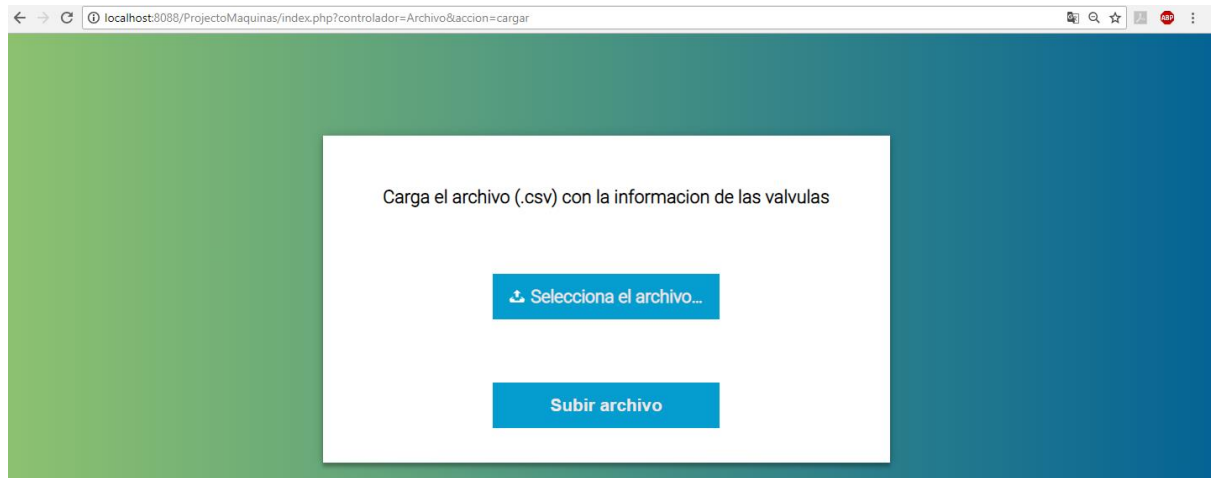
Los valores de texto de la tabla asociados a parámetros en el proceso de cálculo de la matriz RAM no deben llevar espacios de ningún tipo.

El software realizado fue desarrollado con la arquitectura MVC (modelo-vista-controlador) en el lenguaje de programación PHP con el editor de texto SublimeText, usando el motor de base de datos MySQL. Fueron utilizadas diferentes tecnologías, como la librería bootstrap utilizada en la interface gráfica de usuario, y el framework de Javascript AngularJS utilizado para mostrar la tabla de datos de las válvulas; por otra parte, se usó Javascript para implementar las animaciones utilizadas en la matriz RAM, para mostrar la cantidad de válvulas pertenecientes a cada caja.

6.3 VISTA CARGA DE ARCHIVO .CSV

Es la vista que se obtiene luego de iniciar sesión en la aplicación, en ella se puede cargar el archivo .csv con la información de las válvulas. Ver figura 46.

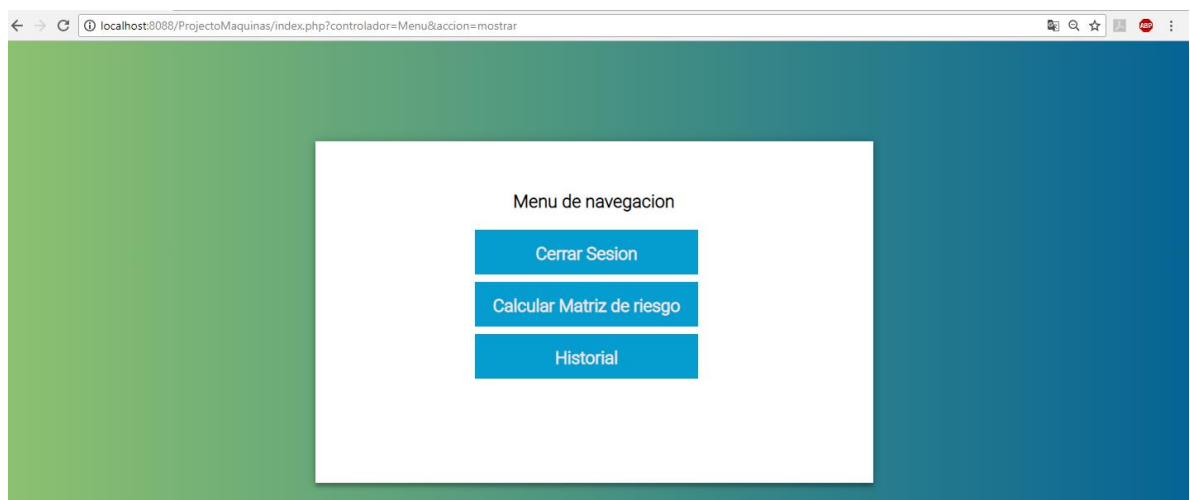
Figura 46. Carga de archivo .CSV



6.4 VISTA MENÚ NAVEGACIÓN

Es la vista que se obtiene luego de cargar los datos de las válvulas, aquí se puede navegar entre la Matriz de riesgo y el historial, además de poder cerrar sesión. Ver figura 47.

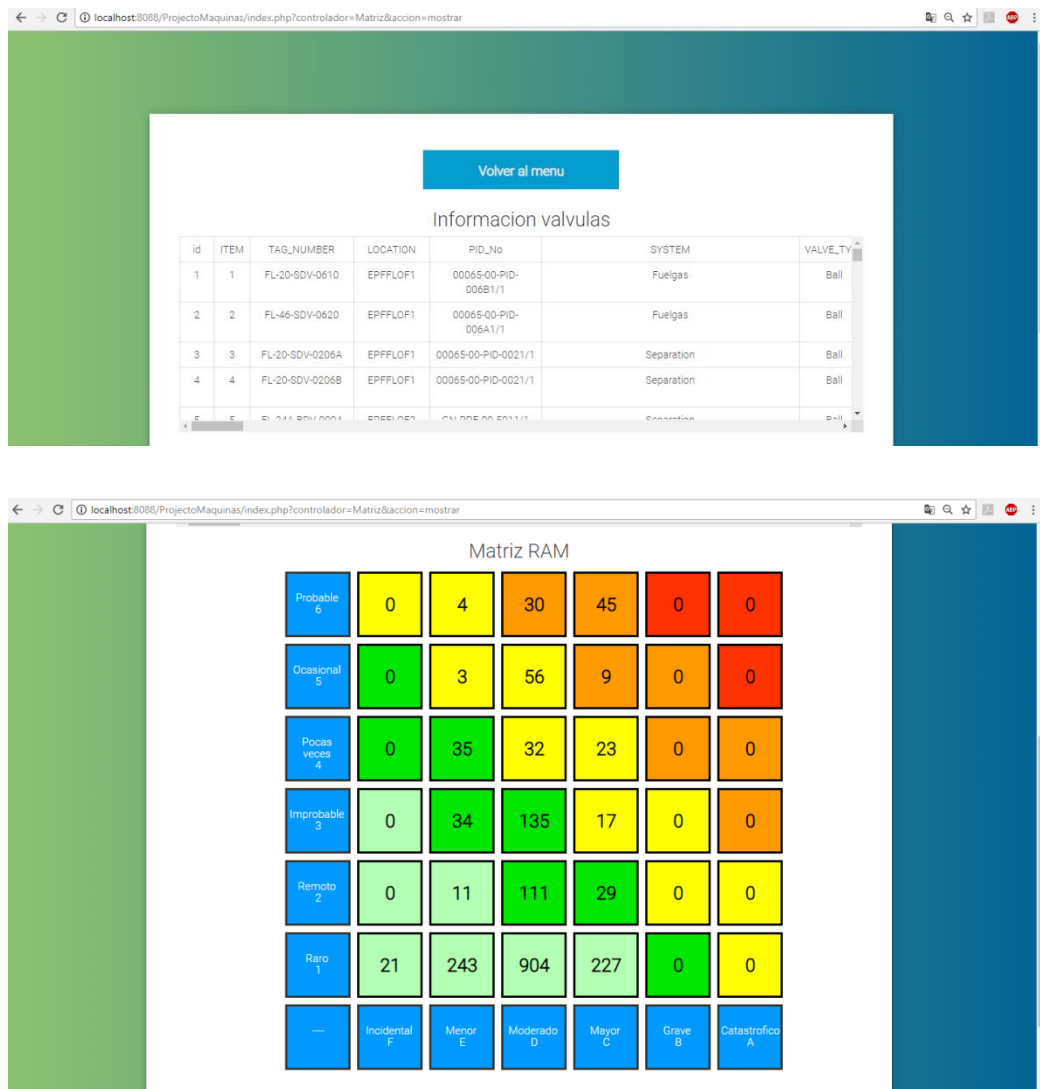
Figura 47. Menú de la herramienta



6.5 VISTA MATRIZ RAM

Es la vista que se obtiene luego de seleccionar la opción “Calcular Matriz de riesgo” en el menú de navegación, en ella se puede encontrar la tabla con la información de las válvulas previamente cargadas y el resultado del cálculo de la matriz RAM. Ver figura 48.

Figura 48. Datos cargados de las válvulas



Por último, se puede encontrar el botón “explicación de categoría de consecuencia”, el cual despliega la información para interpretar los resultados obtenidos de la matriz RAM, y la lista de válvulas pertenecientes a cada campo de la matriz, las cuales se despliegan al hacer “Click” en cada uno de los campos. Ver figura 47.

Figura 49. Listas desplegables

Explicación categoría consecuencia

-----	Incidental	Menor	Moderado	Mayor	Grave	Catastrófico
Daño de Equipos / Pérdida de Valor Negocio	Ninguna. Costos menor que 20K.	Algunos daños, pérdida de activos y/o tiempo de inactividad.	Pérdida de activos, daños a la instalación y/o tiempo de inactividad serios. Costo entre 100K y 1MM.	Pérdida de activos, daños a la instalación y/o tiempo de inactividad serios. Costos entre 1MM - 50MM.	Pérdida de activos y/o daños a la instalación serios. Tiempo de inactividad significativo, con efecto económico apreciable. Costo entre 50MM y 500MM.	Destrucción o daño total. Posibilidad de pérdida de la producción permanente. Costo > a 500 MM.
Salud y Seguridad	Ninguna. Costos menor que 20K.	Laciones o enfermedades que requieran tratamiento médico o trabajo restringido.	Laciones incapacitantes / serias/significativas o con ausencia del trabajo.	De 1 a 10 fatalidades dentro y fuera de las instalaciones, entre 10 o más lesonados que requieran tratamiento de hospitalización.	De 11 a 100 fatalidades dentro o fuera de las instalaciones.	De 101 o más fatalidades dentro o fuera de las instalaciones.
Medio Ambiente	Afectación de un área interna de las instalaciones con recuperación menor a 7días.	Afectación de un área Externa con recuperación inmediata menor a dos semanas.	Afectación de un área sensible con recuperación menor a 2 semanas >= 2 y < a 4 Semanas.	Afectación de un área sensible con recuperación en un periodo mayor a 2 semanas y <= 1 año o afectación a área no sensible con recuperación de un periodo >= 4 semanas y > a 6 meses.	Daño extensivo con afectación de un área sensible con recuperación entre 1 y 5 años.	Daño extensivo a un área ambientalmente sensible con una recuperación >5 años.
Privilegio para operar / Reputación	Quejas procedentes por parte de vecinos, quejas procedentes de proveedores o terceras partes.	Cubrimiento por medios locales, Municipales. Incumplimiento compromisos con terceras partes del ámbito local.	Cubrimiento por medios regionales a corto plazo. Incumplimiento compromisos con terceras partes del ámbito Regional.	Cubrimiento por medios regionales y nacionales de mediana duración. Afectación de las relaciones en la industria con proveedores de bienes y servicios a nivel nacional e internacional.	Pérdida de una licencia local o regional. Impacto en la reputación de los accionistas, rechazo por parte del público en general.	Afectación a la reputación a nivel internacional. Cubrimiento por medios internacionales de larga duración, rechazo por parte de los accionistas de Edición y público a nivel internacional.

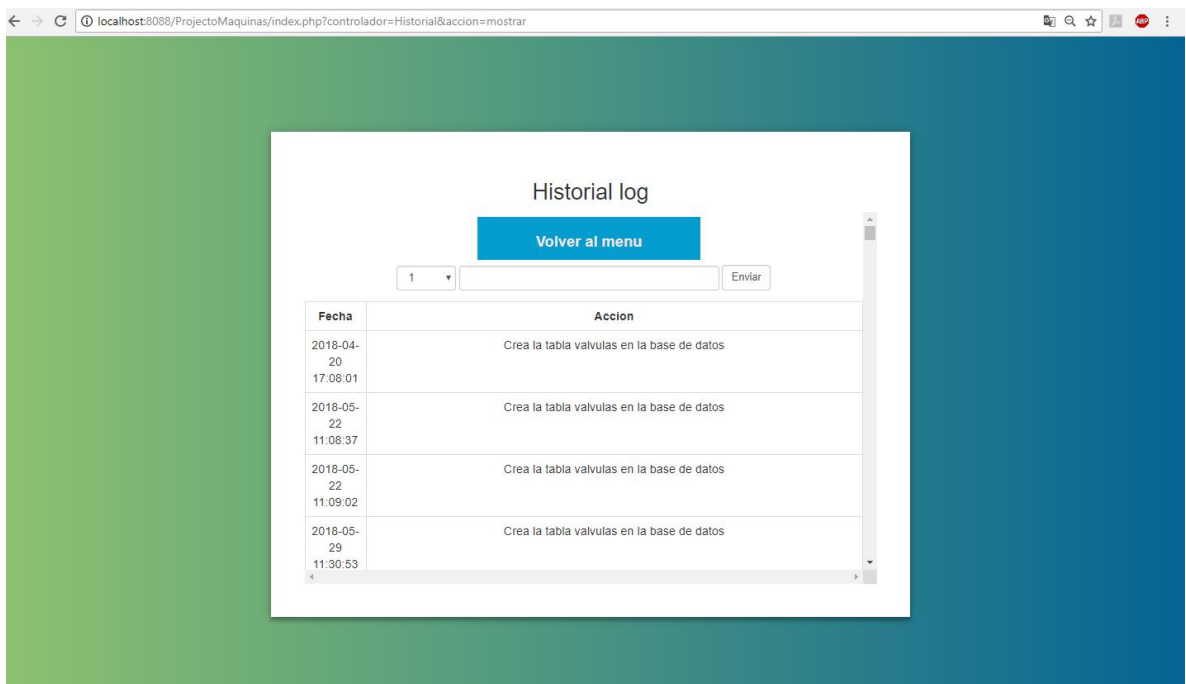
Explicación categoría consecuencia

Item	Tag Number	PID N°
15	FL-23-SDV-11008	02001-00-PID-1101/1
20	FL-20-SDV-0120	00065-00-PID-0011/1
21	FL-20-SDV-0107	00065-00-PID-0011/1
169	BAV-XXX-0208	02001-00-PID-1091/1
221	88A-220-129	GN-PRE-97-5031/1
272	BAV-XXX-0274	JUMPER
428	BAV-XXX-0085	00065-00-PID-0011/1
429	BAV-XXX-0086	00065-00-PID-0011/1
600	2BVH32	GN-PRE-00-5011/1

6.6 VISTA HISTORIAL

Es la vista que se obtiene luego de seleccionar la opción “Historial” en el menú de navegación, en esta vista podemos encontrar la tabla de acciones realizadas por el usuario con su respectiva fecha, acciones tales como carga de archivos .csv con su respectiva creación de la tabla válvulas en la base de datos y el cálculo exitoso de la matriz RAM; además se puede seleccionar el ID de una válvula y agregar un comentario a la misma según sea necesario. Ver figura 48.

Figura 50. Historial



Historial log

Volver al menu

1 [input type="text"] Enviar

Fecha	Accion
2018-04-20 17:08:01	Crea la tabla valvulas en la base de datos
2018-05-22 11:08:37	Crea la tabla valvulas en la base de datos
2018-05-22 11:09:02	Crea la tabla valvulas en la base de datos
2018-05-29 11:30:53	Crea la tabla valvulas en la base de datos

7. CONCLUSIONES

El Análisis de Criticidad como estrategia fundamental para el mantenimiento de válvulas de corte en las instalaciones de Equión Energía Limited asegura el ciclo de vida de estos activos y conlleva a complementar la base de datos que presentó la organización a Stork Technical Services para este objetivo.

El Análisis de Criticidad tiene como fin identificar el riesgo de las válvulas en servicio con el fin de generar estrategias de mantenimiento para reducir los niveles de riesgo más altos, identificar nuevas oportunidades para su servicio, y tomar las mejores decisiones en cuanto a información, tecnología, recursos humanos, impacto ambiental y finanzas.

Este Análisis de Criticidad “valora el riesgo para estandarizar la información del activo, y por ende crear un sistema que permita mantener información actualizada sobre el ciclo de vida de las válvula de corte en lo que respecta a adquisición, mantenimiento, respuesta a fallos e incidentes, confiabilidad, gestión de recursos, racionalización y mitigación de las válvulas críticas; Información que será parte de las políticas y objetivos de esta organización dedicada a la exploración y producción de hidrocarburos y gas.

El Análisis de Criticidad apoya un enfoque dinámico a nivel de mantenimiento porque lo hace razonable a corto, mediano y largo plazo, lo direcciona a la consolidación efectiva de la gestión de activos mediante la exigencia de buenas prácticas, el conocimiento de normas técnicas y códigos que apuntan a las gestiones energéticas, ambientales y de sostenibilidad.

BIBLIOGRAFÍA

AIT-KADI, D., BEN-DAYA, M., DUFFUAA, S., KNEZEVIC, J., y RAOUF, A. En: Handbook of Maintenance Management and Engineering. London: Springer. 2009. 61 p.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Inspection of Pressure Relieving Devices. Washington: API. 2008. Parte 1 il. (API RECOMMENDED PRACTICE 576)

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Risk Based Inspection Technology. Washington: API. 2008. Parte 1: il. (API RECOMMENDED PRACTICE 581)

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Specification for Pipeline Valves. USA: API. 2008. Parte 1: il. (ANSI/API SPECIFICATION 6D)

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Valves Inspection and Testing. USA: API. 2004. Parte 1: il. (API STANDARD 598)

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. Pipe flanges and flanged fittings. New York: ASME. 2004. Parte 1: il. (ASME B16.5-2003)

BALLESTEROS SANABRIA, A. Riesgo, Amenaza y Vulnerabilidad. [En línea] Epn.gov.co. Bogotá 06 de Agosto de 2018. Consultado 23 Julio 2018. Disponible en:
http://epn.gov.co/elearning/distinguidos/SEGURIDAD/13_riesgo_amenaza_y_vulnerabilidad.html.

BORGES, Jorge Luis. En: Grijalbo: Gran Diccionario Enciclopédico Ilustrado a Color. Barcelona: Grijalbo Mondadori, 1997. 1135 p. ISBN: 84-253-3171-4.

CRISTANCHO ARCINIEGAS, María Alejandra. Diseño y apoyo de gestión del riesgo basado en la NTC 5254 en construcción y rehabilitación del área técnica de "Autopistas de Santander S.A". Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Industrial. Piedecuesta: Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de ingeniería industrial. Escuela de administración e ingenierías. 2011. 25 p.

DONIZ MAGALLON, Aarón. IMPLEMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO/PREDICTIVO EN EQUIPO BIOMEDICO EN EL INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero en Mantenimiento Industrial. Tula Tepeji: Universidad Tecnológica de Tula Tapeji. 2011. 19 p.

GARCÍA GARRIDO, Santiago et al. En: Operación Y Mantenimiento De Centrales De Ciclo Combinado. Madrid: Díaz De Santos. 2008. 88 p.

GREENE, Richard W. En: VALVULAS; SELECCION, USO Y MANTENIMIENTO. Bogotá, 1995, pp. 6 y 7

GUÍA TÉCNICA COLOMBIANA. Gestión de Activos-Sistema de Gestión para la aplicación de la ISO 55001, ICONTEC, Bogotá, 2015, 40 p. (NTC ISO 55002)

HERNÁNDEZ ARANGO, Pablo. INSPECCIÓN BASADA EN RIESGO: GENERALIDADES Y UN CASO PRÁCTICO. INDISA [En línea]. <http://www.indisa.com/es/>. Medellín. 26 de Octubre de 2012, pp. 1-3. Consultado 26 Julio 2018. Disponible en: <http://www.indisa.com/indisaonline/anteriores/Indisa%20On%20line%2011-%20%20INSPECCION%20BASADA%20EN%20RIESGO%20GENERALIDADES%20Y%20UN%20CASO%20PR%C3%81CTICO.pdf>.

INSPECTIONEERING, LLC. API RP 576 - Inspection of Pressure-Relieving Devices. [En línea]. Inspectioneering.com. The Woodlands. Consultado 1 de Agosto de 2018. Disponible en: <https://inspectioneering.com/tag/api+rp+576>.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. Switzerland: ISO. p. 126-127: il. (ISO 14224:2006)

JIMÉNEZ GARCÍA, Cecilia. APLICACIÓN DE NUEVAS TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO EN UN PARQUE DE MAQUINARIA DE UN GRUPO DE CIMENTACIONES. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Industrial. Madrid. Universidad Carlos III de Madrid. Escuela Politécnica Superior. Ingeniería en Tecnologías Industriales. 2011. 29 p.

MENDEZ, Manuel Vicente. En: Tuberías a Presión en los sistemas de abastecimiento de agua. Caracas. Universidad Católica Andrés Bello, 2001, 7 p.

MOUBRAY, John. En: Reliability-Centered Maintenance. 3rd ed. Oxford: Butterworth Heinemann, 2007, p. 6 y 7.

PARRA MÁRQUEZ, Carlos y CRESPO MÁRQUEZ, Adolfo ROMERO CARRANZA. Técnicas De Ingeniería De Mantenimiento Y Fiabilidad Aplicadas En El Proceso De Gestión De Activos. [En línea]. Mantenimientomundial.com. Sevilla. Septiembre de 2012. Consultado 26 de Julio de 2018. Disponible en: <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/Metodos-basicos-de-criticidad-activos.pdf>.

PINTELON, L. y GELDERS, L. Maintenance management decision making. En: *European Journal of Operational Research*. Junio, 1992, vol.58 no 3, p. 301-317.

PUBLICLY AVAILABLE SPECIFICATION PAS 55-1:2008. Asset Management, British Standards Institution, Londres, 2008, 5 p. (PAS 55-1:2008)

RELIABILITY AND RISK MANAGEMENT©. "Metodología De Inspección Basada En Riesgo - IBR | R2M". [En línea]. Reliarisk.Com. 16 de febrero de 2017. Consultado 26 de Julio de 2018. Disponible en: <http://reliarisk.com/post/metodolog%C3%ADa-de-inspecci%C3%B3n-basada-en-riesgo-ibr>.

ROS MORENO, A. Mantenimiento Industrial. [En línea] Cartagena, 11 de marzo de 2014, 8 p. Consultado 24 de Julio de 2018. Disponible en: https://issuu.com/antonioros/docs/mantenimiento_industrial.

SEXTO, Luis Felipe. EN 16646 MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS FÍSICOS significado y trascendencia. [En línea] www.linkedin.com. Tarragona Tarragona, 30 de Marzo de 2017. Consultado 4 de Julio de 2018. Disponible en: <https://es.linkedin.com/pulse/en-16646-mantenimiento-y-gesti%C3%B3n-de-activos-f%C3%ADsicos-sexto>.

SILVA, L. y MUÑOZ, A. En: Debate sobre métodos frecuentistas vs bayesianos. Gac Sanit 2000; 14: p. 482-94.

SKOUSEN, Philip L. En: Valve Handbook. New York. Valtek International, 1997, p. 7 - 87.

SMITH, Peter. En: Valve Selection Handbook. 5th ed. New York. Knovel, 2006, p. 54 - 154.

SUEIRO, Guillermo. ¿Qué es la confiabilidad? [En línea]. <https://avdiaz.wordpress.com/>. Consultado 26 de Julio de 2018. Disponible en: <https://avdiaz.files.wordpress.com/2012/06/calidad-y-confiabilidad.pdf>

UNA NORMA ESPAÑOLA – EUROPEAN NORM. Mantenimiento en la gestión de los activos físicos, ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN, Madrid, 2015, p. 7 y 8. (UNE EN 16646:2014)

VANNESTE, S. y VAN WASSENHOVE, L. An integrated and structured approach to improve maintenance. En: *European Journal of Operational Research*. Enero, 2011, vol. 82 no 2, p. 241-257.