ASEGURAMIENTO DE INFORMACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA "S-RCM" (SHELL-RCM) EN VÁLVULAS DE ALIVIO DE PRESIÓN DE LA GRB DE ECOPETROL S.A

JULIAN EDUARDO CENTENO DIAZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2013

ASEGURAMIENTO DE INFORMACION E IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA "S-RCM" (SHELL-RCM) EN VALVULAS DE ALIVIO DE PRESION DE LA GRB DE ECOPETROL S.A

JULIAN EDUARDO CENTENO DIAZ

Trabajo de grado presentado para optar por el título de
INGENIERO MECÁNICO

Director
CARLOS BORRAS PINILLA
Ing. Mecánico, PhD

Codirector
CARLOS HERNANDO PATIÑO VILLAMIZAR
Ing. Mecánico, Msc

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2013

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	20
OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO	21
OBJETIVO GENERAL	21
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
1. MARCO TEORICO	23
1.1. RAZON DE SER	23
1.1.1. Actividad Económica.	23
1.1.2 Misión.	23
1.1.3. Visión.	23
1.2 HISTORIA	23
1.2.1 Así se forjó Ecopetrol.	23
1.2.2 Complejo Industrial De Barrancabermeja.	25
1.3 DIAGRAMA GENERAL REFINERIA DE BARRANCABERMEJA	27
1.4. ORGANIGRAMA GERENCIA GENERAL REFINERÍA DE BARRANCABERMEJA	28
1.5 DEPARTAMENTO DE MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS	29
1.5.1 Nueva Estación De Almacenamiento De GLP.	30
2. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)	31
2.2 MANTENIMIENTO Y RCM	32
2.3 RCM Y LAS SIETE PREGUNTAS BASICAS	33
2.4 PASOS PARA EL DESARROLLO DEL RCM	34
2.4.1 Definición de Funciones.	35
2.4.1.1 Descripción de las funciones.	35
2.4.1.2 Criterios de desempeño	36

2.4.1.3. Contexto operativo 37
2.4.1.4. Diferentes tipos de funciones. 39
2.4.2 Fallas Funcionales. 40
2.4.2.1 Visión de las Fallas Funcionales 41
2.4.3 Análisis de efectos y tipos de falla (FMEA: Failure Modes and Effects análisis). 42
2.4.3.1 Modos de Falla. 42
2.4.3.2 Efectos de las Fallas 47
2.4.3.3 Fuentes de información sobre modos y efectos de falla. 47
2.4.4 Consecuencias de las Fallas 48
2.4.5 Análisis de Riesgo 51
2.4.6 Proceso de Selección de Tareas. 51
2.5 LOGROS DEL RCM. 55
2.5.1 Mayor integridad Medioambiental y de Seguridad. 56
2.5.2 Mayor confiabilidad y disponibilidad de la planta. 56
2.5.3 Calidad el producto mejorada 57
2.5.4 Mayor eficiencia del mantenimiento. 57
2.5.5. Vida útil más extensa para los Ítems costosos 58
2.5.6. Mayor motivación para el personal. 58
2.5.7 Mejor trabajo en equipo. 59
2.5.8 Una base de datos de mantenimiento. 59

3. LA HERRAMIENTA S-RCM DEL RRM 60
3.1 GESTIÓN DE RIESGO Y CONFIABILIDAD (RRM) 60
3.1.1 Descripción general. 61
3.1.1.1 Manejo de información 62
3.1.1.2 Criticidad evaluación. 62
3.1.1.3 Planificación y selección de tareas. 63
3.1.1.4 Ejecución de tareas. 63
3.1.1.5 Revisión / actualización. 63

3.2. SHELL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (S-RCM) 63
3.2.1 Visión general del proceso S-RCM. 64
3.2.2 Diagrama descriptivo de los pasos para el desarrollo del S-RCM. 66

4. DESCRIPCION DE LOS PASOS DE LA METODOLOGIA S-RCM EN LAS VÁLVULAS DE ALIVIO DE PRESION DE LA NUEVA ESTACION DE GLP DE ECOPETROL S.A 67
4.1 FASES PREPARATORIAS 67
4.1.1 Selección de la unidad y objeto de estudio. 67
4.1.2 Creación del grupo Interdisciplinar. 69
4.1.2.1 Facilitador. 70
4.1.2.2 Supervisor de Operaciones. 70
4.1.2.3 Especialista de confiabilidad. 70
4.1.2.4 Especialista de Planeación. 71
4.1.2.5 Especialista de Mantenimiento. 71
4.1.3 Recopilación de información. Quizás 71
4.1.3.1 Información básica de las válvulas de alivio de presión estudiadas 71
4.1.3.2 Válvulas de alivio de presión 72
4.1.3.3. Funcionamiento. 72
4.1.3.4 Clasificación 73
4.1.3.5 Válvulas de seguridad. 73
4.1.3.6 Válvulas de alivio. 74
4.1.3.7. Válvulas de seguridad y alivio. 75
4.1.3.8. Válvulas de alivio de presión pilotadas. 76
4.1.3.9. Terminología asociada a las válvulas de alivio de presión. 77
4.1.4. Información recopilada. 78
4.1.4.1 Instructivo para el uso de la herramienta S-RCM 78
4.1.4.2. Información a recopilar de los equipos en análisis. 79
4.1.4.3 Información de P&ID. 80
4.1.4.4 Información de ELLIPSE. 81

4.1.4.5 Información de CAMPO. 81
4.1.5. Ventajas de la recopilación de información. 85
4.1.5.1 Actualización de la caracterización de las válvulas de alivio de presión del Departamento de Materias Primas y Productos. 85
4.1.5.2 Reporte de estado de las válvulas de alivio de presión del Departamento de Materias Primas y Productos 89
4.1.5.3. Formatos de inspección para las válvulas de alivio de presión del Departamento De Materias Primas y Productos identificadas en campo. 92
4.2 IDENTIFICACION DE FUNCIONES Y FALLAS FUNCIONALES. 97
4.3 DETERMINACION DE LOS MODOS DE FALLA. 99
4.3.1 Patrones de falla 101
4.3.2 Categoría de la consecuencia de falla. 103
4.4 ANALISIS DE LOS EFECTOS DE FALLA 104
4.5 EVALUACION DE CRITICIDAD 105
4.5.1 Matriz de criticidad del RRM (RAM). 107
4.5.2 Categorías y niveles de evaluación de consecuencias. 108
4.5.3 Evaluación de Consecuencias Económicas. 110
4.5.3.1 Evaluación Económica Directa. 111
4.5.3.2 Cuestionario Económico Simple. 111
4.5.3.3 Cuestionario Economico Detallado 112
4.5.4 Evaluación de Consecuencias de Salud y Seguridad. 115
4.5.4.1 Evaluación de Consecuencias de Salud y Seguridad directa. 116
4.5.4.2 Cuestionario de salud y seguridad simple. 116
4.5.4.3 Cuestionario detallado de salud y seguridad. 117
4.5.5 Evaluación de Consecuencias de Medio Ambiente. 118
4.5.5.1 Evaluación de Consecuencias de Medio Ambiente directa 118
4.5.5.2 Cuestionario Simple de Medio Ambiente 119
4.5.5.3 Cuestionario Detallado de Medio Ambiente. 120
4.5.6 Resultados del análisis De consecuencias 121
4.6. ANALISIS DE FALLA FUNCIONAL 121

4.7. PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE TAREAS. 122
4.7.1 Tareas de mantenimiento de válvulas de seguridad. 123
4.7.1.1 Principales tareas de mantenimiento aplicadas actualmente y precauciones. 124
4.7.1.2 Tareas de mantenimiento para aplicar en el plan. 135
4.7.2 Ingreso de tareas 135
4.7.3 Responsables de las tareas 136
4.7.4 Tareas por equipos. 137
4.7.5 Selección de tareas 137
4.8 ANALISIS COSTO EFECTIVO. 138
4.9 EJECUCION Y RETROALIMENTACIÓN 141

CONCLUSIONES 143

BIBLIOGRAFIA 147

ANEXOS 149

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Complejo Refinería de Barrancabermeja	25
Figura 2. Diagrama general de la refinería de Barrancabermeja	27
Figura 3. Organigrama gerencia general refinería de Barrancabermeja de ECOPETROL S.A	28
Figura 4. Departamento de Materias Primas y Productos	29
Figura 5. Nueva Estación de GLP	30
Figura 6. Diagrama de flujo del proceso de RCM	34
Figura 7. Bomba de transporta de agua del tanque X al tanque Y	35
Figura 8. Deterioro	36
Figura 9. Diferentes visiones de una falla	41
Figura 10. Primera categoría de los modos de falla	44
Figura 11. Segunda categoría de los modos de falla	45
Figura 12. Tercera categoría de modos de falla	47
Figura 13. Evaluación de consecuencias de falla	50
Figura 14. Tradicional visión de las fallas	52
Figura 15. Patrones de falla	52
Figura 16. Expectativas del mantenimiento	55
Figura 17. Gestión del riesgo y confiabilidad	60
Figura 18. Descripción General RRM	62
Figura 19. Análisis de Falla Funcional.	64
Figura 20. Visión general del proceso S-RCM	65
Figura 21. Diagrama descriptivo de los pasos para el desarrollo del S-RCM	66
Figura 22. Válvulas de alivio de presión de la Nueva Estación de GLP	68
Figura 23. Parámetros de entrada del software S-RCM	68
Figura 24. Grupo de trabajo S-RCM.	70
Figura 25. Corte seccional de una válvula de alivio de presión	72
Figura 26. Válvula de Seguridad	74

Figura 27.Valvula de alivio FARRIS Series 1890/1896M 75
Figura 28. Válvula de seguridad y alivio 76
Figura 29. Válvula de alivio de presión operada por piloto 77
Figura 30. Instructivo para el uso de la herramienta S-RCM 79
Figura 31. Válvula de alivio de presión en P&ID 80
Figura 32.Resultados finales de los tres inventarios para cada una de las estaciones 83
Figura 33. Registro de válvulas bajo análisis en el software S-RCM 84
Figura 34.Macro en Excel para cargar información de activos al sistema de S-RCM 85
Figura 35.Información caracterizada en ELLIPSE. 88
Figura 36. Macro para cargar los de caracterización de equipos del sistema ELLIPSE 88
Figura 37. Línea de tiempo de la válvula V1D3164 89
Figura 38.OT's generadas para la válvula V1PROV3A 91
Figura 39.Estado y porcentaje de ejecución de la OT 91
Figura 40.Verificación y reporte de estados según la OT en la macro 92
Figura 41. Formatos de inspección completo 93
Figura 42.Información de P&ID del formato de inspección 94
Figura 43. Información según ELLIPSE y reportes de mantenimiento del formato de inspección 95
Figura 44.Información de campo del formato de inspección 96
Figura 45. Información de reporte de estados y resultados finales del formato de inspección 97
Figura 46.Ejemplo de funcionamiento de una válvula de seguridad 98
Figura 47. Funcionamiento de válvula de alivio de presión 99
Figura 48. Recursos de Análisis de Falla Funcional en el software S-RCM. 101
Figura 49. Curvas de probabilidad condicional de falla. 102
Figura 50. Categoría de consecuencias de falla en el software S-RCM 103
Figura 51. Efectos de falla en el software S-RCM. 105

Figura 52. Evaluación de criticidad en el software S-RCM 106
Figura 53. Matriz de criticidad del RRM 108
Figura 54.Tiempo estimado entre fallas en el software S-RCM. 109
Figura 55. Niveles de evaluación de consecuencias en el software S-RCM. 109
Figura 56. Evaluación directa de Consecuencias Económicas en el software S-RCM. 111
Figura 57. Cuestionario simple para evaluación de consecuencias Económicas en el software S-RCM 112
Figura 59. Cuestionario detallado para la evaluación de consecuencias Económicas en el software S-RCM 113
Figura 60. Ecuación de Pérdidas (PLE) 114
Figura 61. Evaluación directa de Consecuencias de Salud y Seguridad en el software S-RCM. 116
Figura 62.Cuestionario simple para la evaluación de consecuencias de Salud y Seguridad en el software S-RCM. 117
Figura 63.Cuestionario detallado para la evaluación de consecuencias de Salud y Seguridad en el software S-RCM 118
Figura 64. Evaluación directa de Consecuencias de Medio Ambiente en el software S-RCM. 119
Figura 65.Cuestionario simple para la evaluación de consecuencias de Medio Ambiente en el software S-RCM. 119
Figura 66. Cuestionario detallado para la evaluación de consecuencias de Medio Ambiente en el software S-RCM 120
Figura 67. Resultados del análisis de consecuencias en el software S-RCM 121
Figura 68. Análisis de Falla Funcional en el software S-RCM 122
Figura 69. Lógica para selección de tareas de mantenimiento 123
Figura 70. Diagrama de flujo para el mantenimiento de las válvulas de alivio de presión de ECOPETROL S.A 124
Figura 71. Instalación de válvula de alivio en banco de prueba #1 (prueba preliminar) 125

Figura 72. Partes Válvula de alivio de presión 126
Figura 73. Retiro de caperuza y sistema de disparo manual 127
Figura 74. Altura del tornillo tensor 127
Figura 75. Desarme válvula de alivio de presión. 128
Figura 76. Resorte roto por corrosión 129
Figura 77. Disco y boquilla con deformaciones por corrosión 129
Figura 78. Técnica de lapeado de disco y boquilla y piedra para lapeado 130
Figura 79.Vástago o Spindle. 131
Figura 80. Fuelle 131
Figura 81. Detalle tubo eductor 132
Figura 82. Ajuste de anillos 133
Figura 83.Tornillo tensor 133
Figura 84. Fugas en el bonete o caperuza 134
Figura 85. Sello de seguridad 134
Figura 86. Ingreso de tareas en el software S-RCM 136
Figura 87. Responsables de tareas en el software S-RCM. 136
Figura 88. Asignación de tareas por equipos en el software S-RCM. 137
Figura 89. Selección de tareas en el software S-RCM 138
Figura 90. Cuestionario para determinar los diferentes elementos de costo en el software S-RCM. 139
Figura 91. Balance costo-efectivo 141
Figura 92. Retroalimentación en el S-RCM. 142

LISTA DE TABLAS.

	Pág.
Tabla 1.Resultados de válvulas registradas en P&ID	81
Tabla 2.Resultados de válvulas registradas en Ellipse	81
Tabla 3.Resultados de válvulas halladas en campo	82
Tabla 4. Análisis de resultados obtenidos en inventarios de P&ID, Ellipse y campo.	86
Tabla 5. Resultados del análisis de los inventarios de P&ID, Ellipse y campo.	87
Tabla 6. Consolidado modos de falla API 581 Y API 689	100

LISTA DE ANEXOS.

Pág.

Anexo A. Carta de aprobación de la Coordinación de Inspección e Integridad de Equipos de la refinería de Barrancabermeja de ECOPETROL S.A al proyecto realizado en el Departamento de Materias Primas y Productos. 149

Anexo B. Reportes finales de la implementación de S-RCM en las válvulas de alivio de presión. 151

RESUMEN

TITULO: **ASEGURAMIENTO DE INFORMACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA "S-RCM" (SHELL-RCM) EN VÁLVULAS DE ALIVIO DE PRESIÓN DE LA GRB DE ECOPETROL S.A**[*]

AUTOR: JULIAN EDUARDO CENTENO DIAZ[**]

PALABRAS CLAVES: Confiabilidad, mantenimiento, disponibilidad, costo-efectividad, válvula, RCM

DESCRIPCION

Este proyecto parte de la necesidad de garantizar disponibilidad y confiabilidad en las válvulas de alivio de presión empleadas en la Nueva Estación de almacenamiento de GLP de la refinería de Barrancabermeja de ECOPETROL S.A, como un gran aporte a las estrategias misionales que se crearon en este empresa, enfocadas hacia la sostenibilidad, creando condiciones para que la operación de Ecopetrol, se convierta en un ejemplo de responsabilidad que asegure la vida de sus empleados directos y contratistas y la sostenibilidad del medio ambiente durante la actividad petrolera.

La estrategia empleada para proporcionar disponibilidad, confiabilidad, seguridad industrial, optimización de tiempos y recursos, entre otros factores importantes para contribuir con el gran objetivo de esta compañía petrolera, fue el S-RCM (SHELL-Mantenimiento centrado en confiabilidad), un software con una adaptación del tradicional RCM por parte de una de las industrias multinacionales más importante como la SHELL GLOBAL, adquirida por ECOPETROL S.A.

El desarrollo de esta estrategia de mantenimiento parte en un reconocimiento de la planta y del Departamento de Materias Primas y Productos del cual esta planta hace parte, que trajo a su vez la oportunidad de asegurar la información encontrada en distintas fuentes de información de cada válvula de todo el Departamento en mención, para que posteriormente se diera continuidad con el desarrollo de cada una de las siete preguntas básicas que busca responder esta estrategia de mantenimiento para suministrar como resultado final un balance entre las técnicas preventivas y predictivas con el fin de eliminar la raíz de los problemas, para permitir de esta manera alcanzar una capacidad máxima de producción con un costo de mantenimiento mínimo que se vea reflejado en mayores ganancias para la compañía.

---

[*]Proyecto de grado

[**] Facultad de ingeniería Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Carlos Borras Pinilla. Ing. mecánico, PhD. Codirector: Carlos Hernando Patiño Villamizar. . Ing. Mecánico. Msc.

ABSTRACT

TITLE: INFORMATION ASSURANCE AND IMPLEMENTATION OF THE METHOD "S-RCM" (Shell-RCM) IN RELIEF VALVE PRESSURE OF ECOPETROL S.A GRB*

AUTHOR: JULIAN EDUARDO CENTENO DIAZ**

KEY TERMS: Reliability, maintenance, availability, cost-effectiveness, valve, RCM

DESCRIPTION

The project originates from the need to ensure availability and reliability in pressure relief valves used in the New Station GLP storage Barrancabermeja refinery of ECOPETROL SA, as a major contribution to mission strategies that were created in this company, geared towards sustainability, creating conditions for the operation of ECOPETROL, to become an example of responsibility to ensure the life of its direct employees and contractors and environmental sustainability for the oil industry.

The strategy used to provide availability, reliability, industrial safety, optimization of time and resources, among other important factors to contribute to the main objective of this oil company, was the S-RCM (SHELL-Reliability Centered Maintenance) software with an adaptation of the traditional RCM by one of the most important multinational industries like SHELL GLOBAL acquired by ECOPETROL S.A.

The development of this maintenance strategy part a knowledge of the plant and the Department of Raw Materials and Products of which this plant is a part, which in turn brought the opportunity to secure the information found in various sources of information for each valve throughout the Department in question, to give continuity with later development of each of the seven basic questions that seeks to answer this maintenance strategy to deliver the end result, namely, a balance between preventive and predictive techniques in order to eliminate the root problems, to in this way reaching maximum production capacity with minimum maintenance cost is reflected in higher profits for the company.

---

* Degree Work

**Faculty of Physics and Mechanics Engineering, School of Mechanical Engineering. Director: Carlos Borras Pinilla. Ing. mecánico, PhD. Codirector: Carlos Hernando Patiño Villamizar. . Ing. Mecánico. Msc

GLOSARIO

GLP: Gas licuado del petróleo. Es la mezcla de gases licuados presentes en el gas natural o disueltos en el petróleo. En la práctica, se puede decir que los GLP son una mezcla de propano y butano.

GRB: Gerencia Refinería de Barrancabermeja. Siglas empleadas para referirse al complejo industrial de ECOPETROL S.A de Barrancabermeja, exactamente a la refinería.

ELLIPSE: es la herramienta corporativa utilizada por las áreas de mantenimiento de ECOPETROL S.A, para soportar en general los procesos de mantenimiento, y en particular para asegurar la adecuada planeación, programación, ejecución y control de actividades, optimizar la gestión de inventarios de repuestos y atender los requerimientos de las áreas operativas

P&ID: Piping and instrumentation diagram. (Diagrama de tubería e instrumentación). Es un diagrama que muestra el flujo del proceso en las tuberías, los equipos instalados, el instrumental de control y la interconexión de estos dispositivos por medio de símbolos para un proceso específico.

API: American Petroleum Institute. (Instituto Americano del Petróleo). Es la principal asociación comercial de los EE. UU que representa cerca de 400 corporaciones implicadas en la producción, el refinamiento, la distribución, y muchos otros aspectos de la industria del petróleo y del gas natural, en campos como la negociación, defensa, investigación y certificación de estándares en este tipo de industria.

OT: Orden de trabajo. Una orden de trabajo es la conjunción de todas las informaciones necesarias como repuestos, personas a cargo, costos, programación, etc., para realizar un trabajo de mantenimiento determinado

SHELL GLOBAL: Empresa multinacional de hidrocarburos anglo-neerlandesa que tiene intereses en los sectores petrolífero, del gas natural así como del refinado de gasolinas, considerada como una de las más importantes del mundo en este tipo de industrias.

RCM: Reliability Centred Maintenance. Es una metodología que se basa en la confiabilidad para determinar costo-efectivamente y con una programación adecuada, las tareas de mantenimiento que permitan mitigar, prevenir o eliminar las fallas funcionales de un activo físico.

S-RCM: Shell Reliability Centred Maintenance. Metodología adaptada por la empresa SHELL del tradicional RCM la industria del gas y petróleo.

RRM: Reliability and Risk Management. (Gestión del Riesgo y Confiabilidad)
HSE: Health (salud), Safety (seguridad), Enviroment (medio ambiente).

INTRODUCCION

En el proceso de mejoramiento continuo a nivel empresarial en aspectos tan importantes para una organización como el crecimiento, la sostenibilidad y responsabilidad social, surge la necesidad de crear varias estrategias misionales que apoyen dicho proceso, las cuales involucran el mantenimiento de los equipos para garantizar el cumplimiento de las metas y objetivos que se han propuesto en la organización.

Por esto es necesario que toda máquina o activo presente en cualquier proceso de producción de una compañía, contribuya con el desarrollo normal y eficiente de éstos, de modo que se obtenga una operación sin interrupciones o paradas, evitando innumerables pérdidas económicas, de credibilidad y hasta humanas en algunos casos, lo cual es indeseable para cualquier empresa competitiva que este en busca de un crecimiento integral.

Por lo anterior, se hace imperativo contribuir con el mantenimiento en este crecimiento empresarial, suministrando factores tan importantes como la confiabilidad, estabilidad, reducción de costos, seguridad industrial, buenas prácticas en administración de equipos, optimización de tiempo y recursos, entre otros, que son necesarios y posibles gracias a la aplicación de una estrategia de mantenimiento basada en confiabilidad como el RCM, que busca cambiar la forma tradicional de aplicar mantenimiento proporcionando un control adecuado que garantice la disponibilidad funcional del activo bajo estudio en esta estrategia y por lo tanto de la línea o sistema de la cual hace parte dentro de la organización.

OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

OBJETIVO GENERAL

Contribuir con el objetivo misional de la Universidad Industrial de Santander de formar profesionales íntegros con alta competencias, capacidades de investigación y manejo de las nuevas herramientas para la gestión de activos, aportando las habilidades adquiridas a la industria por medio de un aseguramiento de información y un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), para las válvulas de alivio de presión del Departamento de Materias Primas y Productos de la refinería de Barrancabermeja (GRB) de ECOPETROL S.A

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Realizar el inventario de las válvulas de alivio de presión del Departamento De Materias Primas según información obtenida en campo y en los diagramas de proceso P&ID.
- ✓ Actualizar la caracterización y el estado de las válvulas de alivio de presión del Departamento en el sistema de información Ellipse.
- ✓ Crear formatos de inspección para cada válvula de alivio de presión del Departamento De Materias Primas y Productos identificada en campo.
- ✓ Elaborar un instructivo para el uso de la herramienta S-RCM, que adquirió Ecopetrol S.A, para el desarrollo de un mantenimiento confiable que no se ha aplicado aún en el Departamento de Inspección e Integridad de Equipos de la GRB.
- ✓ Implementar el plan de mantenimiento centrado en confiabilidad en las válvulas de seguridad y alivio de presión de la Nueva Estación De GLP del

Departamento de Materias Primas y Productos, mediante la información suministrada por un grupo interdisciplinar creado para este fin en la empresa.

1. MARCO TEORICO

1.1. RAZON DE SER

1.1.1. Actividad Económica. Ecopetrol S.A. es la empresa más grande del país y la principal compañía petrolera en Colombia encargada de la exploración, producción, transporte, refinación y suministro de hidrocarburos.

1.1.2 Misión. ECOPETROL S.A. tiene como misión descubrir y convertir fuentes de energía en valor para sus clientes y accionistas, asegurando el cuidado del medio ambiente, la seguridad de los procesos e integridad de las personas, contribuyendo al bienestar de las áreas donde operan, con personal comprometido que busca la excelencia, su desarrollo integral y la construcción de relaciones de largo plazo con los grupos de interés.

1.1.3. Visión. ECOPETROL S.A. tiene como visión ser un grupo global de energía y petroquímica, con énfasis en petróleo, gas y combustibles alternativos; reconocido por ser competitivo, con talento humano de clase mundial y socialmente responsable.

1.2 HISTORIA

1.2.1 Así se forjó Ecopetrol. La reversión al Estado Colombiano de la Concesión De Mares, el 25 de agosto de 1951, dio origen a la Empresa Colombiana de Petróleos, que había sido creada en 1948 mediante la Ley 165 de ese año.

La naciente empresa asumió los activos revertidos de la Tropical Oíl Company que en 1921 inició la actividad petrolera en Colombia con la puesta en producción del Campo La Cira-Infantas en el Valle Medio del Río Magdalena, localizado a unos 300 kilómetros al nororiente de Bogotá.

Ecopetrol emprendió actividades en la cadena del petróleo como una Empresa Industrial y Comercial del Estado, encargada de administrar el recurso hidrocarburífero de la nación, y creció en la medida en que otras concesiones revirtieron e incorporó su operación.

En 1961 asumió el manejo directo de la refinería de Barrancabermeja. Trece años después compró la Refinería de Cartagena, construida por Intercol en 1956.

En 1970 adoptó su primer estatuto orgánico que ratificó su naturaleza de empresa industrial y comercial del Estado, vinculada al Ministerio de Minas y Energía, cuya vigilancia fiscal es ejercida por la Contraloría General de la República.

La empresa funciona como sociedad de naturaleza mercantil, dedicada al ejercicio de las actividades propias de la industria y el comercio del petróleo y sus afines, conforme a las reglas del derecho privado y a las normas contenidas en sus estatutos, salvo excepciones consagradas en la ley (Decreto 1209 de 1994).

Con la expedición del Decreto 1760 del 26 de Junio de 2003 modificó la estructura orgánica de la Empresa Colombiana de Petróleos y la convirtió en Ecopetrol S.A., una sociedad pública por acciones, ciento por ciento estatal, vinculada al Ministerio de Minas y Energía y regida por sus estatutos protocolizados en la Escritura Pública número 2931 del 7 de julio de 2003, otorgada en la Notaría Segunda del Circuito Notarial de Bogotá. D.C.

1.2.2 Complejo Industrial De Barrancabermeja. El Complejo Industrial de Barrancabermeja está localizado en la ciudad del mismo nombre, en la región central de Colombia, a orillas del río Magdalena, la principal arteria fluvial del país. Ubicado en una región histórica, por ser uno de los primeras zonas en las que se inició la explotación petrolera a principios del siglo XX, inició las operaciones de refinación con unos alambiques traídos en 1922 desde Talara en el Perú

Figura 1. Complejo Refinería de Barrancabermeja

Fuente:http://www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=46&conID=37668&pagID=134631

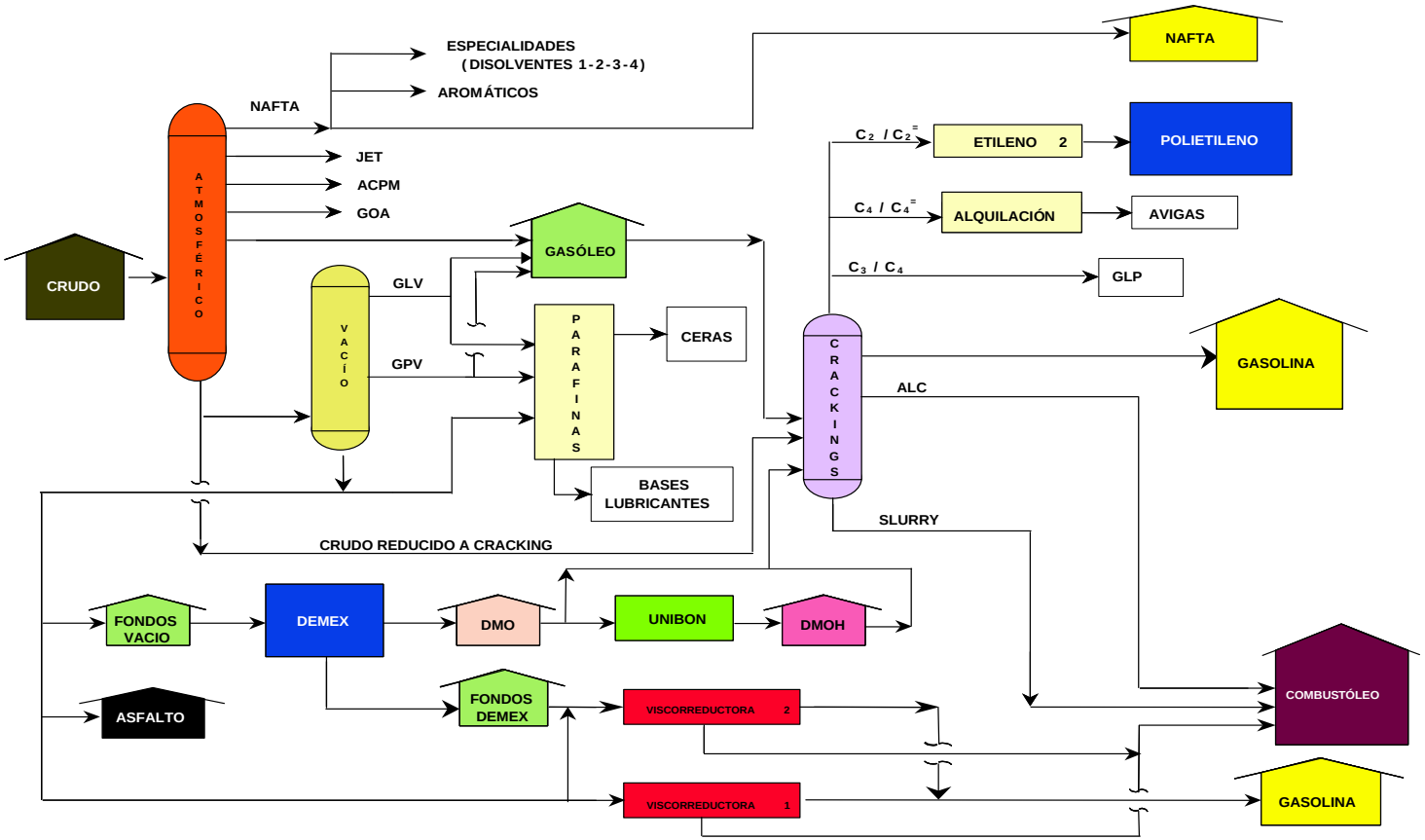
A partir de una capacidad instalada inicial de 1.500 barriles por día se inició la construcción de esta inmensa infraestructura conocida hoy como la Gerencia Complejo Barrancabermeja de Ecopetrol.

El Complejo se extiende en un área de 254 hectáreas, en las que se distribuyen más de cincuenta modernas plantas y unidades de proceso, tratamiento, servicios y control ambiental. La Gerencia Complejo Barrancabermeja tiene la

responsabilidad de generar el 75 por ciento de la gasolina, combustóleo, ACPM y demás combustibles que el país requiere, así como el 70 por ciento de los productos petroquímicos que circulan en el mercado nacional.

1.3 DIAGRAMA GENERAL REFINERIA DE BARRANCABERMEJA

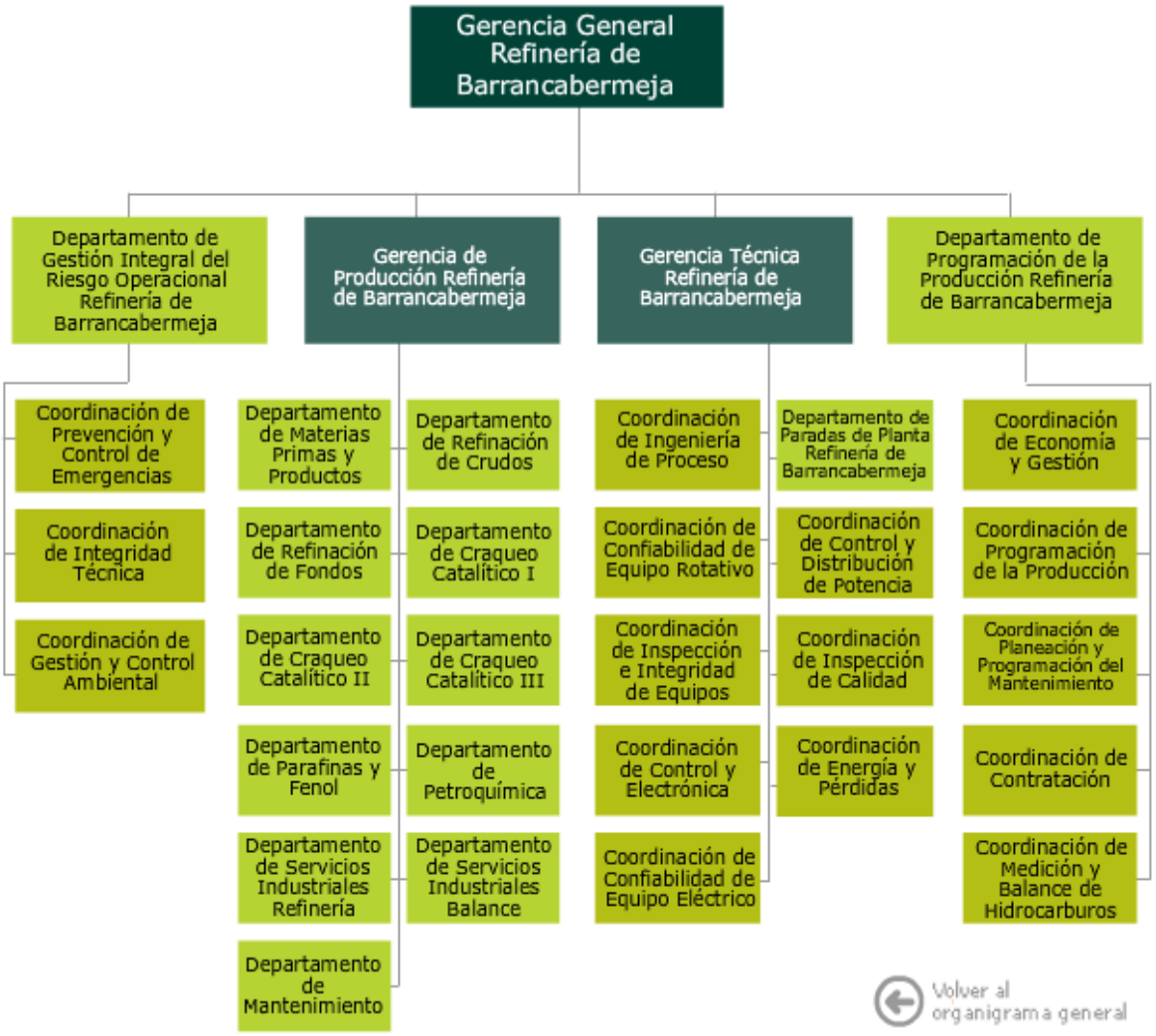
Figura 2. Diagrama general de la refinería de Barrancabermeja



Fuente: Intranet de ECOPETROL S.A

1.4. ORGANIGRAMA GERENCIA GENERAL REFINERÍA DE BARRANCABERMEJA

Figura 3. Organigrama gerencia general refinería de Barrancabermeja de ECOPETROL S.A



Fuente: Intranet de ECOPETROL S.A

1.5 DEPARTAMENTO DE MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS

El Departamento de Elementos Externos, como se llamó inicialmente, tiene sus orígenes paralelamente con los primeros días de la refinería. La necesidad de almacenamiento de materias primas para cargar las unidades de refinación y posteriormente la entrega de productos terminados, requirieron la creación de las diferentes Casa bombas con sus respectivos tanques, equipos de bombeo y demás logística para recibo y entrega.

Hoy en día este departamento recibe el nombre de Materias Primas y se encarga principalmente del almacenamiento Materias Primas y Productos Intermedios, del almacenamiento de productos terminados, del recibo y despacho de materias primas y productos y además está encargado de las mezclas de gasolinas y combustóleos producidos en la refinería.

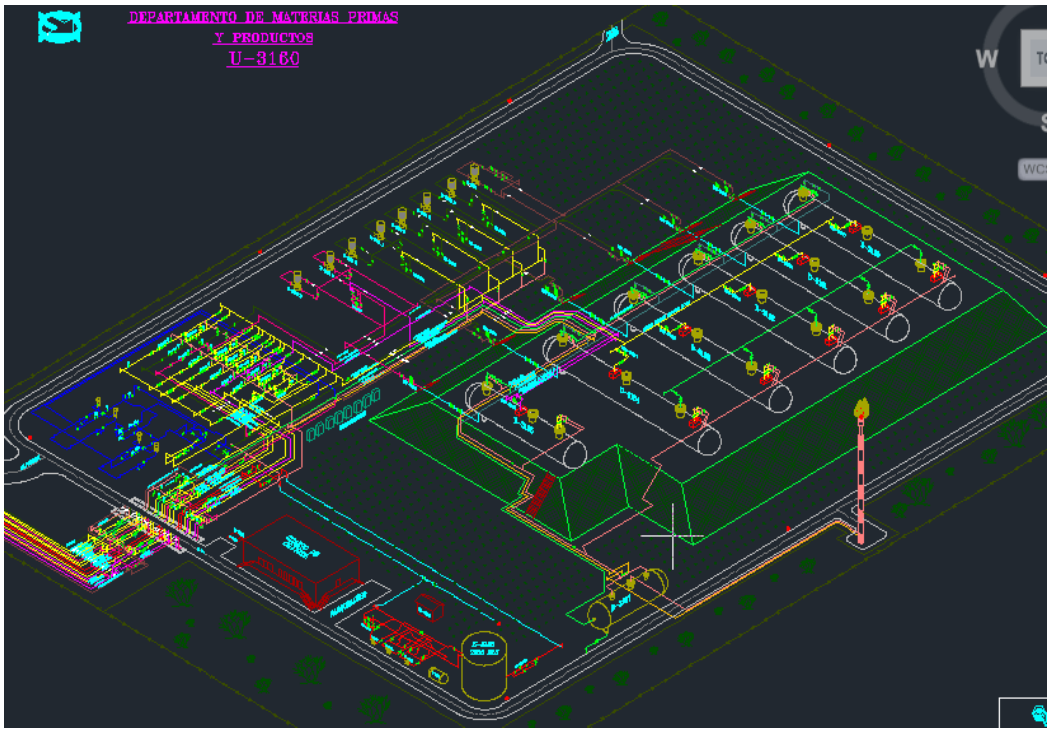
Figura 4. Departamento de Materias Primas y Productos

Fuente: Intranet de ECOPETROL S.A

Este departamento se encuentra divido interiormente en 9 estaciones conformadas por las casas bombas que se encuentran distribuidas por toda la refinería y por la nueva estación de GLP que se encuentra en el exterior de la misma, donde cada estación realiza actividades específicas dentro de las funciones totales del Departamento de Materias Primas y Productos

1.5.1 Nueva Estación De Almacenamiento De GLP. En esta estación se despachan, almacenan y reciben los livianos producidos en diferentes unidades de la refinería y provenientes de gasoductos. Los hidrocarburos específicamente manejados son GLP y butano

Figura 5. Nueva Estación de GLP



Fuente: Intranet de ECOPETROL S.A

2. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

2.1 HISTORIA DEL RCM.

Es en el campo de la aviación donde el RCM tiene su nacimiento, como una respuesta a la necesidad de combatir los problemas que se presentaban al realizar revisiones y mantenimientos en este tipo de industria, donde los altos costos derivados de la sustitución sistemática de piezas en las aeronaves y el alto índice de accidentes y pérdidas de vidas humanas amenazaban permanentemente con la rentabilidad de las compañías aéreas que prestaban ese servicio de transporte. Debido a esto, la empresa United Airlines en la década de los 60's tomo medidas y asigno a los ingenieros F. Stanley Nowlan y Howard F. Heap, un estudio de confiabilidad sobre los activos de la empresa que daría como resultado el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability Centered Mantenance- RCM), el cual fue publicado en 1978 por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América.

Los resultados de este estudio traerían consigo nuevos conceptos y premisas importantes como que el mantenimiento no debería aplicarse al equipo sin enfocarse primero en la función que desempeñaba, proponiendo con esto, una metodología de marco estructural para desarrollar estrategias de mantenimiento, que debido al éxito que obtuvieron en el campo de la aviación, lograron extenderse con una gran acogida sobre los activos físicos de un gran número de diferentes industrias.

El RCM se convirtió en base fundamental para varios documentos de aplicación en los cuales el proceso ha sido desarrollado y refinado con el paso de los años. Muchos de estos documentos para los que F. Stanley y Howard F. Heap fueron

una inspiración conservaron los elementos claves de proceso original, pero otros usaron el nombre de RCM para dar surgimiento a un gran número de metodologías de análisis de fallos que difieren significativamente del original, malinterpretando u omitiendo elementos claves del proceso original de RCM hasta tal punto que algunos procesos no solo habían limitado los alcances del RCM sino que también se habían convertido en dañinos.

Como resultado, creció un gran interés de la demanda internacional por una norma que imponga los criterios básicos que cualquier proceso debe cumplir para poder llamarse RCM, interés que dio el surgimiento en 1999 a la norma SAE JA 1011 y en el año 2002 a la norma SAE JA 1012, normas que no intentan ser un manual ni una guía de procedimientos, sino que establecen unos criterios que debe satisfacer todo metodología que se llame RCM.

2.2 MANTENIMIENTO Y RCM

Desde el punto de vista de la ingeniería, dos elementos existen para el manejo de cualquier bien físico: mantener y modificar. Donde mantener involucra esfuerzos para preservar algo, conservándolo en el estado actual; muy diferente a modificar algo, donde se concluye que es necesario cambiar algún aspecto.

Al enfocarse en mantener algo, qué es lo que pretendemos que continúe, o cuál es el estado actual existente que queremos preservar, tal vez son las primeras preguntas que podrían surgir, las cuales pueden responderse en el hecho de que todo bien físico se pone en servicio porque alguien desea que cumpla con el desarrollo de una tarea, es decir, se espera que cumpla con una o más funciones. Entonces sucede que cuando queremos mantener un bien, estamos buscando preservar un estado de dicho activo en el cual siga cumpliendo con las funciones deseadas por el usuario; por lo tanto un Mantenimiento adecuado puede asegurar

que los bienes físicos continúen cumpliendo las funciones que los usuarios esperan, las cuales dependerán de cómo y donde el bien este siendo usado (contexto operativo).

Teniendo esto claro, se puede definir al Mantenimiento Centrado en Confiabilidad como un proceso usado para determinar que tareas deben hacerse para asegurar que todo bien físico continúe funcionando como sus usuarios lo desean en el presente contexto operativo

2.3 RCM Y LAS SIETE PREGUNTAS BASICAS

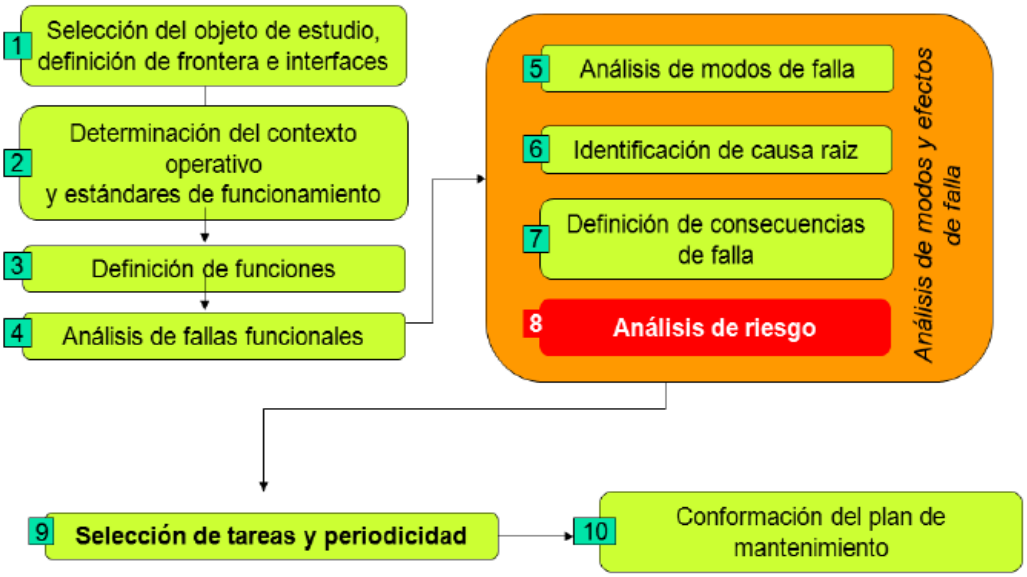
El proceso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad se centra en la relación entre la organización (empresa) y los elementos físicos que la componen, incitando a responder siete preguntas sobre el bien o sistema bajo supervisión que contribuyan al análisis de búsqueda de soluciones a las fallas o problemas que se puedan presentar en esta relación. Las siete preguntas son:

- ¿Cuáles son las funciones y respectivos estándares de desempeño de este bien en su contexto operativo presente?
- ¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de sus funciones?
- ¿Que ocasiona cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando se produce cada falla en particular?
- ¿De qué modo afecta cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra el plan de acción apropiado?

2.4 PASOS PARA EL DESARROLLO DEL RCM

Se pueden encontrar varios procedimientos de orden universal que plantean normas y reglas que funcionan como guías para la implementación del RCM, como la Norma Británica BS 3811 (TPM-RCM), manuales de John Moubray y las normas SAE JA 1011 y1012 entre otras, que conducen a establecer ciertos pasos para la aplicación del RCM, que pueden ser resumidos en el siguiente diagrama.

Figura 6. Diagrama de flujo del proceso de RCM



Fuente: ORTIZ P. Daniel. Organizaciones del Mantenimiento: Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM. Bucaramanga: Posgrado gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2008. P.125

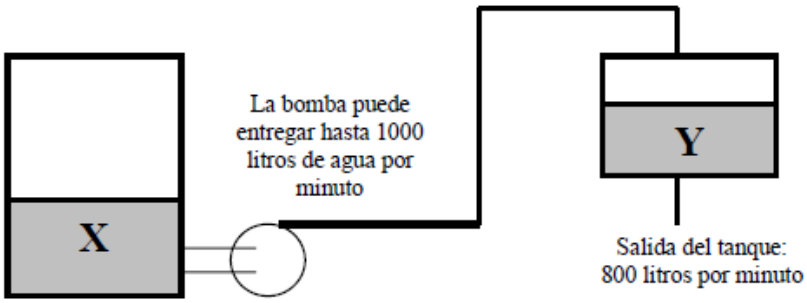
En los dos primeros pasos se identifican los equipos y la información pertinente de lo que se va a analizar y a cuantificar, así como de las unidades de proceso (áreas) que serán analizadas en un orden específico para asegurar que la prioridad correcta es dada para las unidades de proceso que tienen un mayor impacto en el negocio en general.

2.4.1 Definición de Funciones. A medida que se obtiene un mayor entendimiento de los rol de los equipos en las compañías donde prestan sus servicios, empezamos a apreciar el hecho de que todo activo puesto en funcionamiento se encuentra allí porque alguien requiere de que el cumpla con su función. Por esto un activo de una empresa debe conservar un estado tal que siga cumpliendo con las funciones requeridas por el usuario, enfocándose en lo que hace el equipo y no en lo que él es.

2.4.1.1 Descripción de las funciones. Tal y como lo podemos encontrar en los principios de la ingeniería, la descripción de una función debe consistir en un verbo y un objeto, que deben ser complementados para el RCM con la adición de un nivel desempeño de la función para que la definición de la misma sea completa, ya que el usuario también espera que la función se cumpla con un nivel de desempeño aceptable o deseado.

Como ejemplo, se tiene la función primaria de una bomba: “impulsar agua desde el tanque X al tanque Y a no menos de 800 litros por minuto”.

Figura 7. Bomba de transporta de agua del tanque X al tanque Y

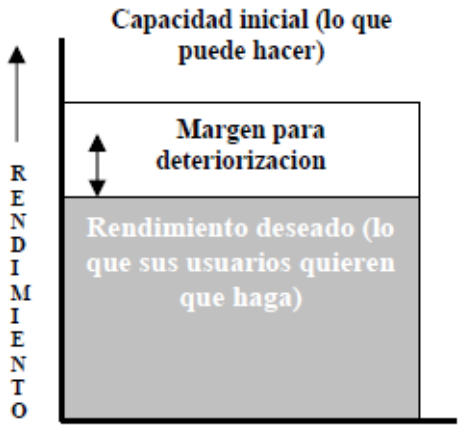


Fuente: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, John Moubray, Segunda edición. Industrial Press Inc.

2.4.1.2 Criterios de desempeño. Teniendo en cuenta que el objetivo del mantenimiento es garantizar que los bienes continúen cumpliendo con sus funciones en el modo en que requieren sus usuarios, el grado en que el usuario pretende que el equipo funcione puede definirse como criterio mínimo de desempeño.

Para garantizar este criterio mínimo de desempeño, el bien debe ser capaz de producir aún más de lo esperado por el usuario debido al deterioro natural de cualquier bien que se ponga en funcionamiento

Figura 8. Deterioro



Fuente: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, John Moubray, Segunda edición. Industrial Press Inc.

Esto significa que el desempeño de un equipo puede ser definido de dos maneras distintas:

- Desempeño deseado (el funcionamiento que el usuario requiere)
- Capacidad inherente (lo que puede hacer).

Por lo tanto los criterios de desempeño nos conllevan a dos conclusiones importantes a tener en cuenta antes de definir cualquier función y por lo tanto de realizar cualquier tipo de mantenimiento:

- Para que cualquier bien sea susceptible de mantenimiento, el funcionamiento deseado, debe estar cubierto por su capacidad inicial.
- Para determinar esto, no solo debemos conocer la capacidad inicial del bien, sino que necesitamos conocer cuál es el nivel de desempeño mínimo que el usuario puede aceptar en el contexto en el cual está funcionando el activo.

2.4.1.3. Contexto operativo. El contexto operativo en el cual se halla en funcionamiento el equipo es muy importante para la definición de su función, ya que este permite clarificar lo que se desea conseguir con el activo, teniendo en cuenta las influencias y condiciones del contexto, las cuales afectaran en gran medida en la función que muy posiblemente variara según el contexto operativo en el cual se encuentre.

Todo esto significa que cualquier compañía que tenga intenciones de aplicar una metodología de RCM a cualquier bien o proceso, debe esmerarse en tener un claro entendimiento del contexto operativo antes de comenzar. Algunos de los factores más importantes para clarificar el contexto operativo son:

- Procesos por lotes y de flujo. En las plantas de manufactura la característica principal del contexto operativo es el tipo de proceso, el cual varía desde procesos de flujo donde las máquinas están interconectadas, a operaciones por lotes de donde la mayoría de las maquinas trabajan de modo independiente. En los procesos de flujo la falla de un equipo puede ocasionar la parada de toda la planta o por lo menos reducir el rendimiento, mientras que en las que trabajan por lotes, la falla de un bien reduce el rendimiento de una sola línea o equipo. Estas diferencias implican que las estrategias de

mantenimiento pueden ser radicalmente diferentes para ambos tipos de proceso.

- Redundancia. Al describir las funciones de un bien, la presencia de redundancia o medios de producción alternos deben ser descritos, ya que los requisitos de mantenimiento serán diferentes para un equipo principal que para un alterno
- Niveles de calidad. Dos elementos más que pueden producir descripciones diferentes de funciones de equipos son las normas de calidad y los niveles de servicio al cliente, ya que los requerimientos de mantenimiento no pueden ser los mismos si las exigencias o especificadores de las tareas de dos equipos iguales no son las mismas.
- Normas Medioambientales. Actualmente, el impacto que puede tener un bien sobre el medio ambiente es cada vez más importante para el contexto operativo, lo que implica que la función del activo ahora tendrá que satisfacer a dos grupos de usuarios. El primer grupo se compone por la o las personas que operan el equipo y el segundo por la sociedad, quien se vería afectada por daños ocasionados sobre el medio ambiente.
- Riesgos de seguridad. Este factor es significativo para el contexto operativo de aquellas organizaciones que se encuentran reguladas por niveles aceptables de riesgo, ya sea en niveles corporativos, a determinados sectores o al menos a ciertos procesos o bienes en particular.
- Turnos de trabajo. Los turnos de las organizaciones afectan el contexto operativo en la medida en que los esfuerzos de mantenimiento serán diferentes para una planta que por ejemplo trabaja 8 horas diarias, donde el tiempo perdido por una falla se puede recuperar, que en otra planta, que trabaja las 24 horas del días, donde no se dispone de tiempo para reponer las pérdidas producidas por la falla y por lo tanto se tendrán que aumentar los esfuerzos de mantenimiento.

- Trabajo en proceso. Este trabajo hace referencia a un material que no ha seguido aun todos los pasos de proceso de manufactura y por lo tanto se encuentra almacenado. En este caso las consecuencias de las fallas de cualquier máquina que contenga este tipo de materiales se influenciara por la cantidad de material que contenga y por las maquinas siguientes del proceso, lo cual hace parte del contexto operativo.
- Tiempo de reparación. Estos tiempos se ven influenciados por la velocidad de respuesta hacia la falla, lo cual es una función de los sistemas de reporte de fallas, a nivel del personal, a la velocidad de reparación en sí misma y a otros factores que varían ampliamente de una compañía a otra.
- Repuestos. La relación existente entre los repuestos y las consecuencias de falla radica en el tiempo necesario para conseguir los repuestos de los proveedores, ya que este tiempo influirá en el necesario para reparar la falla y por lo tanto afectara la severidad de la consecuencia.
- Demanda del mercado. El contexto operativo presenta variaciones cíclicas en la demanda por los productos o servicios proporcionados por la organización, donde las consecuencias operativas de las fallas serán mucho más importantes en épocas de gran demanda que en las de una demanda menor.
- Documentar el contexto operativo. Por las razones analizadas anteriormente es muy importante garantizar que toda persona que haga parte del desarrollo de una metodología de mantenimiento entienda completamente el contexto operativo del equipo estudiado.

2.4.1.4. Diferentes tipos de funciones. Antes de poder aplicar un proceso que nos ayude a determinar que debe hacerse para asegurar que todo bien físico continúe cumpliendo con su desempeño del modo en que los usuarios esperan, es necesario determinar cuál es la función o funciones que los usuarios quieren que cumpla, definiendo las funciones de cada bien en su contexto operativo, esta función o funciones pueden ser divididas en:

- Funciones primarias: son las más importantes o las que me definen el motivo por el cual se adquirió el bien en primer lugar. Estas funciones incluyen temas como velocidad, rendimiento, capacidad de transportación o almacenamiento, calidad del producto y servicio al cliente.

Existen equipos que pueden tener más de una función primaria las cuales pueden ser clasificadas como funciones primarias independientes múltiples y como funciones primarias seriales o dependientes. La diferencia entre estas dos tipos de funciones primarias es que en las independientes cada función puede ser desarrollada independientemente de la otra, mientras que el segundo tipo una función debe hacerse antes que la otra.

- Funciones secundarias: que son las funciones complementarias que se esperan que se produzcan además de su función primaria. Estas cubren expectativas en áreas como seguridad, control, contención, confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia de operación, cumplimiento con normas ambientales, y hasta estética.

Debido a que los usuarios de los bienes en estudio son los más óptimos para saber el aporte de cada bien al bienestar financiero y físico de la organización, deben estar involucrados con el proceso de RCM desde un principio.

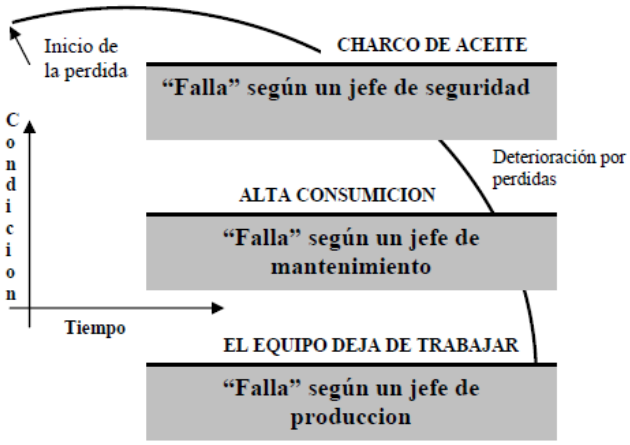
2.4.2 Fallas Funcionales. Teniendo en cuenta que los objetivos de un mantenimiento son determinados por las funciones y expectativas de desempeño del bien considerado, un departamento de mantenimiento alcanzara sus objetivos al adoptar un acercamiento acertado al manejo de las fallas las cuales son el único suceso que puede ocasionar que un bien deje de funcionar en un nivel requerido. Por lo tanto, antes de aplicar un proceso es necesario identificar el tipo de fallas que pueden presentarse, actividad que desarrolla el proceso de RCM en dos niveles:

- Identificando que circunstancias llevaron al estado en falla
- Investigando que situaciones son las causantes de que un bien caiga en un estado de falla

En el contexto de RCM, los estados de falla son conocidos como fallas funcionales ya que ocurren cuando un bien es incapaz de cumplir una función a un nivel de desempeño que sea aceptable por el usuario. Las fallas funcionales solo pueden ser identificadas una vez que las funciones y desempeño estándar haya sido definido con claridad.

2.4.2.1 Visión de las Fallas Funcionales. En el establecimiento de una falla funcional es muy importante que participe directamente el usuario del equipo analizado, ya que generalmente la mayoría de los programas de mantenimiento son recopilados por personal de mantenimiento trabajando por sí mismos, los cuales pueden tener una percepción muy diferente a la del usuario de lo que ellos consideran falla, lo cual puede llevar a consecuencias desastrosas en muchos casos para la efectividad del programa de mantenimiento.

Figura 9. Diferentes visiones de una falla



Fuente: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, John Moubray, Segunda edición. Industrial Press Inc.

Los niveles de desempeño utilizados para definir falla funcional definen el nivel necesario de mantenimiento proactivo para evitar esa falla, pueden ahorrar mucho tiempo y energía si están claramente constituidos y deben ser establecidos por los operadores y el personal de mantenimiento trabajando en conjunto con toda persona que pueda aportar razones legitimas sobre como el bien debe funcional.

2.4.3 Análisis de efectos y tipos de falla (FMEA: Failure Modes and Effects análisis). Este análisis busca identificar los modos de falla que son más propensos a causar la aparición de una falla funcional cerciorándose de los efectos que estas traen consigo.

2.4.3.1 Modos de Falla. Los modos de falla pueden ser definidos como cualquier evento causante de que en un bien aparezca una falla funcional. Estos modos de falla deben ser descritos con un verbo, el cual debe ser seleccionado cuidadosamente por la gran influencia de estos, en el proceso de selección de una adecuada técnica para el manejo de las fallas. Como ejemplo, verbos como “fallar” ” quebrar” o” funcionar mal” no deberían en lo posible utilizarse, porque no pueden dar prácticamente alguna indicación de cuál podría ser el método apropiado para dar solución a la falla, por esto se deberán usar verbos más específicos que den indicios de la posible tarea proactiva de mantenimiento a emplear.

Las listas de modos de falla más comunes pueden incluir fallas causadas por el deterioro o el uso y desgaste normal, aunque también se pueden incluir fallas causadas por errores humanos o por desperfectos de diseño.

La causa de falla debe identificarse en detalle para no desperdiciar tiempo ni esfuerzos en tratar síntomas en lugar de causas.

Los factores más importantes a tener en cuenta en los modos de falla son:

a) Importancia de analizar los modos de falla. Los modos de falla son muy importantes para un plan de mantenimiento de cualquier compañía por la sencilla razón de que una sola maquina o un grupo de estas, pueden fallar por docenas o miles de razones que generalmente hacen que la mayoría de los gerentes desistan de aplicar un plan de mantenimiento por la gran cantidad de trabajo y recursos que posiblemente se deberán poner en marcha, olvidando que el mantenimiento se maneja verdaderamente a novel de los modos de falla para facilitar el mismo con acciones direccionadas como:

- Las ordenes o pedidos de trabajo son elevados para cubrir modos de falla específicos
- Los planes de mantenimiento diarios abarcan exclusivamente modos de falla específicos
- Se registran cada modo de falla en los sistemas técnicos de historial de fallas, facilitando esto registros.

Por otro lado al encargarse el mantenimiento proactivo de las fallas antes de que estas ocurran, es necesario saber de antemano que eventos pueden presentarse para que aparezcan las fallas, eventos que son descritos como se había mencionado anteriormente por los modos de falla.

b) Categorías de modos de falla. Aceptando que un proceso de mantenimiento se basa en garantizar que un bien físico continúe realizando las funciones que los usuarios desean, entonces una metodología completa deberá abarcar todas las posibles causas que puedan significar una amenaza para ese funcionamiento, por lo que se realiza una clasificación delos modos de falla en:

- Cuando la capacidad cae por debajo del desempeño deseado
- Cuando el desempeño deseado supera la capacidad inicial
- Cuando el bien no es capaz de cumplir la función esperada desde el comienzo

I. Capacidad en descenso. Esta categoría de los modos de falla cubre aquellas situaciones donde la capacidad sobrepasa el desempeño deseado, pero después disminuye por debajo de este una vez que se pone en servicio. Las cinco causas principales de la capacidad reducida son:

Figura 10. Primera categoría de los modos de falla

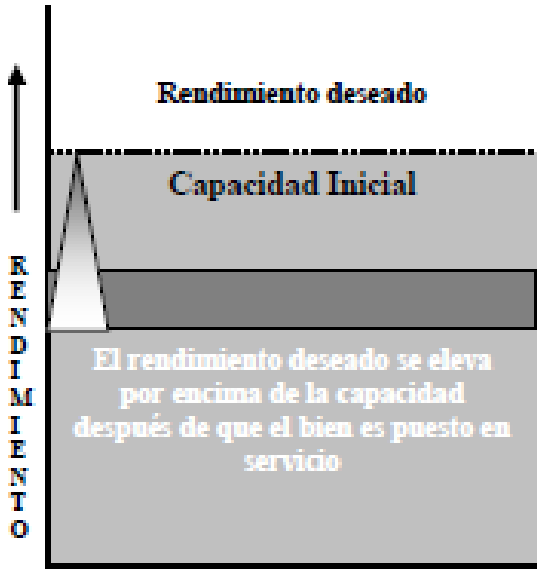
Fuente: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, John Moubray, Segunda edición. Industrial Press Inc.

- Deterioro. Las presiones o esfuerzos a los que son sometidos los equipos cuando se exponen al mundo real provocan el deterioro de los mismos y disminuyen su capacidad. El deterioro cubre todas las formas de uso y desgaste (fatiga, corrosión, abrasión, erosión, evaporación, degradación de aislamiento, etc.)
- Fallas de lubricación. La lubricación se asocia con dos tipos de modos de falla, uno referido a la falta de lubricante y el otro al deterioro del lubricante.
- Suciedad. El polvo y la suciedad interfieren directamente en las maquinas siendo causas muy comunes de fallas, por lo tanto los modos de falla de suciedad deberán ser listados cuando puedan afectar la función de un bien.

- Desmontaje. Estas se refieren principalmente a fallas en soldaduras de uniones o remaches, debidas a fatiga o corrosión que se presentan, aunque también se debe tener cuidado en registrar mecanismos de cierre como pasadores de aletas, tuercas de seguridad entre otros elementos considerados en la integridad del montaje.
- Errores humanos. Implican como su nombre lo indica, errores propiciados por el hombre hasta un punto donde el bien es incapaz de funcionar al nivel requerido por el usuario.

II. Aumento en el desempeño deseado. Es la segunda categoría de los modos de falla, la cual se presenta cuando el desempeño deseado es cubierto por la capacidad inicial hasta que posteriormente las expectativas crecen superando la capacidad inicial, provocando que el bien falle por una de las siguientes razones:

Figura 11. Segunda categoría de los modos de falla

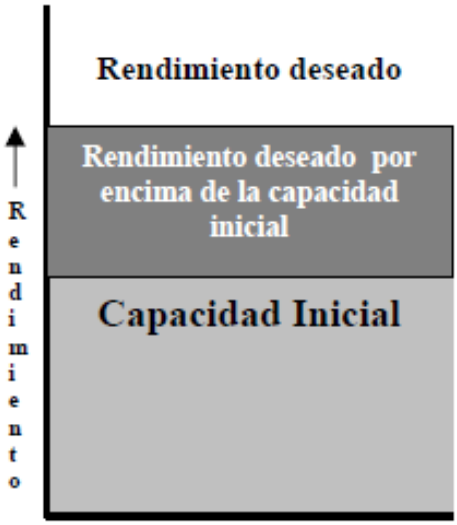


Fuente: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, John Moubray, Segunda edición. Industrial Press Inc.

- Sobrecarga sostenida deliberada. En respuesta a una creciente demanda en productos, los operarios intentan dar más velocidad a los equipos o sencillamente emplearlos para otra función con el pensamiento de tener beneficios, los cuales no serán vistos a largo plazo por fallas que se irán presentando en los equipos al exigirlos mucho más de su capacidad inicial.
- Sobrecarga sostenida inintencionada. Esta sobrecarga se presenta cuando nuevamente se busca responder a una demanda de productos creciente, al adoptar programas formales para desarmar los cuellos de botella.
- Sobrecarga repentina inintencional. Estos no son realmente aumentos en el desempeño deseado, ya que esto sucede de forma inintencional por razones accidentales como una operación incorrecta, un montaje incorrecto o un daño externo
- Material de proceso incorrecto. Que una falla trabaje mal a causa del empleo en ella de materiales fuera de especificaciones de pH, dureza, consistencia, etc., puede ser visto como un aumento en el esfuerzo aplicado.

III. Capacidad inicial. Tercera categoría de modos de falla que abarca aquellos equipos donde su desempeño deseado no está cubierto por la capacidad inicial. Estos problemas de incapacidad que deben ser descritos en los modos de falla como problemas de diseño, generalmente afectan a una o dos funciones de uno o dos componentes que afectan una operación de toda una cadena de producción.

Figura 12. Tercera categoría de modos de falla



Fuente: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, John Moubray, Segunda edición. Industrial Press Inc.

2.4.3.2 Efectos de las Fallas. Los efectos de las fallas describen lo que sucede cuando se presenta cada modo de falla, descripción que debe ser listada incluyendo toda información necesaria para respaldar la evaluación posterior de las consecuencias de las fallas. Es necesario recopilar información como:

- Evidencias, (si las hubiera), de que la falla ocurrió. Para el RCM lo efectos de las fallas deben ser descritos de modo que se permita decidir si la falla será evidente para los operadores del equipo en circunstancias normales
- En qué manera, (si las hubiera), representa una amenaza para la seguridad del medio ambiente. Esta información permite enunciar los efectos de las fallas con enunciados cualitativos que mencionen lo sucedido
- De qué modo, (si los hubiera) afecta la producción y operaciones
- Que debe hacerse para reparar la falla

2.4.3.3 Fuentes de información sobre modos y efectos de falla. Las fuentes más comunes de información para el desarrollo de un FMEA son:

- El fabricante o vendedor del equipo. Es la primera fuente de información que nos viene en mente, hasta tal punto que hoy en día las empresas incluyen en los contratos con sus proveedores o fabricantes que proporcionen información necesaria rutinariamente para el FMEA.
- Lista genérica de modos de falla. Son enumeraciones de modos de falla o FMEA completos de terceros, los cuales deben ser cuidadosamente revisados por que muchas veces el análisis de esos terceros puede ser inapropiado, puede estar aplicado a un contexto operativo diferente o pueden diferir de los nivele desempeño deseados; lo cual no es apropiado para un correcto FMEA.
- Otros usuarios del mismo equipo. Información importante sobre lo que puede funcionar mal en bienes utilizados en común es muy útil y valedera, siempre y cuando se creen los espacios para el intercambio de esta información.
- Registros técnicos históricos. Estos registros tienen un gran valor y por lo tanto deberían aplicarse esfuerzos para que sean completos y puedan ser utilizados como una herramienta principal para el desarrollo de un FMEA.

2.4.4 Consecuencias de las Fallas. Todo análisis de una empresa industrial detallado, tiende a arrojar entre tres y diez mil posibles modos de falla que afectan a la organización en forma diferente, algunos podrían afectar la operatividad, otros la calidad del producto, otros el servicio al cliente, otros la seguridad del medio ambiente, etc. Todas estas zonas que son afectadas traen consigo consecuencias que ejercen la mayor influencia para tratar de prevenir cada falla, es decir, si una falla conlleva a consecuencias serias, se tendría que hacer todo lo que esté a nuestro alcance para tratar de evitarla. En cambio si esta no afecta o lo hace pero en un grado mínimo, entonces los esfuerzos de realizar mantenimiento se reducirían hasta el punto que se decida no hacer un mantenimiento de rutina que vaya más allá de la limpieza y lubricación.

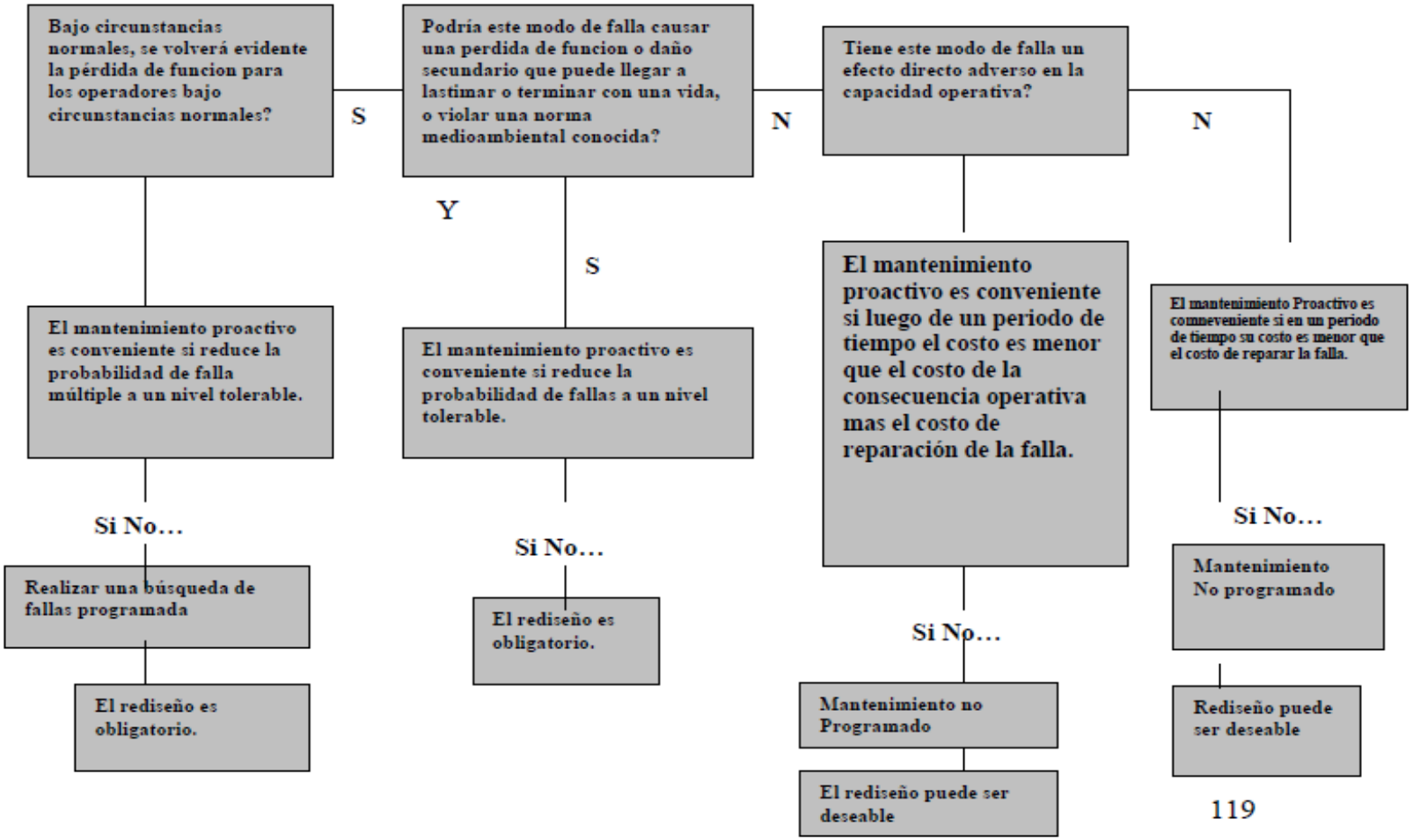
Uno de los puntos fuertes del RCM tiene que ver con el reconocimiento de las consecuencias de las fallas como más importantes que las características

técnicas, reconociendo que la única razón de hacer cualquier tipo de mantenimiento proactivo no es para evitar fallas en sí, sino para evitar o al menos reducir las consecuencias que estas traerían consigo. Estas consecuencias son clasificadas por el RCM en los siguientes grupos:

- Consecuencias de fallas ocultas: Aunque las fallas ocultas no son causantes de un impacto directo dentro de la organización, si la exponen a múltiples fallas, con consecuencias serias y frecuentemente catastróficas.
- Consecuencias medioambientales y de seguridad: Una falla puede traer consecuencias de seguridad si potencialmente puede dañar o causar la muerte. Puede traer consecuencias medioambientales si provoca alguna violación de cualquier norma medioambiental corporativa, regional, nacional o internacional.
- Consecuencias operativas: Una falla puede traer consecuencias operativas cuando afecta la producción en cuanto al rendimiento, calidad del producto, servicio al cliente o costos operativos, además del costo directo de reparación.
- Consecuencias no operativas: Las fallas que conforman esta categoría no tienen consecuencias ni de seguridad, ni de protección, de modo que solo implican un costo de reparación.

El siguiente cuadro puede suministrar una ayuda en la evaluación de consecuencias de falla

Figura 13. Evaluación de consecuencias de falla



Fuente: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, John Moubray, Segunda edición. Industrial Press Inc.

Los procesos de RCM emplean las anteriores categorías como base de un marco estratégico para tomar decisiones de mantenimiento, quitando énfasis a la creencia de que todas las fallas son malas y deben ser prevenidas para enfocar su atención en las actividades de mantenimiento que tendrán un efecto mayor en el desempeño de la compañía, sin desgastar energía en aquellas tareas que tienen un efecto menor o casi nulo.

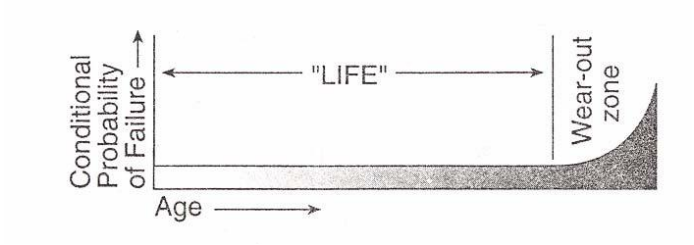
2.4.5 Análisis de Riesgo. El análisis de riesgo se puede resumir como una clasificación categórica de las fallas presentes en un bien de acuerdo a las consecuencias descritas anteriormente que pueda traer consigo. Este análisis es usado en los procesos de RCM como la base de un marco estratégico para la toma de decisiones en cuanto al mantenimiento, priorizando las fallas según sus consecuencias, permitiendo la optimización de esfuerzos.

2.4.6 Proceso de Selección de Tareas. La evaluación de consecuencias analizada anteriormente, nos impulsa hacia el análisis de los diferentes modos o técnicas de manejar las fallas sin concentrarse solamente en la prevención. Estas técnicas se dividen en dos categorías:

- Tareas Proactivas: Que hacen referencia a los trabajos realizados antes de que ocurra la falla, previniendo que el equipo llegue a un estado de falla. Esta técnica comprende al tradicional mantenimiento “predictivo” o “preventivo”.

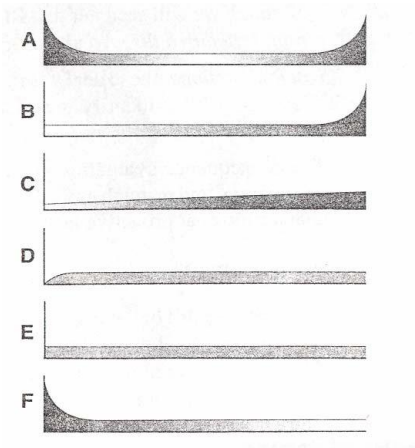
Aunque muchas personas sostienen que el mejor modo de optimizar la capacidad de una planta es teniendo una determinada rutina de mantenimiento que consista en la reparación o reemplazo de componentes en intervalos fijos tal como se ilustra en el siguiente gráfico. Este modelo en la actualidad solo es útil para ciertos tipos de equipos simples y para algunos complejos con fallas dominantes, debido a que ha incrementado la complejidad de los mismos y por lo tanto han cambiado los patrones iniciales de falla de estos.

Figura 14. Tradicional visión de las fallas



Fuente: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, John Moubray, Segunda edición. Industrial Press Inc.

Figura 15. Patrones de falla



Fuente: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, John Moubray, Segunda edición. Industrial Press Inc.

Por ejemplo, el patrón A conocido con el nombre de “curva de la bañera”, comienza con una incidencia de falla alta (mortalidad infantil), la cual disminuye manteniéndose constante hasta que vuelva a presentar un aumento en la incidencia a fallas (zona de desgaste); mientras que el patrón B muestra una probabilidad de falla creciente, finalizando en una zona de desgaste muy similar a la tradicional visión de fallas mostradas con anterioridad.

Estos cambios en los patrones de falla de los equipos actuales contradicen la creencia de que siempre hay una conexión entre la confiabilidad y la edad

operativa, conllevando además a la idea de que si un ítem se examina con mayor frecuencia, tendrá menos probabilidades de fallar.

Por esto, el RCM divide las tareas proactivas en tres clases que puedan abarcar los distintos patrones de falla. Las clases son:

a. Tareas de restauración programadas
b. Tareas de descarte programadas
c. Tareas en condición programadas

Las primeras dos clases abarcan la refabricación de un componente o la restauración de un montaje antes de que termine su vida útil programada y el descarte programado sin importar la condición del equipo en esos momentos; mientras que las tareas de condición programadas incluyen el mantenimiento preventivo, el basado en la condición y el monitoreo de condición.

- Acciones de omisión: La segunda categoría para el manejo de fallas se encargan del estado de falla, empleándolas cuando es imposible identificar una consigna proactiva que sea efectiva. Estas acciones incluyen la búsqueda de falla, rediseño y acudir a la falla

El RCM reconoce tres clases principales de acciones de omisión:

a. Descubrimiento de fallas: que implica el control de las funciones encubiertas periódicamente para identificar si es que hubo fallas (mientras que las tareas en condición implican un chequeo de que si algo está fallando).
b. Rediseño: que conlleva a cambios en la capacidad interna del sistema.
c. Mantenimiento no programado: que implica no realizar mantenimiento o prevención de los modos de falla permitiendo que las fallas sucedan para luego ser reparadas.

El proceso de RCM tiene como una gran fortaleza ofrecer un criterio simple, preciso y fácilmente entendible para decidir cuál de las tareas proactivas (si las hubiere) es la realizable en cualquier contexto, con qué frecuencia debería realizarse dicha tarea y quien debería ser el encargado de realizarla. Que las tareas proactivas sean técnicamente viables o no, dependerá de las características técnicas de la tarea y de la falla que se supone prevenga.

Como una guía se detalla la esencia del proceso para la selección de tareas:

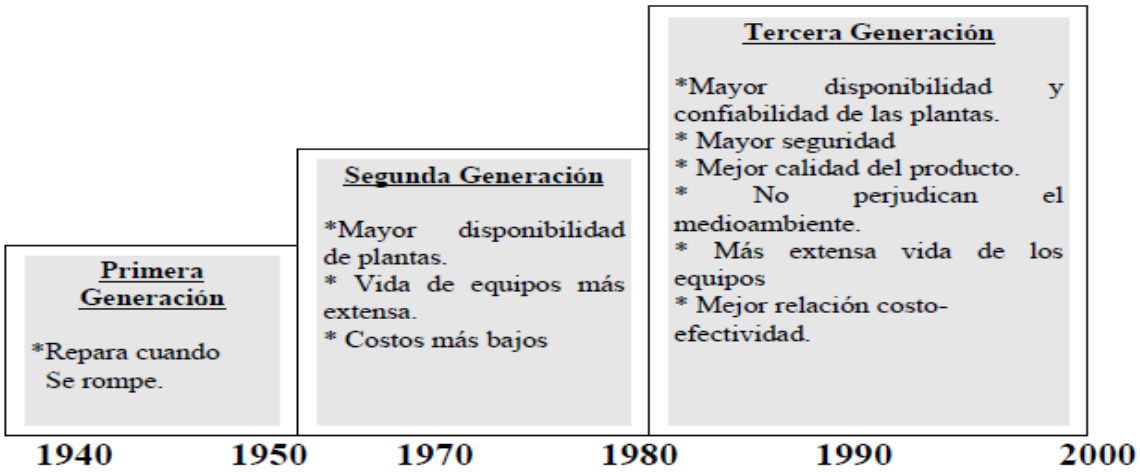
- Para fallas ocultas, vale la pena realizar determinada tarea proactiva solo si esta puede reducir el riesgo de fallas múltiples asociadas con esa función a un nivel tolerablemente bajo. Al no encontrar una adecuada tarea deber tenerse en cuenta el rediseño dependiendo de las consecuencias de fallas múltiples.
- Para fallas con consecuencias medioambientales y de seguridad, una tarea proactiva tiene validez si reduce el riesgo de un problema de este tipo a un nivel muy bajo, si definitivamente no puede ser eliminado directamente. Si no se encuentra una solución que reduzca considerablemente una consecuencia de este tipo deberá considerarse el rediseño.
- Para fallas que traen consecuencias operativas, solo sería recomendable realizar una tarea proactiva si el costo total de realizarla durante un periodo de tiempo determinado, es menor que los costos de las consecuencias operativas que se quieren eliminar o reducir durante el mismo periodo. Es decir la tarea debe ser costo-efectiva o debe justificarse. Si no se puede justificar el paso a seguir seria realizar mantenimiento no programado hasta tal punto que tenga que determinar un rediseño.
- Si una falla tiene consecuencias no operativas, solo vale la pena realizar una tarea proactiva si el costo de esta sobre un determinado periodo es menor al consto que implicaría una reparación en el mismo periodo de tiempo. Las tareas deben tener una justificación económica, ya que de no ser así se deberá

proceder con un mantenimiento no programado o finalmente si este no funciona, un rediseño.

Podemos observar que un proceso de RCM especifica las tareas para fallas que inevitablemente lo requieren según sus consecuencias, reduciendo sustancialmente la carga laboral de rutina y optimizando en gran medida los esfuerzos de mantenimiento si lo comparamos con un mantenimiento tradicional, que evalúa y agrupa a los bienes de acuerdo a sus características técnicas, sumando esfuerzos injustificados e innecesarios a bienes que no tienen consecuencias significativas para el negocio, lo que ocasiona grandes pérdidas de dinero y tiempo en la industria.

2.5 LOGROS DEL RCM.

Figura 16. Expectativas del mantenimiento



Fuente: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, John Moubray, Segunda edición. Industrial Press Inc.

De acuerdo con las expectativas crecientes del mantenimiento, un proceso de RCM contribuye en completar en gran medida lo propuesto en la tercera generación del mantenimiento.

2.5.1 Mayor integridad Medioambiental y de Seguridad. La mejora en la protección medioambiental y de seguridad conseguida por el RCM, se hace de los siguientes modos:

- La integridad medioambiental y la seguridad se convierten en prioridades máximas del mantenimiento, debido a que se revisan primero los problemas medioambientales o de seguridad que los operativos.
- Al involucrar en el proceso de RCM a grupos de operadores y mantenedores en el análisis, hacen que este sea más sensitivo, dando menos probabilidades de cometer errores de peligro y una mayor tendencia a tomar decisiones correctas.
- Se reduce el riesgo de fallas críticas que se presentan cuando el mantenimiento está en camino, con una reducción en el número y frecuencia de las tareas de mantenimiento del RCM.
- El proceso de decisión de RCM da como resultado la selección de de tareas diseñadas específicamente para reducir riesgos medioambientales y de seguridad a un nivel aceptable, en caso de que no se puedan eliminar completamente.

2.5.2 Mayor confiabilidad y disponibilidad de la planta. Debido a que el desempeño de una planta mejora al reducir el número y severidad de las fallas inanticipadas que tienen consecuencias operativas, el proceso de RCM contribuye en este mejoramiento del desempeño de las siguientes formas:

- Asegurando que solamente las tareas de mantenimiento más efectivas son seleccionadas para tratar cada uno de los modos de falla encontrados después de una revisión sistemática de las consecuencias operativas en la planta.
- Reduciendo las consecuencias operativas haciendo énfasis en tareas en-condición, asegurando que las fallas potenciales sean detectadas antes de que se conviertan en fallas funcionales.
- Las planillas informativas del RCM proveen una herramienta para un diagnóstico rápido de las fallas que conllevan a tiempos de reparación más cortos.
- Las listas de trabajo más cortas, traen consigo una mortalidad infantil menor cuando la planta se pone en marcha después de una interrupción, lo que lleva a un aumento en la confiabilidad.
- El RCM provee de una oportunidad de aprender rápida y sistemáticamente a manejar una planta a quienes participan del análisis. Con esto se logran evitar muchos errores que normalmente se cometen en la operación de una planta.

2.5.3 Calidad el producto mejorada. Los resultados del RCM se pueden encontrar fácilmente en plantas donde se manejan procesos automatizados, donde con esto se mejora la calidad del producto ofertado**.**

2.5.4 Mayor eficiencia del mantenimiento. Los costos dispuestos para el mantenimiento se controlan y reducen con el RCM de la siguiente forma:

- Con menos mantenimiento de rutina. El RCM con una correcta aplicación en cualquier empresa puede proporcionar una reducción del 40% al 70% en la carga de trabajo en el mantenimiento de rutina, ya que se reducen el número de tareas con un aumento en los intervalos entre tareas.
- Mejoramiento en la compra de servicios de mantenimiento. La aplicación de un RCM trae consigo ahorros en los contratos de mantenimiento al proporcionar a los compradores un mayor entendimiento de las consecuencias de falla y con

una mayor comprensión de las tareas preventivas. Estas dos contribuciones permiten a los compradores especificar más precisamente los tiempos de respuesta y reducir tanto los contenidos como la frecuencia de la proporción de rutina de los contratos de mantenimiento, consiguiendo ahorros significativos.

- Reduciendo la necesidad de emplear a expertos caros. Con la participación de los técnicos de campo en los proceso de RCM, se consigue un intercambio de conocimientos con el que se pueden resolver muchos problemas en algunas situaciones.

2.5.5. Vida útil más extensa para los Ítems costosos. Proporcionando una vida útil extensa para los equipos costosos. Al garantizar que cada equipo recibe el mínimo mantenimiento sugerido por el RCM, se puede proporcionar que cada bien extiende su vida útil mientras no cambie su estructura física y se cuente con disponibilidad en repuestos.

El RCM ayuda a los usuarios a disfrutar al máximo de la vida útil de los equipos al seleccionar mantenimiento en condición por encima de otras técnicas de mantenimiento.

2.5.6. Mayor motivación para el personal. El RCM puede motivar mejor a las personas involucradas en el proceso de revisión de las siguientes maneras:

- Fortaleciendo su competitividad y por lo tanto su confianza, lo que se puede conseguir brindándoles un entendimiento claro de la función del bien y de lo que es necesario hacer para mantenerlo.
- Un entendimiento mejor de los problemas que están mas allá del control o límites de lo que los individuos pueden alcanzar les permite trabajar con mayor comodidad dentro de esos límites.

- Lograr un mayor sentido de pertenencia, al dar la oportunidad a cada miembro del grupo de RCM de participar en la formulación y decisión de los objetivos y responsables de los mismos para cumplir las metas de la organización.

2.5.7 Mejor trabajo en equipo. Un mejor trabajo en equipo es posible porque el RCM fomenta en la forma de análisis y toma de decisiones a la formación de grupos interdisciplinarios de trabajo, mejorando la comunicación y cooperación de cada miembro del grupo con los demás.

2.5.8 Una base de datos de mantenimiento. Las planillas informativas y resultados de decisión del RCM proveen los siguientes beneficios:

- Adaptarse a situaciones cambiantes. Esto es posible debido que el RCM hace posible un seguimiento del motivo de cada tarea de mantenimiento desde las funciones y contexto operativo de cada bien, con lo que sería fácil identificar las tareas afectadas por un cambio en el contexto operativo para revisarlas respectivamente.
- Auditoria. El RCM provee de una evidencia documentada de los programas de mantenimiento de una forma coherente, lógica y fácil de entender.
- Manuales y planos más precisos. Al introducirse con el RCM la filosofía de preguntarse que hace el bien?, en lugar de que es? Conlleva a identificar un número significativo de errores que no eran notados en la confección de plano de otra manera.
- Reducir los efectos de las rotaciones de personal. Al registrarse toda la información es poco probable sufrir por la partida o jubilación de un empleado de gran experiencia, dando a la organización una menor vulnerabilidad a estos tipos de cambios.

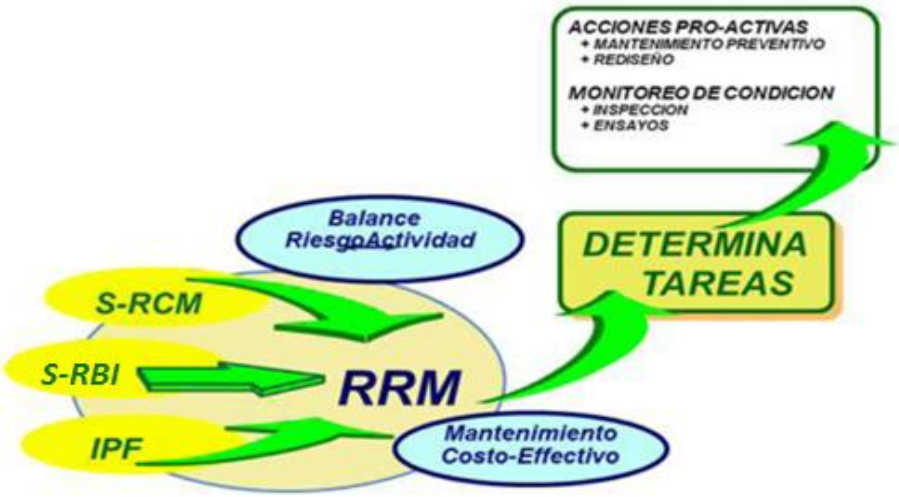
3. LA HERRAMIENTA S-RCM DEL RRM

A continuación se describen las herramientas empleadas para el desarrollo del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad de Shell (S-RCM), del sistema para la gestión de riesgo y confiabilidad (RRM)

3.1 GESTIÓN DE RIESGO Y CONFIABILIDAD (RRM)

El RRM es una herramienta de SHELL basada en el riesgo para la determinación de tareas de mantenimiento preventivo y monitoreo, requeridas para lograr un plan necesario de disponibilidad, con un óptimo esfuerzo. Esta herramienta es basada en la existencia y aplicación de mantenimiento, inspección y metodologías de protección de funciones.

Figura 17. Gestión del riesgo y confiabilidad



Fuente: Risk and reliability management (RRM) Manual

El RRM abarca las siguientes metodologías que se encuentran interconectadas pero que son esencialmente independientes dentro del software general de RRM:

- S-RCM, Shell Reliability Centred Maintenance es una metodología para optimizar esfuerzos de mantenimiento.(Versión simplificada y más económica que el proceso de RCM tradicional
- S-RBI, Shell Risk Based Inspection es una metodología para optimizar inspecciones y esfuerzos de monitoreo. Se usa para gestionar la integridad de envolventes de presión.
- IPF, Instrumented Protective Functions es una clasificación y metodología de implementación para la salvaguardia de instrumentado. Su objetivo es guiar al usuario a un seguro, costo-efectivo y consistente diseño, implementación y estrategias de mantenimiento para IPF´s.

3.1.1 Descripción general. Un análisis de RRM es un conjunto de ejercicios realizados por un grupo importante de especialistas de operaciones, mantenimiento, tecnología, materiales/corrosión, inspección, seguridad, eléctricos e instrumentadores. Una descripción simplificada del sistema de RRM, válida para las tres metodologías se muestra en la siguiente figura.

Figura 18. Descripción General RRM

Fuente: Autor del proyecto

3.1.1.1 Manejo de información. Un análisis de RRM comienza con la selección de la unidad o de la planta que será analizada, definiendo los límites con precisión, tanto mecánica como eléctricamente. Todo el equipo que se encuentre fuera de los límites se asume que está funcionando correctamente.

El siguiente paso es recoger todos los datos relevantes y la información necesaria para el análisis, por ejemplo, datos de diseño de ingeniería y proceso, información histórica de mantenimiento e inspección, etc.

3.1.1.2 Criticidad evaluación. El riesgo se define como la probabilidad de ocurrencia de un peligro definido y de las consecuencias de ese riesgo. Un modo de fallo de un equipo se traduce en un riesgo para los fines de RRM, donde una evaluación de criticidad se llevará a cabo para cada modo de fallo predominante de una parte de un equipo.

La criticidad se evalúa de una forma semi-cuantitativa mediante la estimación de una clase consecuencia y de probabilidad que combinados en una matriz (matriz RAM), conducen a una clase de criticidad.

3.1.1.3 Planificación y selección de tareas. La clase de criticidad afectará el tipo, alcance y / o frecuencia del mantenimiento, inspección o tareas de prueba de un equipo. Los procesos en esta fase son muy dependientes de la metodología a utilizar, por ejemplo, dentro de S-RCM las tareas proactivas apropiadas de mantenimiento (PM) son seleccionadas sobre la base de un análisis financiero costo-efectivo.

3.1.1.4 Ejecución de tareas. Las tareas de planeación, ejecución de mantenimiento y monitoreo por condición (incluida las inspecciones y pruebas) son llevadas a cabo. Algunas de estas pueden dar lugar a reparaciones.

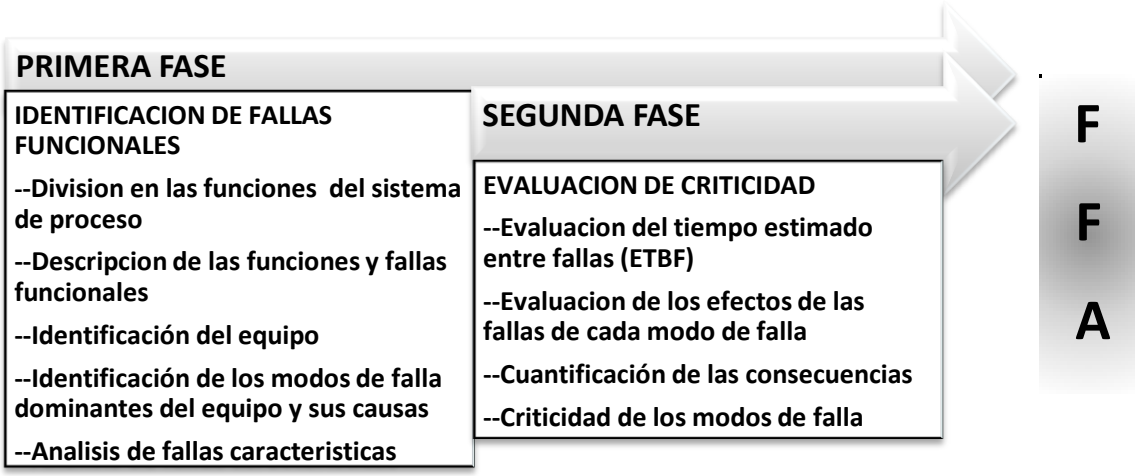
3.1.1.5 Revisión / actualización. Después de que las tareas se han ejecutado es importante actualizar la base de datos de los activos. Información como resultados de inspección y ensayos, datos de monitoreo de estado y condición revelada durante las tareas de mantenimiento proactivo, deben ser alimentados de nuevo en el sistema. Una revisión de un análisis de RRM es recomendado si las condiciones reales difieren significativamente de lo esperado. Esta revisión también se requiere cuando las condiciones de operación han cambiado de manera significativa.

3.2. SHELL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (S-RCM)

La metodología de RCM conlleva a un proceso de soporte de decisiones estructurado para determinar costo-efectivamente los requerimientos de mantenimiento óptimo de todos los activos físicos en un contexto operacional. S-

RCM, la versión de RCM de Shell, aplica un análisis de falla funcional (FFA) para determinar las fallas que afectan el funcionamiento o rendimiento estándar de los equipos mediante la cuantificación de todas las consecuencias de estas fallas.

Figura 19. Análisis de Falla Funcional.



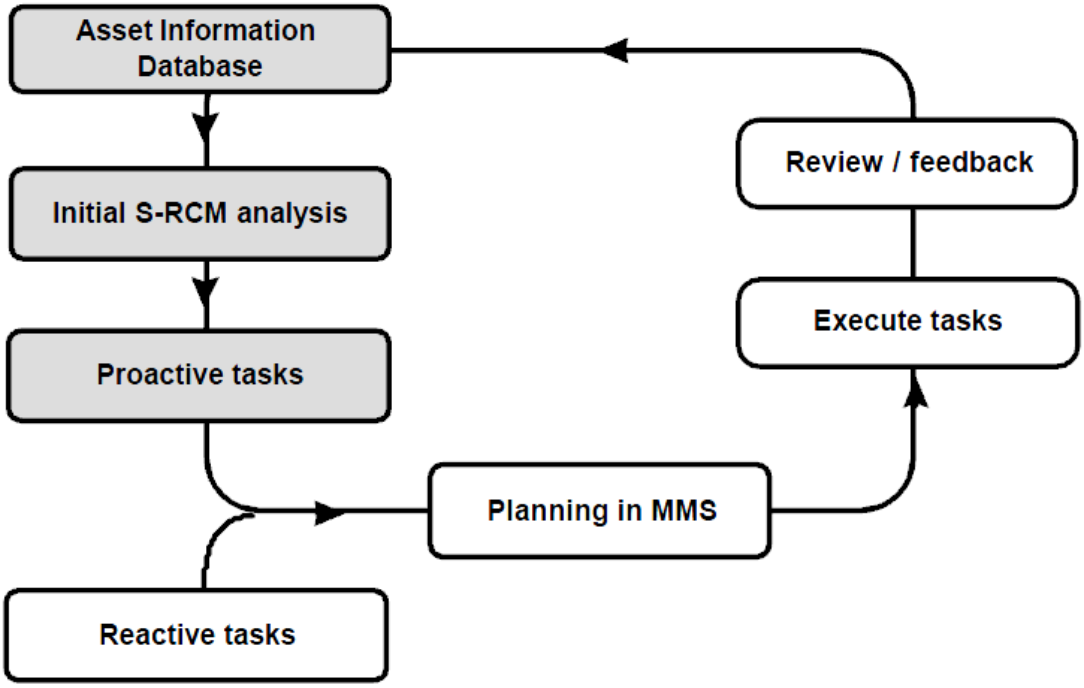
Fuente: Adaptacion de" Risk and Reliability Management (RRM) Manual. Text.

El S-RCM es uno de los pilares de la gestión de fiabilidad y riesgos para activos nuevos y existentes. El objetivo general de S-RCM es optimizar costo-efectivamente la unidad de proceso general de fiabilidad, disponibilidad y rentabilidad realizando tareas de mantenimiento de un modo más proactivo que de un modo reactivo.

3.2.1 Visión general del proceso S-RCM. En términos generales el proceso de S-RCM consiste en dos grandes fases mostradas en la siguiente figura, donde la primera fase (cajas sombreadas) es el análisis inicial de S-RCM y consiste de un estudio para seleccionar las tareas de mantenimiento basadas en pasos similares, pero más enfocadas que el tradicional RCM. S-RCM sistemáticamente requiere de tareas que deben seleccionarse teniendo en cuenta todos los costos de falla, es

decir, utiliza criterios económicos y de HSE para identificar el significado de la falla del equipo, así como para justificar el costo de realizar mantenimiento proactivo.

Figura 20. Visión general del proceso S-RCM

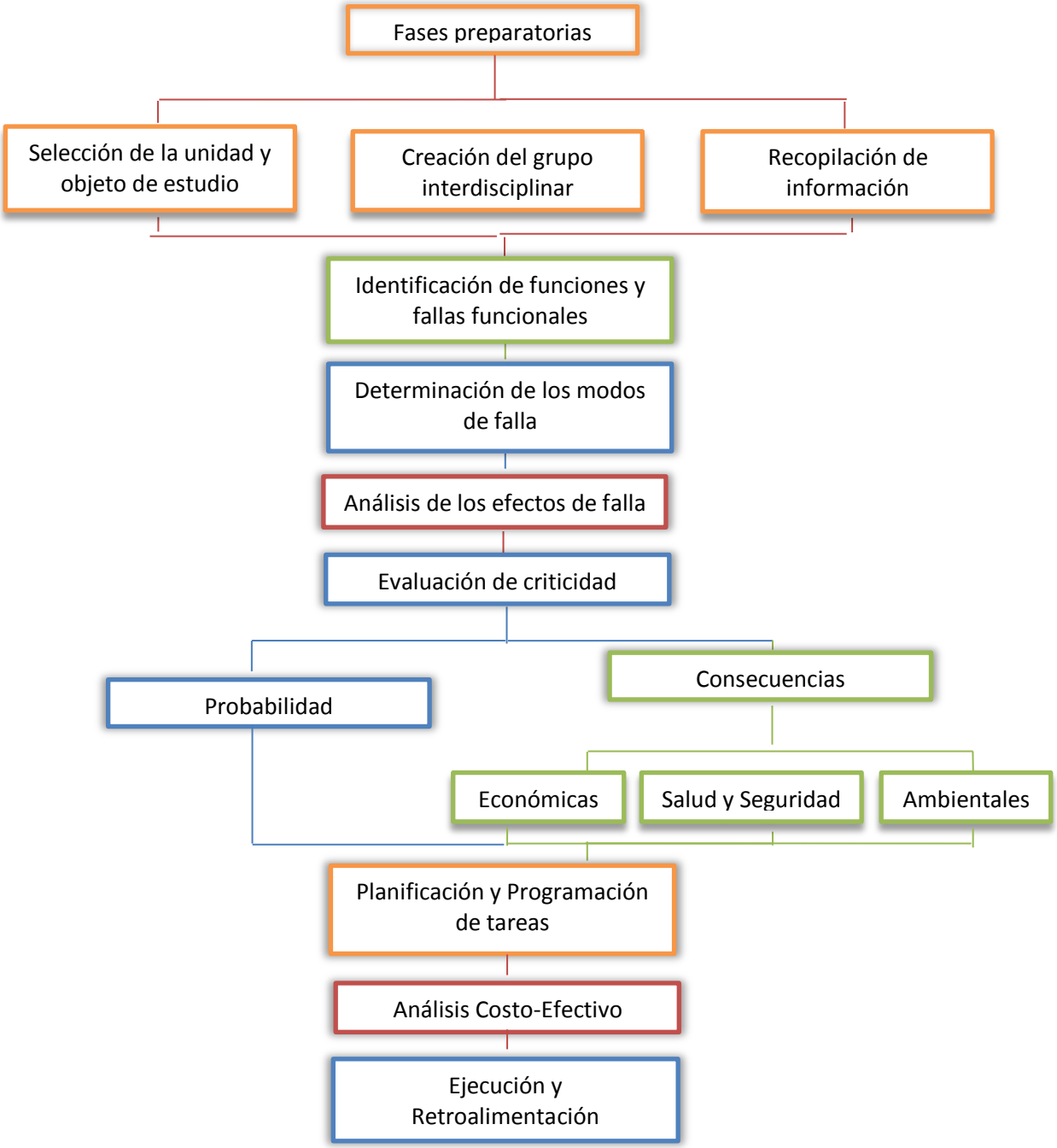


Fuente: Risk and reliability management (RRM) Manual. Appendices

La segunda fase integra el análisis de S-RCM con los procesos de mantenimiento existentes. Mediante el análisis de las tareas de mantenimiento proactivo y reactivo y la mejora de ellas, el proceso de mantenimiento será optimizado, mejorando la fiabilidad y disponibilidad.

3.2.2 Diagrama descriptivo de los pasos para el desarrollo del S-RCM.

Figura 21. Diagrama descriptivo de los pasos para el desarrollo del S-RCM



Fuente. Autor del proyecto

4. DESCRIPCION DE LOS PASOS DE LA METODOLOGIA S-RCM EN LAS VÁLVULAS DE ALIVIO DE PRESION DE LA NUEVA ESTACION DE GLP DE ECOPETROL S.A

Teniendo en cuenta el diagrama descriptivo de los pasos para el desarrollo del S-RCM y la aplicación del instructivo elaborado para el uso de la herramienta S-RCM, que adquirió Ecopetrol S.A, se desarrollará el mantenimiento centrado en confiabilidad en las válvulas de alivio de presión de una de las estaciones más importantes para el Departamento de Materias Primas y Productos de la refinería de Barrancabermeja, conocida con el nombre de la Nueva Estación de GLP.

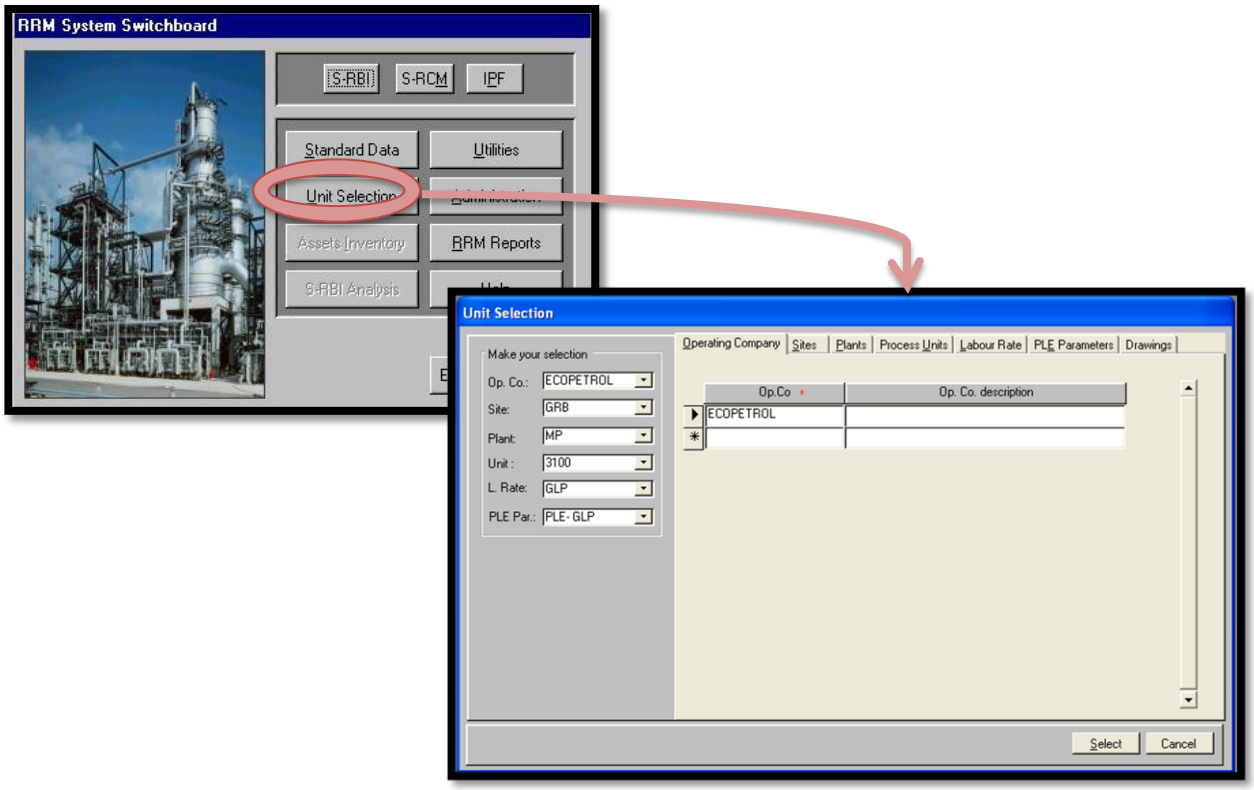
4.1 FASES PREPARATORIAS

4.1.1 Selección de la unidad y objeto de estudio. Como ya se ha mencionado el estudio de S-RCM para la Coordinación de Inspección e Integridad de Equipos de la refinería de Barrancabermeja se llevara a cabo en la Nueva Estación de GLP, donde el o los objetos bajo análisis son las válvulas de alivio de presión de dicha estación en mención. Esta información es primordial para el comienzo del plan de mantenimiento debido a que podemos dirigirnos a la estación para conocer y analizar un poco del contexto operacional de la misma, de la cantidad y tipo de equipos que serán estudiados, de toda información de proceso, logística y recursos necesarios que vinculen tanto a la unidad como al equipo en cuestión.

Figura 22. Válvulas de alivio de presión de la Nueva Estación de GLP

Fuente: Fotografía realizada por el autor del proyecto

Figura 23. Parámetros de entrada del software S-RCM



Fuente: Tomada del Software S-RCM

Para poder iniciar el análisis de S-RCM dentro del RRM, debemos alimentar este software con los parámetros de entrada como nombre de la empresa donde se aplicara el estudio, unidad o planta bajo análisis, ecuación de pérdidas de producción de la planta, costos de horas hombre de los encargados para el mantenimiento, etc., requeridos para cualquiera de los tres análisis que abarca este programa de mantenimiento.

4.1.2 Creación del grupo Interdisciplinar. Como vimos anteriormente todo proceso llamado RCM tiene que responder 7 preguntas básicas para su correcto desarrollo. En la práctica, el personal de mantenimiento simplemente no podría responder cada una de esas preguntas por sí solo, ya que muchas de sus respuestas se salen de sus campos de acción y solo pueden ser contestadas por personal capacitado en otras áreas como operación y producción; por esa razón se debe realizar una revisión de los requisitos de mantenimiento con un grupo de trabajo interdisciplinario que debe estar capacitado en el proceso de S-RCM, este grupo no solo permitirá a los gerentes conocer y absorber la experiencia de cada miembro en una base sistemática, sino que aporta a cada uno un entendimiento mucho más completo del funcionamiento del bien en su contexto operacional.

El grupo interdisciplinar para desarrollar la metodología de S-RCM de las válvulas de alivio de presión de la unidad estudiada se formó con un facilitador, un supervisor de operaciones de la planta, un especialista en confiabilidad de válvulas de alivio de presión, un especialista de planeación de los recursos necesarios para desarrollar correctamente el plan de mantenimiento y por supuesto un especialista en mantenimiento de estos dispositivos como lo describe la siguiente figura.

Figura 24. Grupo de trabajo S-RCM.

Fuente: Autor del proyecto

4.1.2.1 Facilitador. Es una guía para el grupo de RCM, lo que lo convierte en la persona más importante en el proceso y por lo tanto en la más capacitada en cuanto a la metodología y software del S-RCM a emplear, al mantenimiento de plantas de proceso y demás habilidades que deben ser adquiridas para dirigir este tipo de procesos.

4.1.2.2 Supervisor de Operaciones. Esta persona debe contar con amplia experiencia en la operación de la planta. Con ascendencia sobre el equipo de trabajo de la planta que pueda proporcionar todo conocimiento del contexto operacional en el que opera el activo.

4.1.2.3 Especialista de confiabilidad. Persona especializada en el tipo de equipo que se estudia (Estático, Rotativo, Eléctrico e Instrumentos) que tenga gran

experiencia en la inspección y diagnóstico de fallas de los mismos, además de contar con grandes habilidades de trabajo en equipo como todo los demás miembros del grupo de trabajo.

4.1.2.4 Especialista de Planeación. Para este perfil se requiere contar con una persona con experiencia en la planeación y programación de mantenimiento de los equipos bajo consideración en el proceso de S-RCM.

4.1.2.5 Especialista de Mantenimiento. Por último se requiere una persona con experiencia en la ejecución del mantenimiento de los equipos de la planta, en este caso especialistas en la ejecución de mantenimiento para válvulas de alivio de presión.

Es importante recalcar que la categoría de los miembros del grupo es menos importante que el real conocimiento que posean de cómo y en qué condiciones funciona el equipo, es decir, que para la efectividad del desarrollo del proceso de S-RCM, es ideal contar con personas que se encuentren directamente relacionadas con el bien bajo estudio en cada una de las especialidades anteriormente mencionadas.

4.1.3 Recopilación de información. Quizás es la parte más extensa de todo el proceso de S-RCM, debido a la cantidad de información requerida como inventarios, información del funcionamiento y mantenimiento del activo e información de la unidad que se está interviniendo con este estudio, entre otros datos que se van necesitando en el transcurso del desarrollo de todo el plan de mantenimiento.

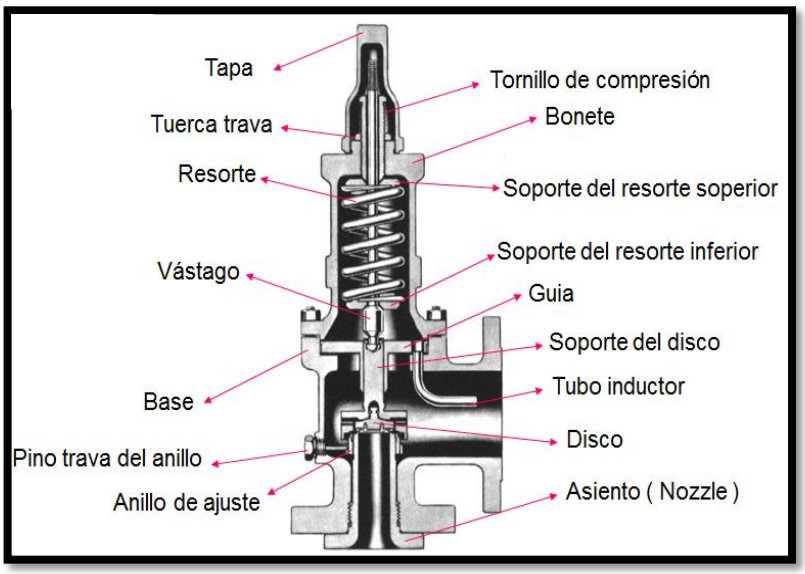
4.1.3.1 Información básica de las válvulas de alivio de presión estudiadas. En casos en los cuales no tengamos amplios conocimientos del equipo que será evaluado en el plan de mantenimiento, es necesario comenzar con una buena

documentación del activo y de los términos que se relacionan con el mismo, lo cual nos permitirá familiarizarnos con el bien observado, logrando agilizar todo el proceso desde sus comienzos.

4.1.3.2 Válvulas de alivio de presión. Una válvula de alivio de presión es un dispositivo que sirve para despresurizar sistemas y retornar posteriormente a la posición cerrada una vez que las condiciones normales de operación se hayan restablecido

4.1.3.3. Funcionamiento. Las válvulas de alivio de presión son diseñadas para que abran cuando exista un exceso de presión y para que vuelvan a cerrar previniendo el flujo de fluido después de que se restauren las condiciones normales de operación. Una válvula de alivio de presión abre cuando la presión de entrada alcanza la presión de abertura. A continuación, permite que el fluido fluya a su presión aguas arriba, cuando la presión cae a la presión de cierre, se cierra, impidiendo que salga flujo de más.

Figura 25. Corte seccional de una válvula de alivio de presión



Fuente: Capacitación ATIVA (Asistente técnica de válvulas), Válvulas de seguridad

4.1.3.4 Clasificación. Las válvulas de alivio de presión pueden ser clasificadas según el fluido de trabajo como también por su modo de operación.

Según el modo en que operan estas válvulas pueden ser clasificadas en:

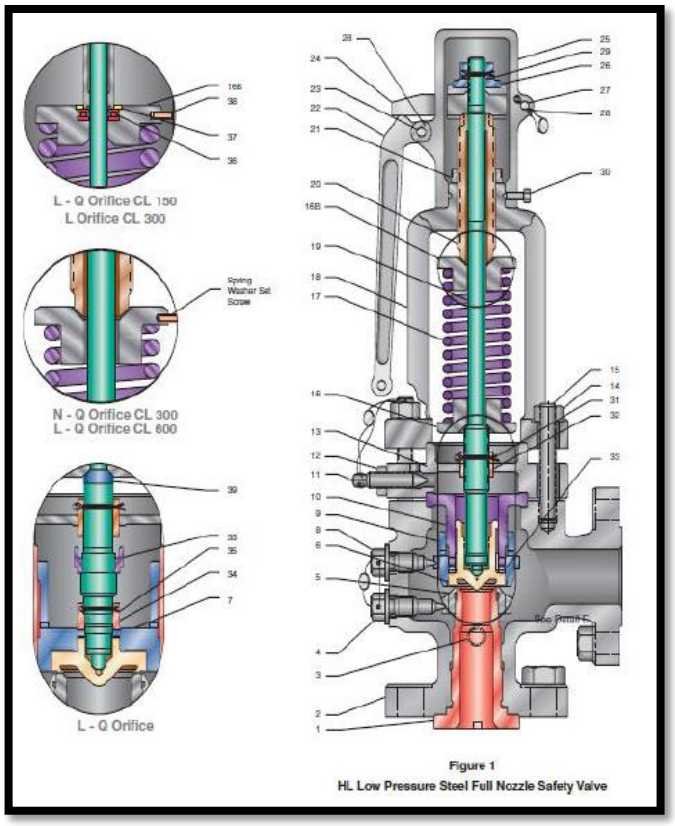
- De acción directa
- De acción piloto

Según el fluido transportado se pueden clasificar en:

- Válvulas de Seguridad
- Válvulas de Alivio
- Válvulas de Seguridad y Alivio

4.1.3.5 Válvulas de seguridad. Una válvula de seguridad es un dispositivo automático que alivia la presión por medio de la operación de la presión estática aguas arriba de dicha válvula. Se caracteriza por una apertura total “pop action”, que es producida en fluidos expandibles por la cámara acumuladora de presión. Siendo utilizada por tal razón para servicios que involucren fluidos como gas o vapor.

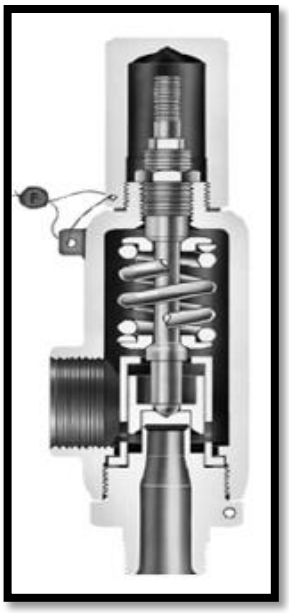
Figura 26. Válvula de Seguridad



Fuente: Catalogo: Crosby Style HL Low Pressure Steel Full Nozzle Safety Valves

4.1.3.6 Válvulas de alivio. Las válvulas de alivio son dispositivos automáticos de alivio de presión operados por la presión aguas arriba de la válvula, caracterizadas por una apertura proporcional al incremento de la presión con respecto a la presión de apertura. Esta válvula es utilizada en servicios que contengan fluidos incompresibles. El levantamiento del disco es en proporción a la sobrepresión por encima de la presión de disparo

Figura 27.Valvula de alivio FARRIS Series 1890/1896M

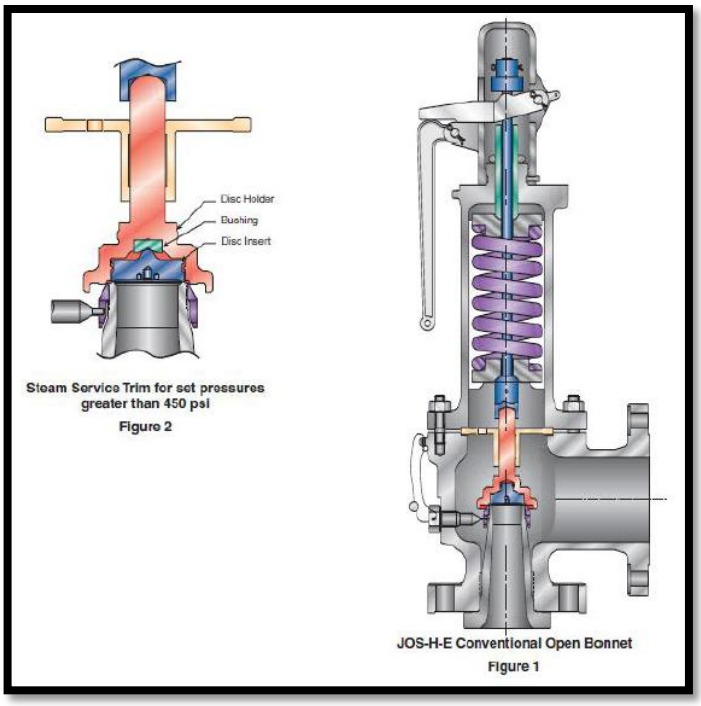


Fuente: Catalogo FARRIS Security and Relief Valves

4.1.3.7. Válvulas de seguridad y alivio. Dispositivos automáticos de alivio de presión que pueden ser usados como válvula de se seguridad y como válvula de alivio de presión dependiendo de la aplicación en la cual se requiera. La mayoría de estas válvulas de las válvulas de alivio de presión que se encuentran en el mercado son diseñadas como válvulas de seguridad y alivio, debido a su versatilidad en la operación.

La planta estudiada en el análisis de S-RCM cuenta con válvulas de alivio de presión, con válvulas de seguridad y alivio y con válvulas de alivio de presión pilotadas; donde el análisis de las primeras dos clases se hace muy similar debido a que sus características físicas se asemejan mucho, mientras que el de la tercera clase difiere a las demás en el análisis que se le hace al piloto que se diferencia un poco a la válvula principal de esta, como lo veremos a continuación.

Figura 28. Válvula de seguridad y alivio

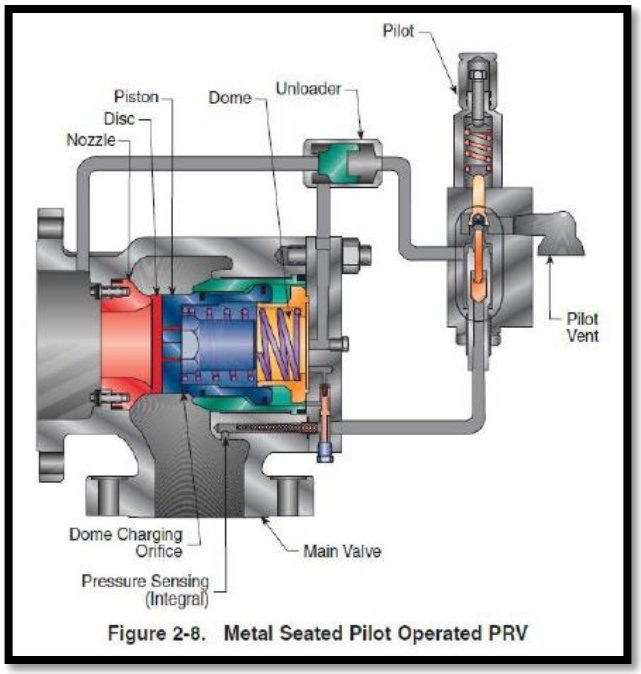


Fuente. Catalogo: Series JOS-E, JBS-E, JLT-JOS-E, JLT-JBS-E, JOS-H-E 2008

4.1.3.8. Válvulas de alivio de presión pilotadas. Estas válvulas poseen una unidad de control que determina cuando la válvula principal abrirá y en qué proporción, otorgando cierto grado de control sobre la presión diferencial.

Su principal operación es en sistemas de alta presión que requieren utilizar todo el rating de la brida de entrada y descarga de la válvula principal o cuando hay poca diferencia entre la presión de ajuste y la máxima presión de operación permitida.se aplican también cuando se requiere muy baja descarga.

Figura 29. Válvula de alivio de presión operada por piloto



Fuente. Catalogo: Anderson Greenwood Crosby-technical seminar manual

4.1.3.9. Terminología asociada a las válvulas de alivio de presión. Entre la terminología más común que rodea a estos dispositivos de alivio de presión tenemos:

- **Presión de disparo (Set Pressure).** Es la presión a la cual abre la válvula y alivia a través del sistema de descarga. Esta presión se tara por medio del ajuste de un muelle que proporciona la fuera de oposición a l apertura de la válvula.
- **Contrapresión (Back Pressure).** Es la presión estática existente a la salida de la válvula debido a presiones propias al sistema de descarga.
- **Contrapresión constante (Cosntant Backpressure).** Contrapresión que no cambia apreciablemente si la válvula está abierta o cerrada
- **Contrapresión variable (Variable Backpressure).** Contrapresión que cambia de acuerdo a las condiciones de operación.

- **Sobrepresión (Overpressure).** Incremento de presión sobre la presión de disparo a la cual se encuentra tarada la válvula. Este incremento de presión se representa como un porcentaje de la misma presión de disparo.
- **Blowdown.** Es la diferencia de presión existente entre la presión de disparo (Set Pressure) y la presión actual a la cual la válvula vuelve a cerrar. Esta presión usualmente se presenta como un porcentaje de la presión de Set Pressure.

4.1.4. Información recopilada. Estando familiarizado con el tipo de información de los equipos bajo estudio que podía encontrar, se procedió a recopilar la información básica para la gestión mantenimiento de estos activos, teniendo en cuenta que para el Departamento del Materias Primas y Productos de la refinería de Barrancabermeja no se había hecho anteriormente ninguna recopilación de información de las válvulas de seguridad y alivio de presión de ese Departamento, lo cual hacia que esta fase fuera más extensa y que estuviera guiada por uno de los ingenieros de la Coordinación de Inspección e Integridad de Equipos, quien con su experiencia en estos y otros dispositivos ayudó a determinar que tipo de información sería relevante para el plan de mantenimiento.

Además se estableció la necesidad de elaborar un instructivo para el manejo de la herramienta S-RCM, el cual, al enfocarnos en él nos podía dar información útil de los datos que debíamos recopilar para la elaboración de esta estrategia de mantenimiento.

4.1.4.1 Instructivo para el uso de la herramienta S-RCM. Con la ayuda de los tres manuales de la herramienta S-RCM que adaptó la empresa SHELL para aplicar RCM en la industria petrolera y con el desarrollo de este proyecto, se elaboró una guía para el uso de esta herramienta en el dispositivo que se vaya a emplear, debido a que en la Coordinación de Inspección e Integridad de Equipos Estáticos de la refinería de Barrancabermeja es la primera vez que se incursiona

en esta herramienta como ayuda para los mantenimientos de ciertos equipos de los cuales se encarga esta Coordinación.

Esta herramienta se encuentra en el sistema de información de la Coordinación de Inspección e Integridad de Equipos Estáticos de la refinería de Barrancabermeja, donde se muestran las siguientes imágenes a protección con el sistema de mantenimiento centrado en confiabilidad de Shell (S-RCM)

Figura 30. Instructivo para el uso de la herramienta S-RCM

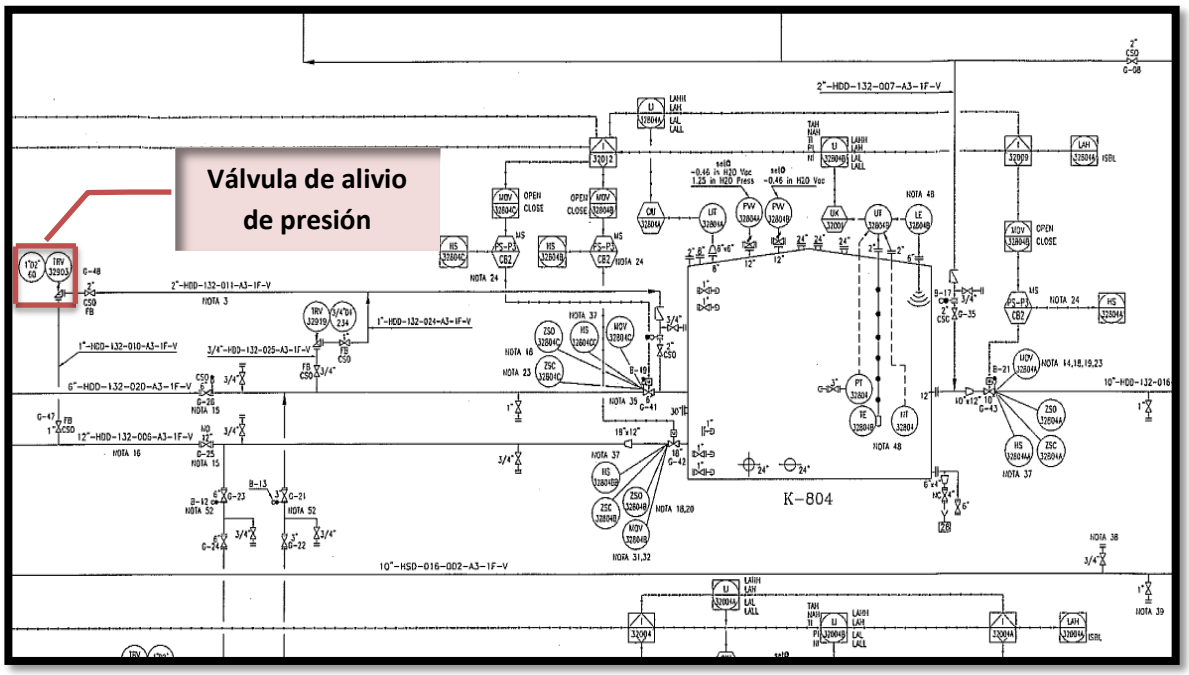
Fuente: Tomadas del instructivo para el uso de la herramienta S-RCM realizado por el autor del proyecto

4.1.4.2. Información a recopilar de los equipos en análisis. Inicialmente se planteó la necesidad de realizar un inventario de las válvulas de alivio de presión de todo el Departamento de Materias Primas y Productos desde los tres campos donde están involucradas estas válvulas dentro de la organización interna de

ECOPETROL S.A, de modo que se pueda hacer una comparación para determinar la verdadera información actual. Los tres campos son:

4.1.4.3 Información de P&ID. Los P&ID son los diagramas de proceso que usa la refinería para seguir los procesos y equipos que interfieren en estos desde la parte del diseño, es decir, que son los planos que describen cierto proceso en especial, del cual se puede tomar información como la cantidad de válvulas de alivio de presión que participan del mismo.

Figura 31. Válvula de alivio de presión en P&ID



Fuente: P&ID de Materias Primas

De los P&ID del Departamento de Materias Primas y Productos de la refinería de Barrancabermeja, se sustrajo información de 445 válvulas de alivio de presión que deben considerarse en los procesos de los que hacen parte. Estas válvulas se encuentran repartidas en las estaciones de ese Departamento de la siguiente manera:

Tabla 1.Resultados de válvulas registradas en P&ID

	VÁLVULAS ENCONTRADAS EN P&ID											
ESTACIÓN	NUEVA GLP	CB 9	CB 2	CB 4	CB 5	CB 8	CB 6 Y 7	CB 1	CB A	CB B	CB C	TOTAL
CANT. VÁLVULAS	39	69	104	32	61	88	40	0	5	6	1	445

Fuente: Realizada por el autor del proyecto

4.1.4.4 Información de ELLIPSE. El software Ellipse®, es la herramienta corporativa utilizada por las áreas de mantenimiento de ECOPETROL S.A, para soportar en general los procesos de mantenimiento, y en particular para asegurar la adecuada planeación, programación, ejecución y control de actividades, optimizar la gestión de inventarios de repuestos y atender los requerimientos de las áreas operativas.

En esta herramienta a medida que se intervenía una válvula ya fuese por daño o mantenimiento, se realiza un registro de la información más importante para el mantenimiento de esta válvula, por lo tanto se encontraron registros de válvulas que debían compararse con la información real a la fecha.

Se encontraron un total de 295 válvulas registradas en el sistema de información ELLIPSE distribuidas de la siguiente manera:

Tabla 2.Resultados de válvulas registradas en Ellipse

	VÁLVULAS ENCONTRADAS EN ELLIPSE											
ESTACIÓN	NUEVA GLP	CB 9	CB 2	CB 4	CB 5	CB 8	CB 6 Y 7	CB 1	CB A	CB B	CB C	TOTAL MP
CANT VÁLVULAS	35	34	77	28	38	35	32	3	5	4	4	295

Fuente: Realizada por el autor del proyecto

4.1.4.5 Información de CAMPO. Es la información más importante de los tres inventarios, debido a la desactualización de los inventarios anteriores, con los

cuales no hay certeza de lo que realmente está en funcionamiento y de lo que ya no, por esta razón esta información nos permitirá comparar los tres inventarios para clarificar los resultados.

Para la recopilación de esta información, se realizó la visita a campo de todas las válvulas de alivio de presión del Departamento de Materias Primas y Productos, donde de cada válvula se realizó un registro y toma de fotografías donde quedara evidencia de los datos más importantes de su placa de fabricante y de mantenimiento como el Set Pressure, Tag (nombre interno de la válvula de fábrica), serial, marca, modelo, ubicación geográfica y diámetros de entrada y salida.

Tabla 3.Resultados de válvulas halladas en campo

	VÁLVULAS ENCONTRADAS EN CAMPO											
ESTACIÓN	**NUEVA GLP**	**CB 9**	**CB 2**	**CB 4**	**CB 5**	**CB 8**	**CB 6 Y 7**	**CB 1**	**CB A**	**CB B**	**CB C**	**TOTAL MP**
CANT. VÁLVULAS	**34**	**62**	**77**	**21**	**55**	**89**	**13**	**4**	**5**	**4**	**4**	368

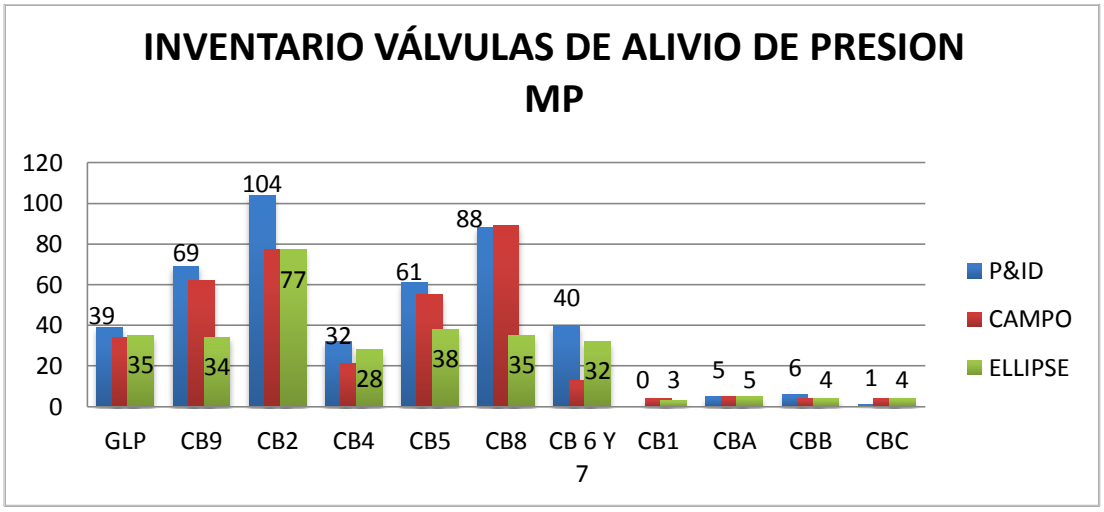
Fuente: Realizada por el autor del proyecto

En esta búsqueda se encontraron 368 válvulas, luego que esta cantidad de equipos son los que se encuentran realmente en operación en el Departamento de Materias Primas y Productos en estos momentos.

Como podemos ver en las tres fuentes de información recopilada, existe una incongruencia en los datos encontrados, por lo tanto además llegar a conocer el verdadero estado actual de las válvulas en este Departamento , también se aprovecha de esta información para realizar una actualización de modo que se puedan nivelar los tres tipos de inventarios para que cada válvula existente en campo se encuentre correctamente localizada en su correspondiente diagrama de

proceso y debidamente caracterizada en la herramienta corporativa de información ELLIPSE.

Figura 32.Resultados finales de los tres inventarios para cada una de las estaciones

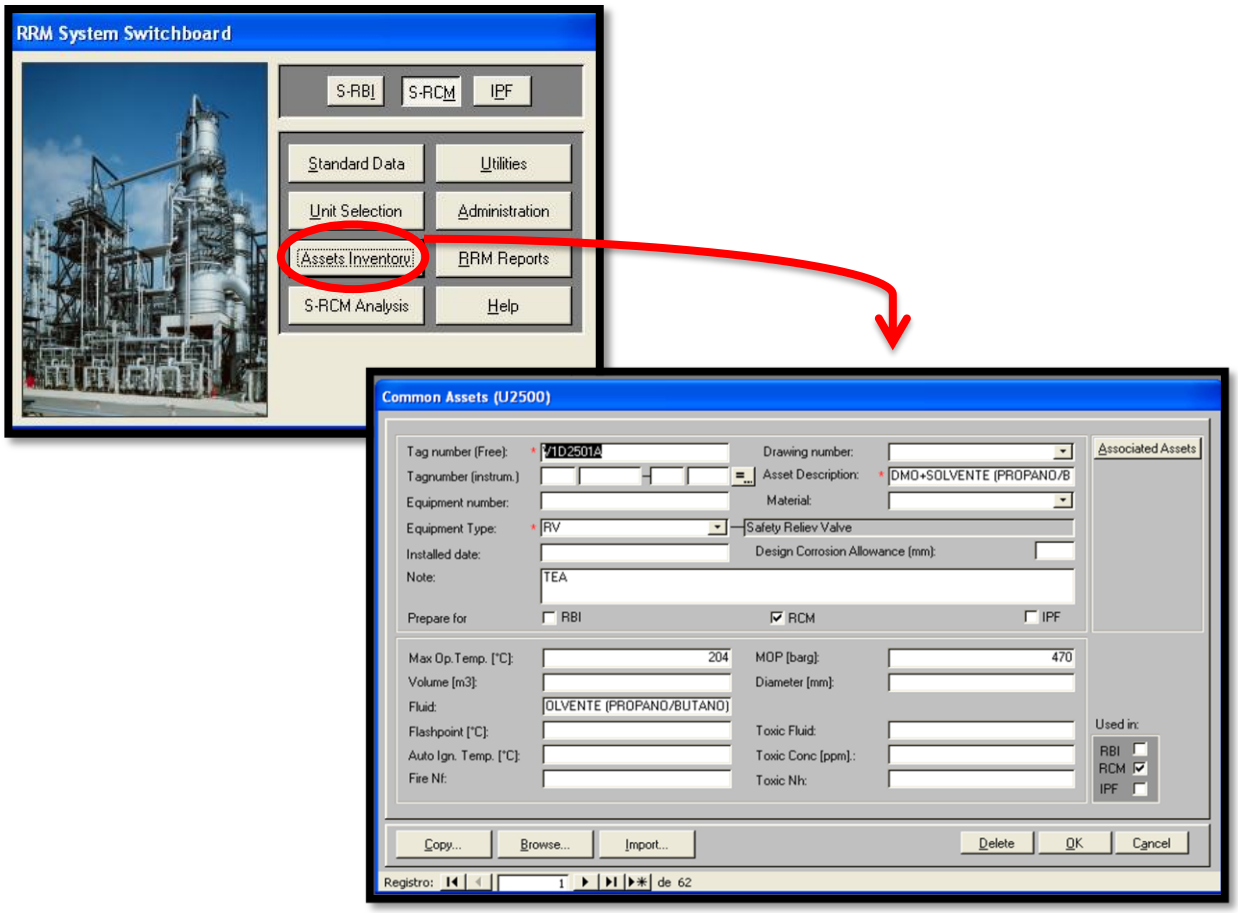


Fuente: Autor del proyecto

Esta grafica nos demuestra la gran necesidad de aplicar mantenimiento una vez se tenga actualizada la información, ya que estás diferencias en los inventarios dejan ver que no hay un control total de todas las válvulas y que posiblemente muy pocas se estén interviniendo con un mantenimiento predictivo.

Por esto se plantea la implementación de la estrategia S-RCM en la nueva estación de GLP para luego extenderlo por el resto de las estaciones de Materias Primas y Productos, por lo tanto se registraron los datos más relevantes para el software de las válvulas de alivio de presión de esa estación de la siguiente manera en el recuadro de inventario de activos de este programa

Figura 33. Registro de válvulas bajo análisis en el software S-RCM



Fuente: Tomada del software S-RCM

Esta ventana tiene una ayuda importante:

la cual nos permite importar los datos de los dispositivos que ingresemos al inventario desde un formato en Excel que viene preestablecido para este fin, de tal manera que se facilite el ingreso de los equipos bajo análisis al sistema.

Figura 34.Macro en Excel para cargar información de activos al sistema de S-RCM

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Tag number	Tagnumborp1	Tagnumborp2	Tagnumborp3	Tagnumborp4	AssetDescription	Equipment Type	Material	Drawing	InstalledDate	Equipment number
V1PROV3B					VALVULA DE ALIVIO DE SEGURIDAD	RV	Body and Bonnet Material: Carbon Steel, Seat / Disc Material: SS		03/06/1997	
V1PROV3A					VALVULA DE ALIVIO DE SEGURIDAD	RV	Body and Bonnet Material: Carbon Steel, Seat / Disc Material: SS		03/06/1997	
V11LGLP1					VALVULA DE ALIVIO DE SEGURIDAD	RV	Body and Bonnet Material: Carbon Steel, Seat / Disc Material: SS		03/06/1997	
V9LGLP1					VALVULA DE ALIVIO DE SEGURIDAD	RV	Body and Bonnet Material: Carbon Steel, Seat / Disc Material: SS		03/06/1997	
V13LGLP1					VALVULA DE ALIVIO DE SEGURIDAD	RV	Body and Bonnet Material: Carbon Steel, Seat / Disc Material: SS		03/06/1997	
V1LGLP1					VALVULA DE ALIVIO DE SEGURIDAD	RV	Body and Bonnet Material: Carbon Steel, Seat / Disc Material: SS		03/06/1997	
V5LGLP1					VALVULA DE ALIVIO DE SEGURIDAD	RV	Body and Bonnet Material: Carbon Steel, Seat / Disc Material: SS		03/06/1997	
V4LGLP1					VALVULA DE ALIVIO DE SEGURIDAD	RV	Body and Bonnet Material: Carbon Steel, Seat / Disc Material: SS		03/06/1997	
V8LGLP1					VALVULA DE ALIVIO DE SEGURIDAD	RV	Body and Bonnet Material: Carbon Steel, Seat / Disc Material: SS		03/06/1997	
V1LBUTAN1					VALVULA DE ALIVIO DE SEGURIDAD	RV	Body and Bonnet Material: Carbon Steel, Seat / Disc Material: SS		03/06/1997	
V6LGLP1					VALVULA DE ALIVIO DE SEGURIDAD	RV	Body and Bonnet Material: Carbon Steel, Seat / Disc Material: SS		03/06/1997	
V3LGLP1					VALVULA DE ALIVIO DE SEGURIDAD	RV	Body and Bonnet Material: Carbon Steel, Seat / Disc Material: SS		03/06/1997	
V2D3160					VALVULA DE ALIVIO DE SEGURIDAD	RV	Body and Bonnet Material: Carbon Steel, Seat / Disc Material: SS		03/06/1997	
V1D3160					VALVULA DE ALIVIO DE SEGURIDAD	RV	Body and Bonnet Material: Carbon Steel, Seat / Disc Material: SS		03/06/1997	
V1D3162					VALVULA DE ALIVIO DE SEGURIDAD	RV	Body and Bonnet Material: Carbon Steel, Seat / Disc Material: SS		03/06/1997	
V2D3162					VALVULA DE ALIVIO DE SEGURIDAD	RV	Body and Bonnet Material: Carbon Steel, Seat / Disc Material: SS		03/06/1997	

Fuente: Tomada de la opción “IMPORT” del software S-RCM

4.1.5. Ventajas de la recopilación de información. Disponer de la información básica de los equipos que estamos analizando, dio la posibilidad de planear y utilizar estrategias y herramientas que nos sirvieran de soporte en la gestión de estos activos, por eso durante este proceso y al tener en cuenta las ayudas del sistema ELLIPSE y las necesidades que tienen los ingenieros de Inspección de la Coordinación de Inspección e Integridad de Equipos de la refinería de Barrancabermeja que se encargan de las válvulas de alivio de presión, se actualizaron dos bases de datos de gestión de activos de gran uso y se elaboraron unos formatos de inspección que contienen toda la información recopilada en la búsqueda.

4.1.5.1 Actualización de la caracterización de las válvulas de alivio de presión del Departamento de Materias Primas y Productos. Con el fin de actualizar la información registrada en ELLIPSE y aprovechando la nueva información obtenida tras su recopilación, se realizó un análisis de cada válvula

de acuerdo a los resultados obtenidos en sus inventarios, emitiendo unas consideraciones que determinaran el paso a seguir con este tipo de activos de la siguiente manera:

Tabla 4. Análisis de resultados obtenidos en inventarios de P&ID, Ellipse y campo.

TABLA DE RESULTADOS FINALES				
VÁLVULA	**INVENTARIO P&ID**	**INVENTARIO ELLIPSE**	**INVENTARIO CAMPO**	**COMENTARIOS**
TRV XXXX	√	√	√	OK
	X	√	√	OK
	√	X	√	CREAR EN ELLIPSE
	X	X	√	CREAR EN ELLIPSE
	√	√	X	LISTAR CON ING PROCESO
	X	√	X	LISTAR CON ING PROCESO
	√	X	X	LISTAR CON ING PROCESO

Fuente: Realizada por el autor del proyecto.

Dependiendo de la situación de cada equipo con respecto a, si se encontró o no en cierto inventario especifico, se tendrían tres consideraciones en cuenta para su clasificación:

- Válvulas OK: Este tipo de válvulas no tendrían que ser actualizadas por que se encontraban correctamente relacionadas en cada uno de los inventarios realizados.

- Válvulas para crear en ELLIPSE: Este tipo de válvulas debían ser caracterizadas por que no había información alguna de ellas en el sistema de información, es decir que no se encontraron en ese inventario.

- Válvulas para listar con ingeniero de proceso: Las válvulas pertenecientes a esta clasificación debían ser dirigidas a un segundo análisis por parte del Ingeniero de procesos del Departamento de Materias Primas quien definiría que hacer con ellas, ya sea porque los datos de sus inventarios no correspondían, porque se encontraban obsoletas o porque sencillamente se encontraban en un inventario y en los otros dos no.

Los resultados en cantidades de válvulas para cada una de las estaciones del Departamento de Materias Primas fueron los siguientes:

Tabla 5. Resultados del análisis de los inventarios de P&ID, Ellipse y campo.

CONSIDERACIÓN	GLP	CB.9	CB.2	CB.4	CB.5	CB.8	CB.6Y7	CB.1	CB.A	CB.B	CB.C	TOTAL
VÁLVULAS OK	35	30	68	21	37	31	12	3	5	4	4	250
LISTAR CON ING PROCESO	0	10	31	9	11	10	28	0	0	2	0	101
CREAR EN ELLIPSE	3	31	8	0	16	54	0	0	0	0	0	112

Fuente: Realizada por el autor del proyecto

Como podemos ver se necesitaba crear 112 válvulas en ELLIPSE, número que se redujo a 85 válvulas por que 27 de las 112 se terminaron listando a la clasificación que implica listarlas al ingeniero de proceso porque no se contaba con la suficiente información para caracterizarlas. La caracterización de estas 85 válvulas se realizó con ayuda de un grupo de personas que se encontraban empleados como contratistas para este fin, obteniendo primero que todo con los manuales y los proveedores de las válvulas de alivio de presión que se habían comprado en la refinería, la información necesaria para registrarlas en ELLIPSE de tal forma que siguiera los lineamientos impuestos para el registro de equipos en el sistema.

Información de las válvulas como marca, diámetros de entrada y salida, serial, material, tipo de orificio, ubicación geográfica, set de presión, modelo, fluido transportado entre otros datos fueron subidos al sistema para cada una de las 85

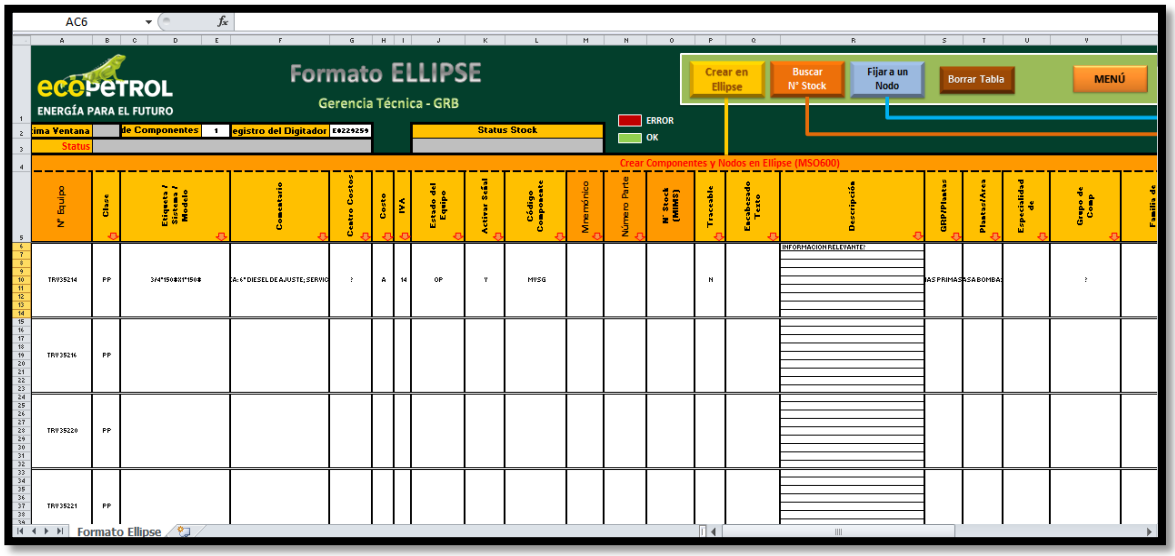
válvulas por medio de una macro de Excel creada en ECOPETROL S.A para facilitar el traspaso de información hacia el sistema ELLIPSE.

Figura 35.Información caracterizada en ELLIPSE.

VALVULAS POR CREAR EN ELLIPSE									
DATOS VALVULAS FARRIS									
D	A	23	1	2	0				
orificio D=0.125	METAL SEAT	3/4"**1"	LANGE 150-F	CAP PLAIN	NO GAD				
DATOS VALVULAS CONSOLIDATED									
096-ORIFICE SIZ	M-RANGO PRESION 291	C-CLASE TEMPER	O-TEMPE R	CC-MATERIA	DA-SEAT TYPE-SA	31-CAP LEVER-SCREWED	150#R.F		
DATOS TECVAL									
ORIFICIO E=0,215 in^2		BRIDAS ANSI 150							
CB9									
TAG FABRICA	SET				SERIAL	MARCA	DIAMETRO ENTRADA	DIAMETRO SALIDA	UBICACIÓN GEOGRAFICA
TRV 35214	140	SI	NO	SIN INFO	7722	TECVAL	3/4"	1"	ZONA NUDO B
TRV 35216	140	SI	NO	SIN INFO	7724	TECVAL	3/4"	1"	ZONA NUDO B
TRV 35220	150	SI	NO	SIN INFO	7732	TECVAL	3/4"	1"	ZONA NUDO B
TRV 35221	150	SI	NO	SIN INFO	7733	TECVAL	3/4"	1"	ZONA NUDO A
35217 (MARCAD	140	SI	NO	SIN INFO	NO TIENE PLACA	TECVAL	3/4"	1"	ZONA NUDO A
TRV 35225	185	SI	NO	SIN INFO	7726	TECVAL	3/4"	1"	ZONA NUDO A
TRV 35215	140	SI	NO	SIN INFO	7723	TECVAL	3/4"	1"	ZONA NUDO A
TRV 35218	125	SI	NO	SIN INFO	7720	TECVAL	3/4"	1"	ZONA NUDO A
TRV 35219	130	SI	NO	SIN INFO	7721	TECVAL	3/4"	1"	ZONA NUDO A
TRV 35229	145	SI	NO	SIN INFO	7731	TECVAL	3/4"	1"	ZONA NUDO A
TRV 35222	145	SI	NO	SIN INFO	7730	TECVAL	3/4"	1"	ZONA NUDO A
TRV 35226	100	SI	NO	SIN INFO	7718	TECVAL	3/4"	1"	ZONA NUDO A
TRV 35227	90	SI	NO	SIN INFO	7717	TECVAL	3/4"	1"	ZONA NUDO A
TRV 35228	105	SI	NO	SIN INFO	7719	TECVAL	3/4"	1"	ZONA NUDO A
TRV 39508	225	SI	NO	SIN INFO	TN65734	CONSOLIDATED	3/4"	1"	ZONA NUDO D
TRV 39501	225	SI	NO	SIN INFO	TN65760	CONSOLIDATED	3/4"	1"	ZONA NUDO D
CB2									
TRV 32014	221	SI	NO	SIN INFO	481286-19-KE	FARRIS	3/4"	1"	ZONA T
TRV 32016	221	SI	NO	SIN INFO	481286-21-KE	FARRIS	3/4"	1"	ZONA T
TRV 32180	221	SI	NO	SIN INFO	481286-46-KE	FARRIS	3/4"	1"	ZONA T
TRV 32132	221	SI	NO	SIN INFO	481286-3-KE	FARRIS	3/4"	1"	ZONA S
TRV 32120	221	SI	NO	SIN INFO	481286-32-KE	FARRIS	3/4"	1"	ZONA S

Fuente: Realizada por el autor del proyecto

Figura 36. Macro para cargar los de caracterización de equipos del sistema ELLIPSE



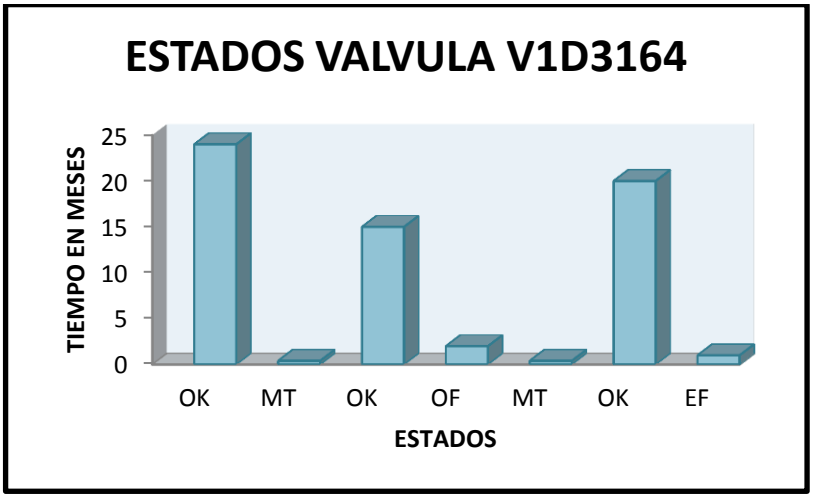
Fuente: Tomada de Macro Ellipse

4.1.5.2 Reporte de estado de las válvulas de alivio de presión del Departamento de Materias Primas y Productos. Los reportes de estados se realizaron en ELLIPSE por medio de una macro en Excel, con el fin de tener un registro o una línea de tiempo de los estados de la válvula, es decir, del comportamiento de esta durante el tiempo de operación desde la fecha de su instalación, para así obtener unas curvas o establecer unas frecuencias de mantenimiento que ayuden a ajustar la frecuencia de tareas en un cualquier estrategia que se emplee como en este caso un RCM.

Los estados posibles para reportar en el sistema son:

- OP: operando OK
- OF: operando en falla
- EF: en falla
- MT: mantenimiento
- SB: stand by
- SF: stand by en falla
- FS: fuera de servicio

Figura 37. Línea de tiempo de la válvula V1D3164



Fuente: Realizada por el autor del proyecto

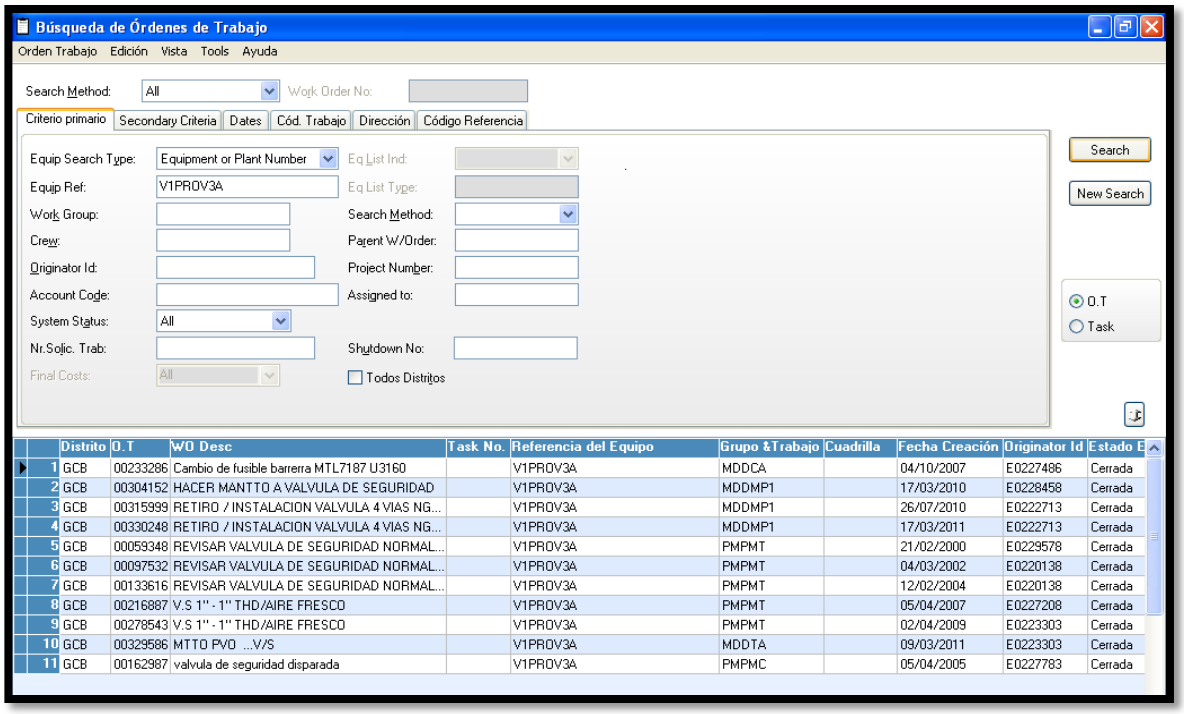
Un reporte de estados se basa en las fechas de las OT's (ordenes de trabajo de la válvula) para registrar los estados que ha tenido la misma. Estás son creadas por el inspector, quien programa una serie de tareas (alcance técnico) para la válvula. Después el planeador se encarga de establecer los recursos necesarios para el desarrollo de las tareas, por ejemplo: las cuadrillas necesarias, andamios, grúa, etc. Posteriormente el taller se encarga de recibir las válvulas que ya cumplieron un periodo sin mantenimiento y realizan la prueba preliminar revisando en qué estado se encuentran, con lo que determinan que tareas de las que programó el inspector son necesarias dependiendo de lo que presente la válvula.

Después de haber realizado el respectivo mantenimiento y de haber puesto nuevamente la válvula en funcionamiento, el planeador nuevamente intervienen en la OT, revisando los costos de las tareas como las horas hombre, materiales, etc. Finalmente cierra la OT, que había sido generada, debido a la frecuencia que se había establecido para el mantenimiento de las válvulas.

Por esto además de ser muy útil reportar los estados de las válvulas para determinar frecuencias de mantenimiento, también lo es para determinar costos, horas hombre, recursos necesarios entre otros aspectos que se necesitan a la hora de establecer una estrategia de mantenimiento.

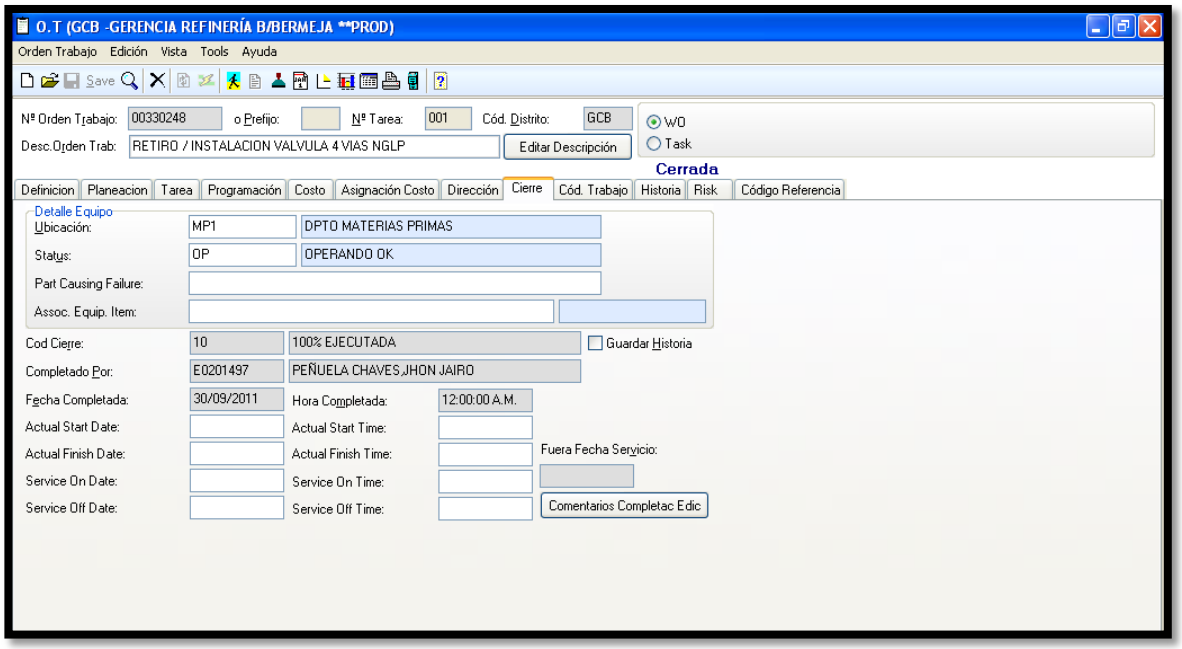
Como ya se había mencionado, con ayuda de otra macro existente para cargar reportes de estados al sistema de información ELLIPSE, se buscó primero que todo el estado actual de la válvula, y se agregaron los estados de las válvulas que no habían sido llevados a este software después de haber buscado la última OT de mantenimiento cerrada. Esta labor fue revisada y realizada para todas las válvulas encontradas en campo.

Figura 38.OT's generadas para la válvula V1PROV3A



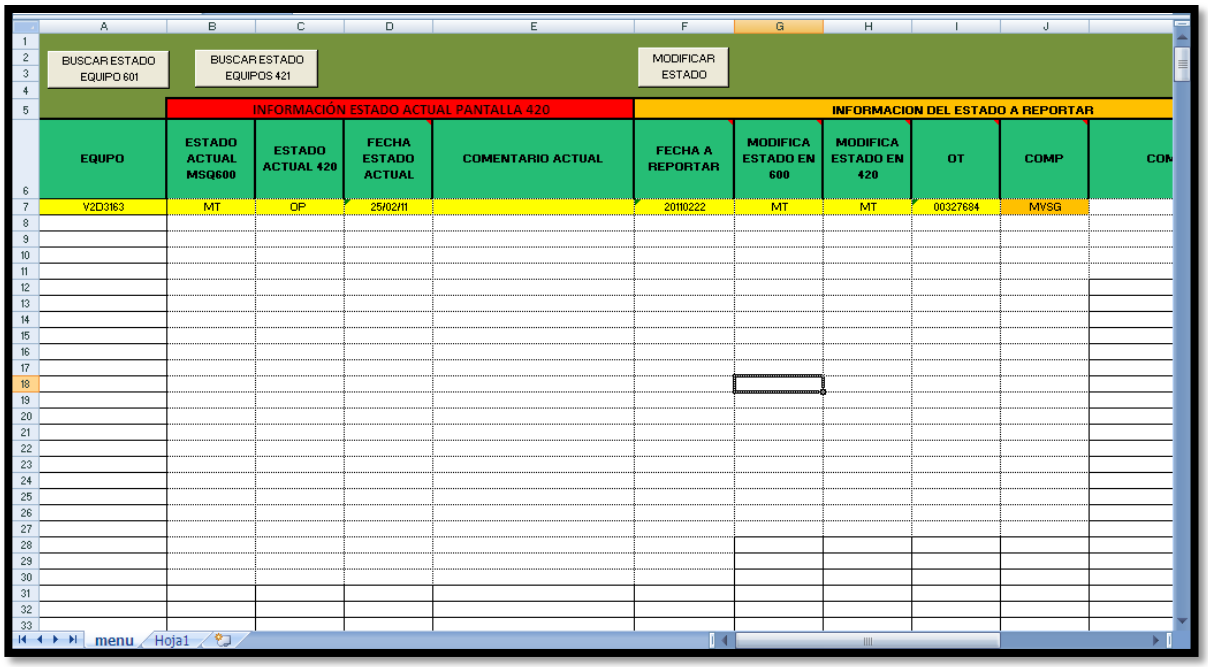
Fuente: Tomada del Sistema de Información Ellipse

Figura 39.Estado y porcentaje de ejecución de la OT



Fuente: Tomada del Sistema de Información Ellipse

Figura 40.Verificación y reporte de estados según la OT en la macro



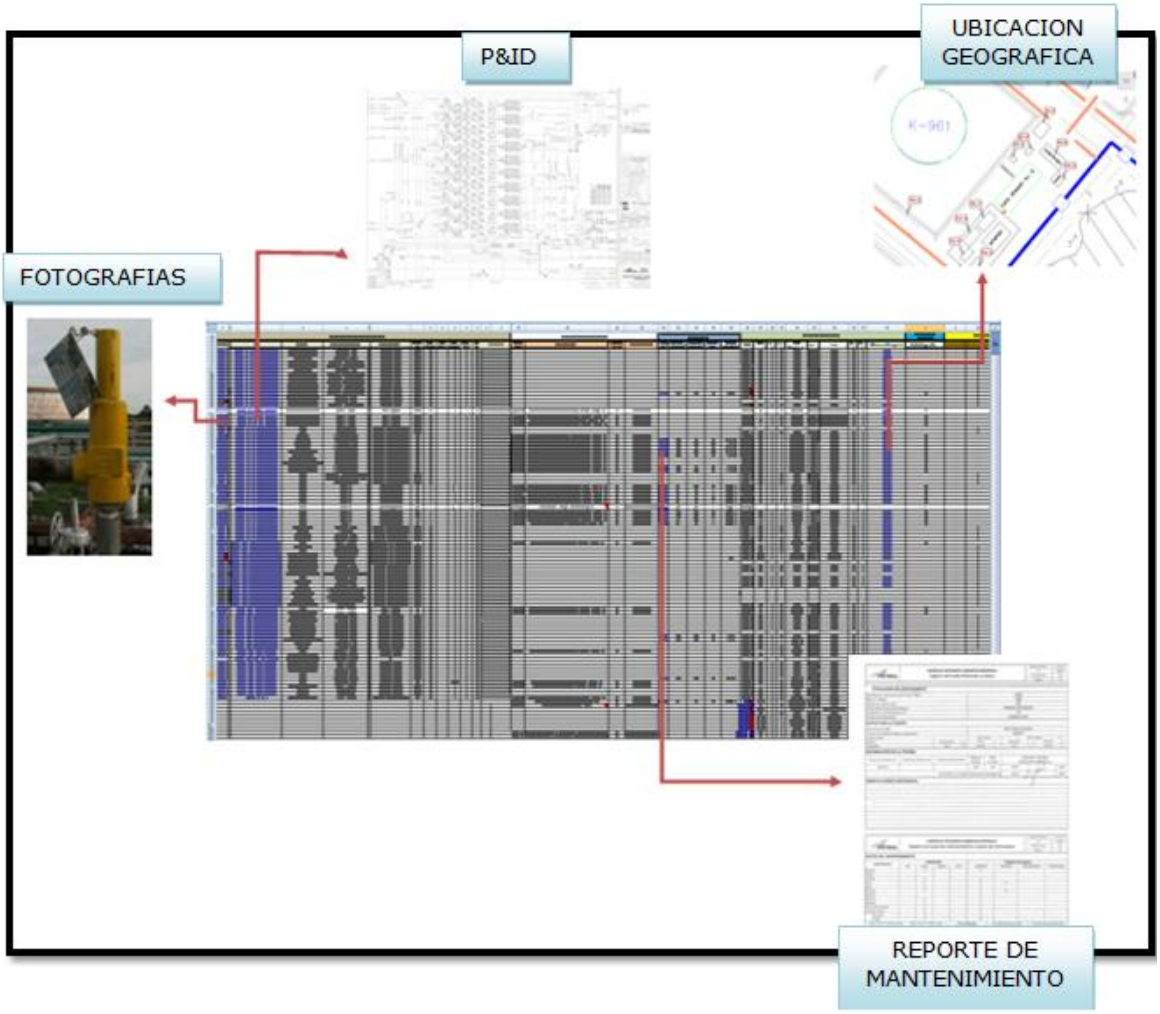
Fuente: Tomada de Macros de verificación y reporte de OT's

4.1.5.3. Formatos de inspección para las válvulas de alivio de presión del Departamento De Materias Primas y Productos identificadas en campo. Finalmente otra de las ventajas de contar con la información del equipo que estemos analizando en una estrategia de mantenimiento, es disponer de todos esos datos de una forma ordenada, de tal forma que su búsqueda se facilite para cualquier persona que no haya tenido un manejo directo de cómo y que significa la información que se ha recopilado. Por esto se realizaron unos formatos de inspección para cada estación del Departamento de Materias Primas y Productos de la refinería de Barrancabermeja donde además de estar relacionada la información antes mencionada de los inventarios de campo, ELLIPSE, P&ID y reporte de estados, se mostró otro tipo de información importante como los respectivos comentarios de casos especiales en cada uno de los Tag's de las válvulas pertenecientes a este grupo, los resultados que nos guiaban a la

caracterización o no de las válvulas y algunos hipervínculos que muestran aspectos relevantes como:

- Fotos de la válvula, placa de fabricante y de mantenimiento
- P&ID al que pertenece la válvula
- Reportes de mantenimiento de las válvulas
- Ubicación geográfica de cada válvula en un plano diferente para cada estación de Materias Primas

Figura 41. Formatos de inspección completo



Fuente: Realizado por el autor del proyecto

Se realizaron once (11) formatos de inspección para aproximadamente 450 válvulas de alivio de presión que se encontraban registradas en los inventarios realizados

Figura 42.Información de P&ID del formato de inspección

INFORMACION DE DISEÑO SEGÚN P&ID

#	VALVULA		PID	FLUIDO	EQUIPO PROTEGIDO		DESCARGA A	PRESION SET	DIAMETRO	BOQUILLA	DIAMETRO SALIDA	V.BLOQUE	BY PASS	COMENTARIOS
	PSV31630B	√	A-52360-33-67-1-05-013-1-5	GLP	PROVER GRANDE	Z	TEA	557	1"		1"	SI	NO	V.BLOQUE DESPUES-SIN DATA
	PSV31630A	√	A-52360-33-67-1-05-013-1-5	BUTANO	PROVER PEQUEÑO	Z	TEA	438	1"		1"	SI	NO	V.BLOQUE DESPUES-SIN DATA
	PSV31620	√	A-52360-33-67-1-05-013-1-5	GLP	6"-GLP-67013002-11	L	TEA	255	1"		1"	SI	NO	V.BLOQUE ANTES Y DESPUES
	PSV31623	√	A-52360-33-67-1-05-013-1-5	GLP	3"-GLP-67013005-11	L	TEA	255	1"		1"	SI	0	V.BLOQUE ANTES Y DESPUES
	PSV31625	√	A-52360-33-67-1-05-013-1-5	GLP	6"-GLP-67013021-11	L	TEA	552	1"		1"	SI	NO	V.BLOQUE ANTES Y DESPUES
	PSV31613	√	A-52360-33-67-1-05-013-1-5	GLP	6"-GLP-67013001-11	L	TEA	255	1"		1"	SI	NO	V.BLOQUE ANTES Y DESPUES
	PSV31615	√	A-52360-33-67-1-05-013-1-5	GLP	6"-GLP-67013003-11	L	TEA	255	1"		1"	SI	NO	V.BLOQUE ANTES Y DESPUES
	PSV31617	X	A-52360-33-67-1-05-013-1-5	GLP	3"-GLP-67013005-11	L	TEA	255	1"		1"	SI	NO	V.BLOQUE ANTES Y DESPUES
	PSV31619	X	A-52360-33-67-1-05-013-1-5	BUTANO	3"-BUT-67013007-11	L	TEA	255	1"		1"	SI	NO	V.BLOQUE ANTES Y DESPUES
	PSV31621	√	A-52360-33-67-1-05-013-1-5	GLP	6"-GLP-67013003-11	L	TEA	255	1"		1"	SI	NO	V.BLOQUE ANTES Y DESPUES
	PSV31622	√	A-52360-33-67-1-05-013-1-5	GLP	5"-GLP-67013004-11	L	TEA	557	1"		1"	SI	NO	V.BLOQUE ANTES Y DESPUES
	PSV31626	√	A-52360-33-67-1-05-013-1-5	BUTANO	3"-BUT-67013007-11	L	TEA	255	1"		1"	SI	NO	V.BLOQUE ANTES Y DESPUES
	PSV 31614	X	A-52360-33-67-1-05-013-1-5	GLP	6"-GLP-67013001-11	L	TEA	255	1"		1"	SI	NO	V.BLOQUE ANTES Y DESPUES
	PSV31616	X	A-52360-33-67-1-05-013-1-5	GLP	5"-GLP-67013005-11	L	TEA	557	1"		1"	SI	NO	V.BLOQUE ANTES Y DESPUES
	PSV31618	√	A-52360-33-67-1-05-013-1-5	GLP	4"-GLP-67013006-11	L	TEA	225	1"		1"	SI	NO	V.BLOQUE ANTES Y DESPUES
	PSV31602	√	A-52360-33-67-1-05-004-1-5	GLP	D-3160	D	TEA	225	3"		4"	SI	NO	V.BLOQUE ANTES Y DESPUES
	PSV31601	√	A-52360-33-67-1-05-004-1-5	GLP	D-3160	D	TEA	225	3"		4"	SI	NO	V.BLOQUE ANTES Y DESPUES
	PSV31606	√	A-52360-33-67-1-05-004-1-5	GLP	D-3162	D	TEA	225	3"		4"	SI	NO	V.BLOQUE ANTES Y DESPUES
	PSV31605	√	A-52360-33-67-1-05-004-1-5	GLP	D-3162	D	TEA	225	3"		4"	SI	NO	V.BLOQUE ANTES Y DESPUES
	PSV31607	√	A-52360-33-67-1-05-017-1-4	GLP	D-3163	D	TEA	225	3"		4"	SI	NO	V.BLOQUE ANTES Y DESPUES
	PSV31608	√	A-52360-33-67-1-05-017-1-4	GLP	D-3163	D	TEA	225	3"		4"	SI	NO	V.BLOQUE ANTES Y DESPUES
	PSV31609	√	A-52360-33-67-1-05-017-1-4	GLP	D-3164	D	TEA	225	3"		4"	SI	NO	V.BLOQUE ANTES Y DESPUES
	PSV31610	√	A-52360-33-67-1-05-017-1-4	GLP	D-3164	D	TEA	225	3"		4"	SI	NO	V.BLOQUE ANTES Y DESPUES
	PSV31611	√	A-52360-33-67-1-05-017-1-4	BUTANO	D-3165	D	TEA	82	1 1/2		2 1/2	SI	NO	V.BLOQUE ANTES Y DESPUES
	PSV31612	√	A-52360-33-67-1-05-017-1-4	BUTANO	D-3165	D	TEA	82	1 1/2		2 1/2	SI	NO	V.BLOQUE ANTES Y DESPUES

GLP / C.B#9 / C.B#2 / C.B#4 / C.B#5 / C.B#8 / OTROS(CB6YCB7) / C.B#1 / C.B#A / CB#B / C.B#C

Fuente: Realizado por el autor del proyecto

Figura 43. Información según ELLIPSE y reportes de mantenimiento del formato de inspección

AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW
INFORMACION SEGÚN ELLIPSE				INFORMACION SEGÚN REGISTRO DE MANTENIMIENTO E INSPECCION (TALLER DE VALVULAS)				
VALVULA	DESCRIPCION	RESULTADOS	COMENTARIOS	EQUIPO	PRESION APERTUR	PRESION DISPARO	PRESION SE CIERRE	FECHA REPORTE INSPECION
V1PROV3B	VAL-SEG-ALIV-PROPANO 1"MNPTx1"FNPT; ORIFICIO: SET:557PSIG	OK	CARACTERIZADA	V1PROV3B	557	557	540	13/03/2010
V1PROV3A	VAL-SEG-ALIV-PROPANO 1"MNPTx1"FNPT; ORIFICIO: SET:438PSIG	OK	CARACTERIZADA	V1PROV3A	438	460	380	17/03/2010
V11LGLP1	VAL-SEG-ALI-PROP 1"300#RFX1"150#RF; ORIFICIO:D SET 255PSI	OK	CARACTERIZADA					
V9LGLP1	VAL-SEG-ALI-PROP 1"300#RFX1"150#RF; ORIFICIO:D SET 255PSI	OK	CARACTERIZADA	V9LGLP1	255	260	230	24/01/2012
V13LGLP1	VAL-SEG-ALI-PROP 1"300#RFX1"150#RF; ORIFICIO:D SET 552PSI	OK	CARACTERIZADA					
V1LGLP1	VAL-SEG-ALI-PROP 1"300#RFX1"150#RF; ORIFICIO:D SET 255PSI	OK	CARACTERIZADA	V1LGLP1	225	225	200	05/03/2010
V5LGLP1	VAL-SEG-ALI-PROP 1"300#RFX1"150#RF; ORIFICIO:D SET 255PSI	OK	CARACTERIZADA	V5LGLP1	255	260	230	21/03/2012
V4LGLP1	VAL-SEG-ALI-PROP 1"300#RFX1"150#RF; ORIFICIO:D SET 255PSI	OK	CARACTERIZADA	V4LGLP1	225	225	215	29/03/2012
V8LGLP1	VAL-SEG-ALI-PROP 1"300#RFX1"150#RF; ORIFICIO:D SET 557PSI	OK	CARACTERIZADA	V8LGLP1	557	557	510	13/03/2012
V1LBUTAN1	VAL-SEG-ALI-BUTAN 1"300#RFX1"150#RF; ORIFICIO:D SET 255PSI	OK	CARACTERIZADA					
V6LGLP1	VAL-SEG-ALI-PROP 1"300#RFX1"150#RF; ORIFICIO:D SET 255PSI	OK	CARACTERIZADA	V6LGLP1	255	260	235	22/03/2012
V3LGLP1	VAL-SEG-ALI-PROP 1"300#RFX1"150#RF; ORIFICIO:D SET 255PSI	OK	CARACTERIZADA	V3LGLP1	255	260	230	03/04/2012
V2D3160	VAL-SEG-ALI-GAS 3"300#RFX4"150#RF; ORIFICIO:K SET 225PSI	OK	CARACTERIZADA					
V1D3160	VAL-SEG-ALI-GAS 3"300#RFX4"150#RF; ORIFICIO:K SET 225PSI	OK	CARACTERIZADA	V1D3160	225	225	205	11/02/2010
V1D3162	VAL-SEG-ALI-PROP 3"300#RFX4"150#RF; ORIFICIO:K SET 225PSI	OK	CARACTERIZADA	V1D3162	235	240	230	10/02/2010
V2D3162	VAL-SEG-ALI-PROP 3"300#RFX4"150#RF; ORIFICIO:K SET 225PSI	OK	CARACTERIZADA	V2D3162	225	230	205	27/01/2010
V2D3163	VAL-SEG-ALI-PROP 3"300#RFX4"150#RF; ORIFICIO:K SET 225PSI	OK	CARACTERIZADA	V2D3163	225	230	200	10/02/2010
V1D3163	VAL-SEG-ALI-PROP 3"300#RFX4"150#RF; ORIFICIO:K SET 225PSI	OK	CARACTERIZADA					
V2D3164	VAL-SEG-ALI-PROP 1"150#RFX2"150#RF; ORIFICIO:D SET 225PSI	OK	CARACTERIZADA					
V1D3164	VAL-SEG-ALI-PROP 1"150#RFX2"150#RF; ORIFICIO:D SET 225PSI	OK	CARACTERIZADA					
V1D3165	VAL-SEG-ALI-BUT11/2"150#RFX2"150#RF; ORIFICIO:F SET 82PSI	OK	CARACTERIZADA					
V2D3165	VAL-SEG-ALI-BUT11/2"150#RFX2"150#RF; ORIFICIO:F SET 82PSI	OK	CARACTERIZADA					
	VAL-SEG-ALI-PROP 1"300#RFX1"150#RF; ORIFICIO:D							

C.B#2 / C.B#4 / C.B#5 / C.B#8 / OTROS(CB6YCB7) / C.B#1 / C.B#A / CB#B / C.B#C

Fuente: Realizado por el autor del proyecto

Figura 44.Información de campo del formato de inspección

AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD	BE	BF	BG
INFORMACION CAMPO									
TAG	SET	tiene placa	tiene placa	TAG Mantenimie	serial	marca	Diametro entrada	Diametro descarga	Ubicación Geografica
	557	SI	SI	V1PROV3B	VA0112777 04	CROSBY	1"	1"	ZONA PROVEB
	438	SI	SI	V1PROV3A	VA0112777 02	CROSBY	1"	1"	ZONA PROVEB
PSV 31620	255	SI	SI	V11LGLP1	TL14948	CONSOLIDATE, DRESSER	1"	1"	L/GLP REFINERIA (ZONA MEDIDORES)
PSV 31623	255	SI	SI	V9LGLP1	TL14939	CONSOLIDATE, DRESSER	1"	1"	L/GLP PAYOA (ZONA MEDIDORES)
PSV 31625	552	SI	SI	V13LGLP1	TL14959	CONSOLIDATE, DRESSER	1"	1"	L/MEDIDOR ALTERNO (ZONA MEDIDORES)
PSV31621	255	SI	SI	V1LGLP1	TL14956	CONSOLIDATE, DRESSER	1"	1"	L/GLP UNIBAL (ZONA RECIBO)
PSV 31615	255	SI	SI	V5LGLP1	TL14937	CONSOLIDATE, DRESSER	1"	1"	L/GLP NURC (ZONA RECIBO)
PSV 31613	255	SI	SI	V4LGLP1	TL14935	CONSOLIDATE, DRESSER	1"	1"	L/GLP NURC (ZONA MEDIDORES)
PSV 31622	557	SI	SI	V8LGLP1	TL14957	CONSOLIDATE, DRESSER	1"	1"	L/GLP DE A/ NOTES (ZONA MEDIDORES)
PSV 31626	255	SI	SI	V1LBUTAN1	TL14940	CONSOLIDATE, DRESSER	1"	1"	L/BUTANO PAYOA (ZONA MEDIDORES)
SIN INFO	255	NO	SI	V6LGLP1	SIN INFO	FARRIS	1"	1"	ZONA RECIBO
PSV 31618	255	SI	SI	V3LGLP1	TL14946	CONSOLIDATE, DRESSER	1"	1"	L/GLP CENTRO (ZONA RECIBO)
PSV 31602	225	SI	SI	V2D3160	TL14924	CONSOLIDATE, DRESSER	3"	4"	D-3160
PSV 31610	225	SI	SI	V1D3160	TL14932	CONSOLIDATE, DRESSER	3"	4"	D-3160
PSV 31606	225	SI	SI	V1D3162	TL14928	CONSOLIDATE, DRESSER	3"	4"	D-3162
PSV 31605	225	SI	SI	V2D3162	TL14927	CONSOLIDATE, DRESSER	3"	4"	D-3162
PSV 31607	225	SI	SI	V2D3163	TL14929	CONSOLIDATE, DRESSER	3"	4"	D-3163
PSV31608	225	SI	SI	V1D3163	TL14930	CONSOLIDATE, DRESSER	3"	4"	D-3163
PSV 31609	225	SI	NO	V2D3164	587429-1-A15	FARRIS	1"	2"	D-3164
PSV 31610	225	SI	NO	V1D3164	587429-2-A15	FARRIS	1"	2"	D-3164
PSV 31611	82	SI	NO	V1D3165	587431-1-A15	FARRIS	1 1/2	2	D-3165
PSV 31612	82	SI	NO	V2D3165	587431-2-A15	FARRIS	1 1/2	2	D-3165

2 / C.B#4 / C.B#5 / C.B#8 / OTROS(CB6YCB7) / C.B#1 / C.B#A / CB#B / C.B#C

Fuente: Realizado por el autor del proyecto

Figura 45. Información de reporte de estados y resultados finales del formato de inspección

BH	BI	BJ	BK	BL	BM
REPOTE DE ESTADOS	RESULTADOS FINALES				
Estado Reportado	ENCONTRADAS P&ID	ENCONTRADAS ELLIPSE	ENCONTRADAS CAMPO	COMENTARIOS	
OK	√	√	√	OK	
OK	√	√	√	OK	
OK	√	√	√	OK	
OK	√	√	√	OK	
OK	√	√	√	OK	
OK	√	√	√	OK	
OK	√	√	√	OK	
	√	X	?	?	
	√	X	?	?	
OK	√	√	√	OK	
OK	√	√	√	OK	
OK	√	√	√	OK	
OK	√	√	√	OK	
	√	X	?	?	
OK	√	√	√	OK	
OK	√	√	√	OK	
OK	√	√	√	OK	
OK	√	√	√	OK	
OK	√	√	√	OK	
OK	√	√	√	OK	
OK	√	√	√	OK	
OK	√	√	√	OK	
OK	√	√	√	OK	
OK	√	√	√	OK	
OK	√	√	√	OK	
OK	√	√	√	OK	
	√	X	?	?	

C.B#1 C.B#A CB#B C.B#C

Fuente: Realizado por el autor del proyecto

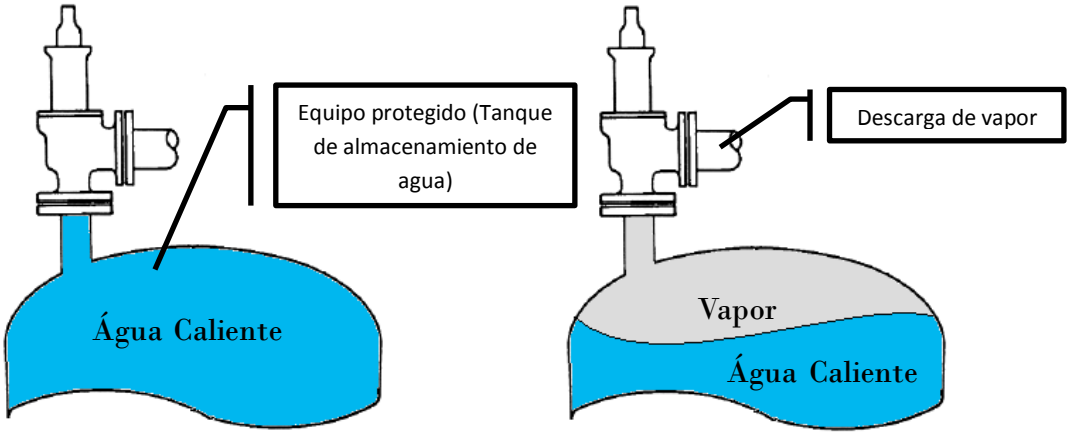
4.2 IDENTIFICACION DE FUNCIONES Y FALLAS FUNCIONALES.

Después de haber ingresado con anterioridad la información requerida por el software para el análisis de S-RCM relacionada con el lugar donde se va a desarrollar esta estrategia y con los datos pertinentes para el programa en cuanto a las válvulas que se van a estudiar, se procedió con el plan de mantenimiento realizando un análisis funcional de estos equipos de alivio de presión, identificando

sus funciones básicas las cuales nos llevaran de una forma más fácil a detectar las posibles fallas funcionales.

Como ya habíamos visto las válvulas de alivio de presión tiene como función aliviar o evitar sobrepresiones en un dispositivo que deseemos proteger, abriendo cuando exista un exceso de presión y volviendo a cerrar, previniendo el flujo de fluido después de que se restauren las condiciones normales de operación. Una válvula de alivio de presión abre cuando la presión de entrada alcanza la presión de abertura (Taraje del resorte). A continuación, permite que el fluido fluya a su presión aguas arriba, cuando la presión cae a la presión de cierre, cerrándose para impedir que salga flujo de más.

Figura 46.Ejemplo de funcionamiento de una válvula de seguridad

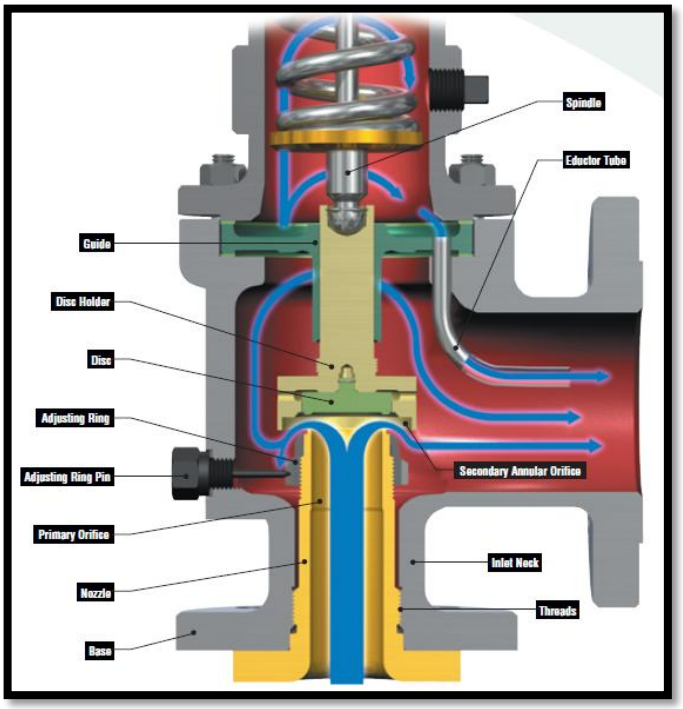


Fuente: Capacitacion ATIVA (Asistente técnica de válvulas), Válvulas de seguridad

Conociendo la función de estos equipos de alivio de presión podemos determinar más fácilmente las fallas funcionales o fallas que al ocurrir impiden que un bien sea capaz de cumplir la función para la cual fue adquirido, como en este caso la función de las válvulas de alivio de presión es la de permitir aliviar un sistema de cualquier sobrepresión para evitar daños en la integridad y funcionamiento de los equipos protegidos, la falla funcional es cualquier falla que impida el cumplimiento

de esta función. Estas fallas son descritas con más detalle en los modos de falla, los cuales se enfocan hacia la función descrita.

Figura 47. Funcionamiento de válvula de alivio de presión



Fuente: Catalogo: 1900_SafetyReliefValve.Consolidated

4.3 DETERMINACION DE LOS MODOS DE FALLA.

En esta fase de la estrategia de mantenimiento se buscó identificar todas las posibles causas del estado de error que conllevan a que el activo, en este caso las válvulas de alivio de presión, no desempeñen su función.

Con ayuda de las normas API (American Petroleum Institute) 581 y 689, se realizó un consolidado de los modos de falla de las válvulas de alivio de presión, del cual surgió el siguiente cuadro.

Tabla 6. Consolidado modos de falla API 581 Y API 689

MODOS DE FALLA	FUENTE	EQUIVALENCIA API 581
FTO	API 689	FTO
FTC	API 689	VSO
SPO	API 689	SPO
LOO	API 689	VPO
PLU	API 689	N/A
ELP	API 689	N/A
LCP	API 689	LPV
OASP	API 581	N/A

Fuente: Autor del proyecto

Estos modos de falla son descritos por cada norma de la siguiente manera:

API 581

Los modos de falla para la 581 se agrupan en:

1. Falla al abrir(FAIL) — Atascada o falla al abrir → FTO
   Válvula parcialmente abierta → VPO
   Abre por encima del set de presión → OASP

2. Falla por fuga (LEAK) — Leakage past valve → LPV
   Falsa/prematura apertura → SPO
   Válvula atascada en posición abierta → VSO

API 689

Falla al abrir en demanda : No abre en demanda → FTO

Falsa operación : Falsa alarma → SPO

Baja salida : Entrega / salida por debajo de especificación → LOO

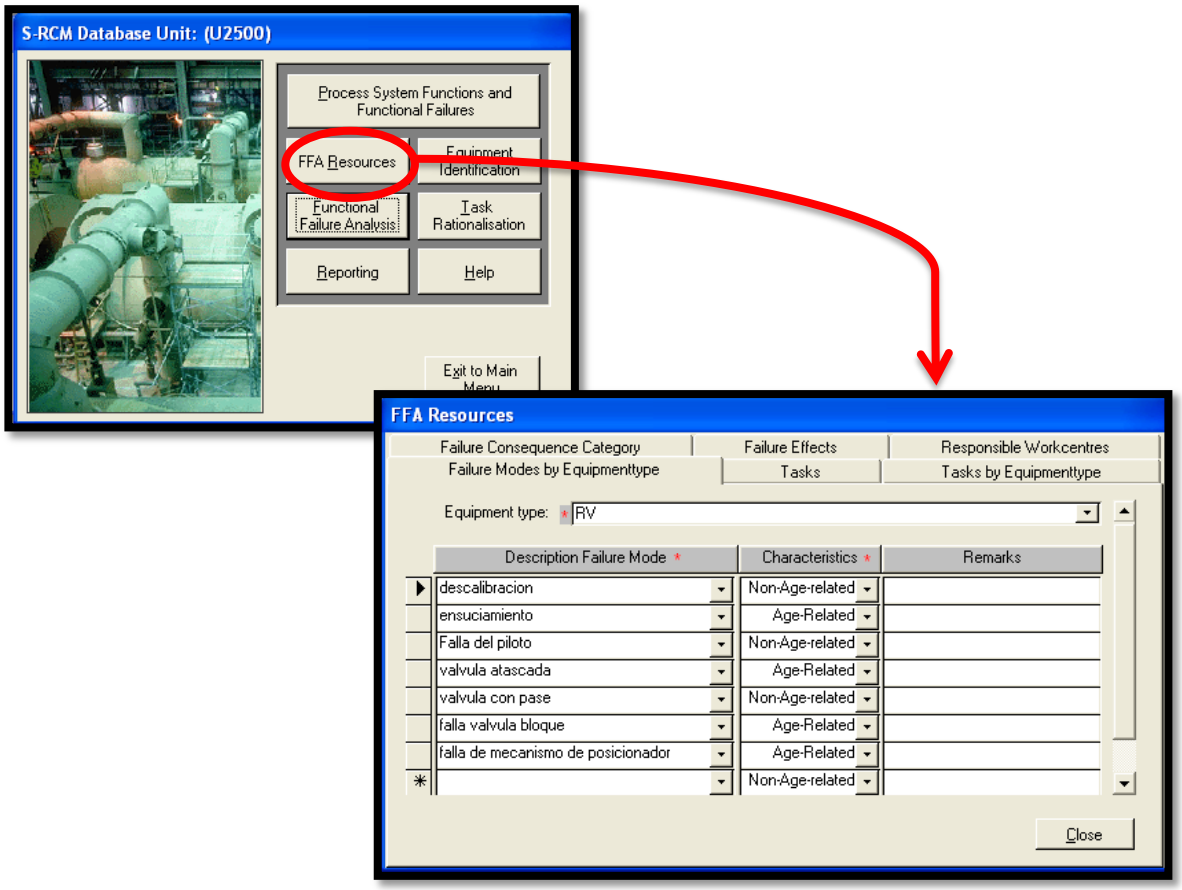
Plugged / Choked : Flujo parcial o completa restricción → PLU

Fugas externas → ELP

Fugas en posición cerrada : Fugas a través de la válvula en posición cerrada → LCP

Estos modos de falla se ingresaron al software una vez elegido el tipo de estudio a realizar que en este caso es el S-RCM, en la opción Análisis de Falla Funcional donde se desplegara el menú FFA Resources donde encontraremos la opción de ingresar al sistema los modos de falla por el tipo de equipo que vayamos a estudiar.

Figura 48. Recursos de Análisis de Falla Funcional en el software S-RCM.



Fuente: Tomada del software S-RCM

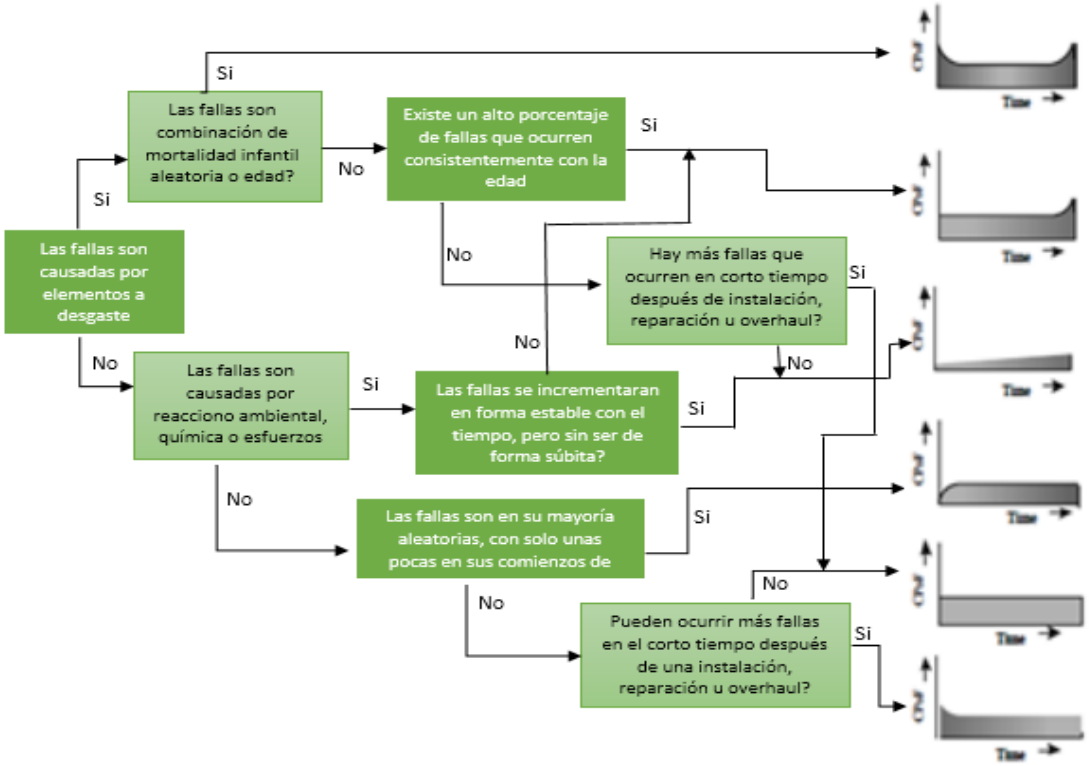
4.3.1 Patrones de falla. Como podemos ver en el recuadro de FFA resources, cada modo de falla además de ser descrito, debe tener seleccionado sus

características o patrones de falla que especificarán si el modo de falla se encuentra o no relacionado con la edad.

El patrón de falla se visualizó y eligió para cada válvula con una curva de probabilidad condicional de falla como una función de la edad o años de operación.

La probabilidad condicional de falla es definida como la probabilidad que un ítem pueda fallar durante un intervalo de edad particular, dado que sobrevive a entrar en ese intervalo. La identificación del patrón de falla es importante porque determinará si es necesario, y qué tipo de mantenimiento proactivo deber ser seleccionado.

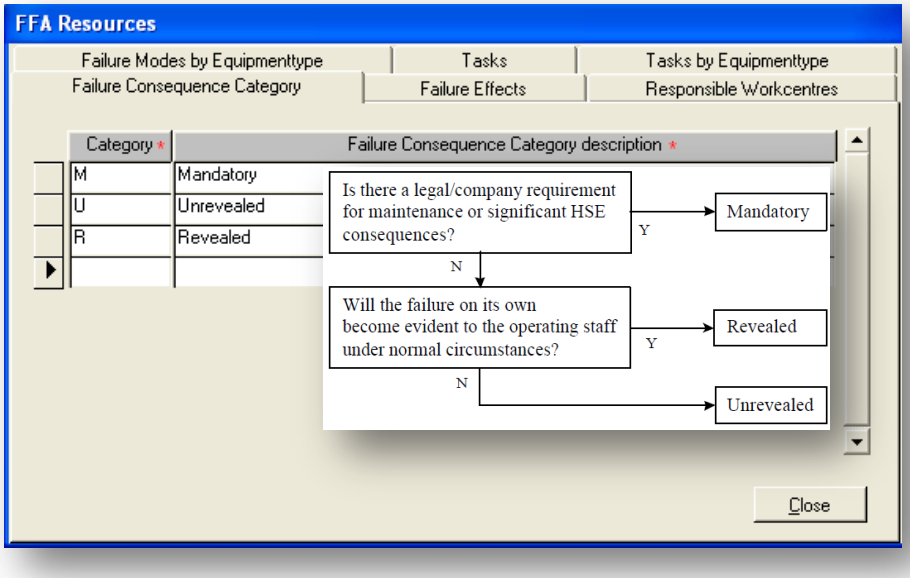
Figura 49. Curvas de probabilidad condicional de falla.



Fuente: Autor del proyecto

4.3.2 Categoría de la consecuencia de falla. La selección y desarrollo de las apropiadas opciones y tareas de mantenimiento proactivo son los objetivos finales del proceso S-RCM. Para contribuir en el proceso en el siguiente paso, cada modo de falla se clasificó dentro de tres categorías posibles en el recuadro FFA Resources.

Figura 50. Categoría de consecuencias de falla en el software S-RCM



Fuente: Tomada del software S-RCM

- **Categoría Obligatoria (Mandatory):** se refiere a los modos de falla donde los requerimientos legales y/o los requerimientos operacionales de la compañía establecen algún tipo de actividad de mantenimiento. También podría incluir la clase media o alta de consecuencia de HSE en ausencia de una detallada evaluación de consecuencia de HSE.

- **Falla sin Revelar (Unrevealed):** fallas de este tipo no tienen un impacto directo, pero ellas exponen a la unidad de proceso a otros fallos con posibles consecuencias graves. La detención requiere un esfuerzo de mantenimiento aparte (inspección) o requiere de otro fallo que se produzca. Ejemplos típicos

de fallas sin revelar son asociadas con integridad estructural, sistemas de protección, sistemas de detención, sistemas de paradas, stand-by equipos.

- **Fallas Reveladas (Revealed):** fallas de este tipo pueden producir significativas consecuencias económicas o pueden afectar la capacidad operacional de la unidad de procesos, pero tiene un efecto limitado en cuestiones de salud, seguridad y ambiente. Las pérdidas son limitadas a funciones específicas, costos directos de reparación y posibles daños secundarios.

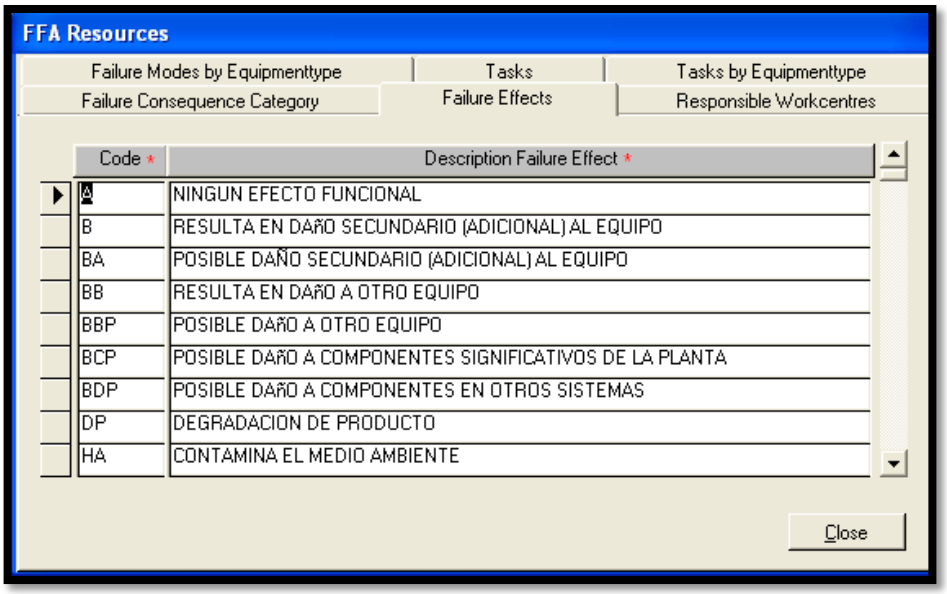
4.4 ANALISIS DE LOS EFECTOS DE FALLA

En esta parte se realizó una evaluación de los efectos de falla pero sin un juicio de las consecuencias de falla. La evaluación describió cualitativamente que efecto de cada modo de falla afectaría a la función del sistema de proceso, a las personas, a la seguridad, el ambiente, valor de activos, negocio, imagen corporativa y calidad del producto, etc.

Esta fase del análisis es muy útil a la hora de evaluar las consecuencias ya que una descripción listada de los efectos de falla facilitara una posterior evaluación detallada de las consecuencias de cada efecto.

Dentro del menú de FFA Resources se ingresaron los efectos que traen consigo la aparición de cada uno de los modos de falla de las válvulas de alivio de presión descritos con anterioridad.

Figura 51. Efectos de falla en el software S-RCM.



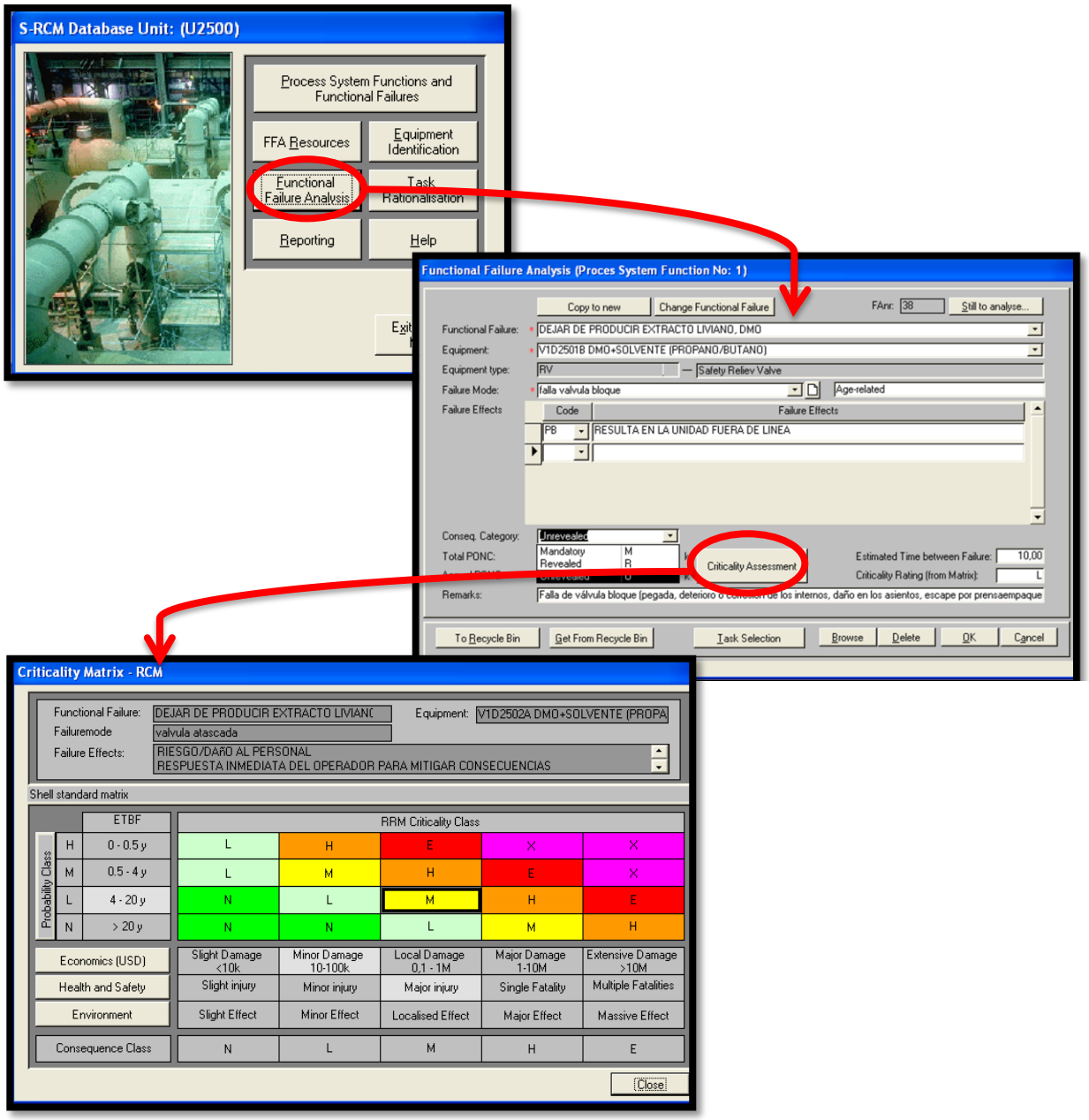
Fuente: tomada del software S-RCM

4.5 EVALUACION DE CRITICIDAD

El análisis de consecuencias es muy importante para este estudio, ya que este condujo a una clasificación fiable de las consecuencias potenciales de cada modo de falla presentado en las válvulas analizadas.

Esta evaluación se realiza en la opción evaluación de criticidad de la ventana de análisis de falla funcional.

Figura 52. Evaluación de criticidad en el software S-RCM



Fuente: Tomada del software S-RCM

Dado que la metodología S-RCM se basa en riesgo, la evaluación de criticidad de un ítem es muy importante para el análisis de esta metodología. Esta evaluación se basó en la matriz RAM, documento emitido por el comité de salud, seguridad y

medio ambiente de la Shell. La RAM fue desarrollada en conjunción con los peligros y efectos de la gestión de procesos (HEMP) del sistema de gestión HSE, como una herramienta para expresar visiblemente las políticas de la compañía y demostrar el cumplimiento con la tolerabilidad de los riesgos y el principio ALARP (tan bajo como sea razonablemente posible)

4.5.1 Matriz de criticidad del RRM (RAM). La evaluación de criticidad en el RRM es uno de los pasos más importante debido que los tres métodos empleados en este sistema de gestión de mantenimiento son basados en la matriz de evaluación de riesgo (RAM),documento emitido por el comité de Salud, seguridad y medioambiente de la Shell. La RAM fue desarrollada en conjunto con los peligros y efectos de los procesos de gestión del sistema de gestión HSE, como una herramienta para expresar visiblemente la policía de la compañía y demostrar el cumplimiento con la tolerancia al riesgo y el principio ALARP (valor más bajo como sea razonablemente posible).

El original HSE-RAM ha sido ligeramente modificado para el RRM, ver Figura 2-3. La matriz de 5x6 HSE-RAM se ha reducido a una matriz 4x5 RRM mediante la combinación de las dos filas de más bajas probabilidades y las columnas más bajas de consecuencia. Además, las definiciones generales de las clases de probabilidad en el HSE-RAM han sido "traducida" para cada metodología del RRM por separado.

Figura 53. Matriz de criticidad del RRM

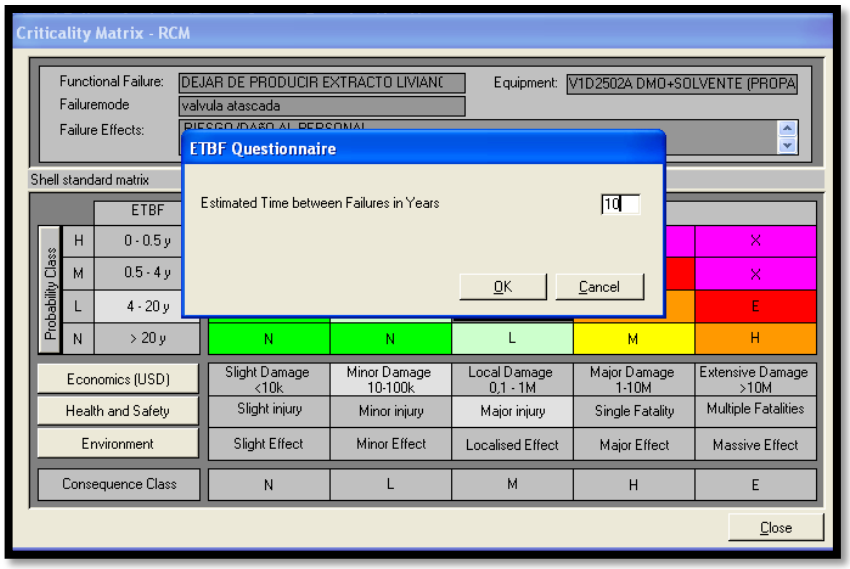
		S-RBI StF	IPF DR	S-RCM ETBF	RRM criticality class				
Probability class	H	High	0 - 0.5 y	0 - 0.5 y	L	H	E	X	X
	M	Medium	0.5 - 4 y	0.5 - 4 y	L	M	H	E	X
	L	Low	4 - 20 y	4 - 20 y	N	L	M	H	E
	N	Negligible	> 20 y	> 20 y	N	N	L	M	H
Consequence Category		Economics (US$)			No/Slight Damage <10k	Minor Damage 10-100k	Local Damage 0.1-1M	Major Damage 1-10M	Extensive Damage >10M
		Health and Safety			No/Slight Injury	Minor Injury	Major Injury	Single Fatality	Multiple Fatalities
		Environment			No/Slight Effect	Minor Effect	Localised Effect	Major Effect	Massive Effect
Consequence class					N	L	M	H	E

Fuente: Risk and Reliability Management RRM. Manual Text

Las clases de consecuencia y probabilidad son: Insignificante (N), bajo (L), Medio (M), alta (H) y Extreme (E). Hay seis clases de criticidad: N, L, M, H, E (con su significado habitual) y la intolerable (X). La distribución de los niveles de criticidad en la matriz son basados en las recomendaciones cubiertas por la gestión de riesgos del HSE.

4.5.2 Categorías y niveles de evaluación de consecuencias. Dependiendo del modo de falla estudiado, una de las tres metodologías (económica, de salud y seguridad, medio ambiente) será usada para estimar la clase de probabilidad. S-RCM usa el tiempo estimado entre fallas (ETBF) si no se ha llevado a cabo algún tipo de mantenimiento, como una medida de probabilidad.

Figura 54.Tiempo estimado entre fallas en el software S-RCM.

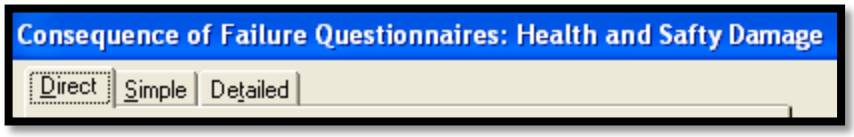


Fuente: Tomada del software S-RCM

En este software tres categorías de consecuencias pueden ser consideradas para un modo de falla: económica, salud/seguridad y medio ambiente. El peor caso de las tres, determino la clase de consecuencia del conjunto, incluso si el puntaje en cada una de las categorías es parecido (IGUAL).

También tres niveles de evaluación de consecuencias están disponibles en el análisis de S-RCM:

Figura 55. Niveles de evaluación de consecuencias en el software S-RCM.



Fuente: Tomada del software S-RCM

- Una selección directa de la clase de consecuencia, se basa en las descripciones de la matriz RAM.
- Uso de un cuestionario “simple”. Este estilo es basado en la descripción de la RAM pero ahora dividido en aspectos importantes de cada categoría. Por ejemplo, aspectos importantes de la salud y seguridad son el fuego, explosión y efectos tóxicos de una falla que ahora son evaluados separadamente.
- Uso de un cuestionario “detallado”. Este responde un par de preguntas relevantes en proceso e información de equipos para cada aspecto para llegar a una estimación de la clase de consecuencia. Tiene el propósito de dar una mayor orientación y consistencia en análisis de consecuencias, que son útiles especialmente sino está presente un supervisor de HSE en el equipo de S-RCM.

Para la evaluación de criticidad del S-RCM se usó el cuestionario detallado, debido a que este presentaba una información más completa para la selección de la criticidad del modo de falla estudiado.

4.5.3 Evaluación de Consecuencias Económicas. Esta evaluación considera básicamente los efectos financieros de una falla en activos y producción. Daños en activos incluyen típicamente materiales y costos laborales de reparación y/o remplazo de equipos. Costos asociados con el valor del producto pueden ser: pérdidas de producción debido a una parada y/o perdidas de contención, reducir el margen en caso de productos fuera de especificación o reducir la capacidad, costos de reproceso, etc.

Para cada modo de falla importante una probabilidad de falla y una consecuencia se determinaron.

A continuación se hace una breve descripción del tipo de información que contiene cada cuestionario, lo cual nos permita ratificar la escogencia del cuestionario detallado para este análisis.

4.5.3.1 Evaluación Económica Directa. Requiere una estimación aproximada de costos totales de una falla específica. Después de tener estimados estos costos se puede usar la siguiente tabla para establecer la clase de consecuencia.

Figura 56. Evaluación directa de Consecuencias Económicas en el software S-RCM.

Class	Potential Impact	Description
N	Slight damage < 10 kUSD	No disruption to operation
L	Minor damage 10-100 kUSD	Brief disruption
M	Local damage 0.1-1 MUSD	Partial shutdown that can be restarted
H	Major damage 1 - 10 MUSD	Partial operation loss (2 weeks shutdown)
E	Extensive damage > 10 MUSD	Substantial or total loss of operation

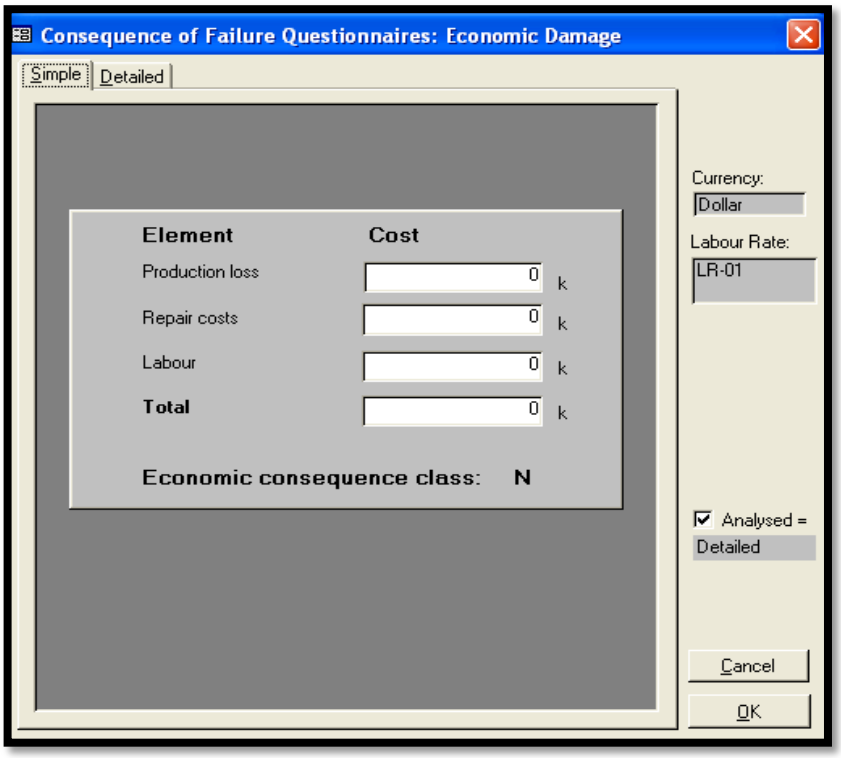
Economics (USD)	Slight Damage <10k	Minor Damage 10-100k	Local Damage 0,1 - 1M	Major Damage 1-10M	Extensive Damage >10M

Fuente: Tomada del software S-RCM

4.5.3.2 Cuestionario Económico Simple. Considera tres elementos principales de costos a saber:

- Pérdidas de producción: es el ingreso plus diferido al producto desperdiciado (perdida o degradación del producto)
- Costos de reparación: son los costos incurridos para reparar el daño, distintos al trabajo (pero incluye los costos de contratista fijos)
- Labores: son los costos (HORAS) propios del personal o supervisor contratista en contratos reembolsables.

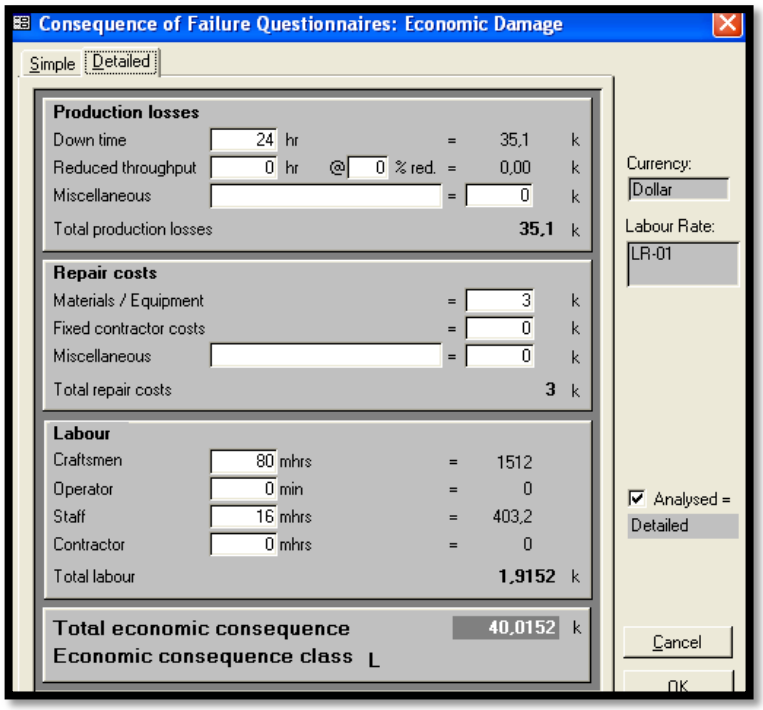
Figura 57. Cuestionario simple para evaluación de consecuencias Económicas en el software S-RCM



Fuente: Tomada del software S-RCM

4.5.3.3 Cuestionario Economico Detallado. Proporciona sub-preguntas para cada elemento dado en el cuestionario económico simple. El cuestionario económico detallado por lo tanto puede ser usado en casos donde se requiere de mayor orientación para estimar cada elemento de costo, como en el estudio de S-RCM.

Figura 59. Cuestionario detallado para la evaluación de consecuencias Económicas en el software S-RCM



Fuente: Tomada del software S-RCM

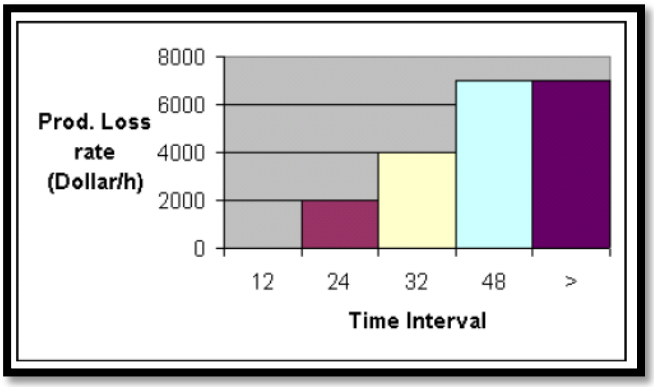
Para contestar las sub-preguntas planteadas del cuestionario económico simple ingresamos como datos de entrada el tiempo de parada (T_down), el tiempo de reducción del rendimiento (T_red) y el porcentaje de rendimiento (P_red) en la parte que relaciona las pérdidas de producción, parámetros necesarios para los cálculos de los costos de producción (C_prod)

$$C_{prod} = \sum_{i=1}^{5} \mathrm{Max}[0, \mathrm{Min}(\mathrm{T_{loss}} - \mathrm{ti}) - \mathrm{ti} - 1] * \mathrm{R}i$$

Donde T_loss es igual a: T_lost= T_down+T_red x P_red y ti, Ri provienen de los datos ingresados para la ecuación de perdidas (PLE)

Figura 60. Ecuación de Pérdidas (PLE)

T1 = 12	R1 = 0
T2 = 24	R2 = 2000
T3 = 32	R3 = 4000
T4 = 48	R4 = 7000
T5 = >	R5 = 7000



Fuente: Risk and reliability management (RRM) Manual. Appendices

Los costos totales de perdida de producción (CTPL) son iguales a la suma de los costos de producción y los costos varios (C_misc)

CTPL= C_prod+C_misc

Otro factor importante para determinar el cuestionario económico detallado son los costos de reparación C_repair, donde se consideran tres elementos principales:

- Materiales, equipos ,repuestos, etc., requeridos para reemplazar o reparar (C_mat)
- Costos fijos de contratistas para las reparaciones y/o instalación (C_contr)
- Costos varios, tales como daños secundarios, costos de facilidades temporales, etc. (C_mrep)

Los costos de reparación totales, C_repair, son iguales a la suma de estos tres aspectos:

C_repair= C_mat+C_contr+C_mrep

Finalmente para completar este cuestionario se evalúan los costos de las labores variables de internos y personal contratista para cada falla especifica. La entrada predefinida son las ratas de labores para cada disciplina; Craftsmen, R_crafft, Operarios, R_ops, Staff, R_staff y contratistas, R_contr., dadas anteriormente en la ventana de selección de unidad.

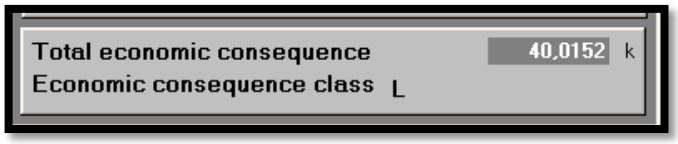
La entrada de los modos de falla específicos son los tiempos de cada disciplina necesitados para responder a la falla: Craftsmen, T_crafft, Operarios, T_ops, Staff, T_staff y contratistas, T_contr.

Los costos de labores C_labour son calculados usando:

C_labour= T_crafftxR_craft + T_opsxR_ops + T_staffxR_staff + T_contrxR_contr

Los costos totales de las consecuencias económicas, C_ec, es la suma de los elementos determinados anteriormente, a saber: perdida de producción, costos de reparación y costos de labores:

C_ec = CTPL + C_repair + C_labour



Los resultados de las consecuencias económicas arrojan tanto el valor, como el criterio correspondiente a ese valor obtenido

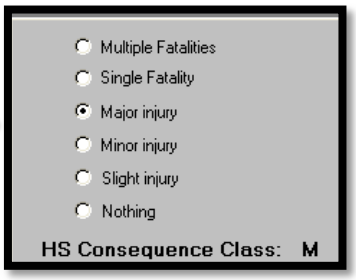
4.5.4 Evaluación de Consecuencias de Salud y Seguridad. La falla de equipos en una refinería puede tener consecuencias sanitarias y de seguridad cuando hay

sustancias peligrosas o altas presiones involucrados. Las lesiones pueden ser el resultado de efectos térmicos, tóxicos o de impacto.

4.5.4.1 Evaluación de Consecuencias de Salud y Seguridad directa. La siguiente tabla proporciona definiciones y descripciones de consecuencias potenciales para la salud y seguridad tomadas del documento RAM.

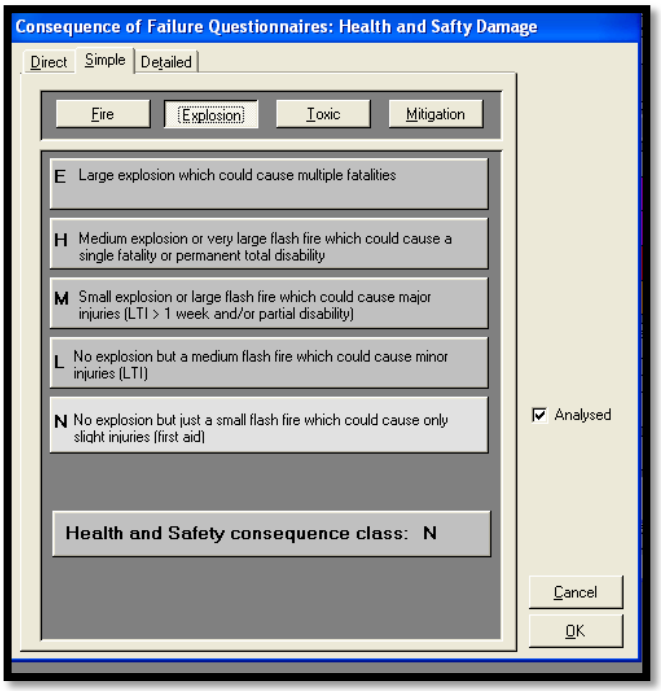
Figura 61. Evaluación directa de Consecuencias de Salud y Seguridad en el software S-RCM.

Class	Potential Impact	Description
N	No/Slight injury	First aid case and medical treatment case. Not affecting work performance or causing disability.
L	Minor injury	Lost time injury. Affecting work performance, such as restriction to activities or a need to take a few days to fully recover (maximum one week).
M	Major injury	Including permanent partial disability. Affecting work performance in the longer term, such as prolonged absence from work. Irreversible health damage without loss of life, e.g. noise induced hearing loss, chronic back injuries.
H	Single fatality	Also includes the possibility of multiple fatalities (maximum 3) in close succession due to the incident, e.g. explosion.
E	Multiple fatalities	May include 4 fatalities in close succession due to the incident, or multiple fatalities (4 or more) each at different points and/or with different activities.



4.5.4.2 Cuestionario de salud y seguridad simple. Es una pequeña extensión de la anterior descripción para todos los tres efectos posibles (fuego, explosión y tóxicos). Como un ejemplo, la descripción para un clase de consecuencia de salud y seguridad MEDIA es: “fuego que puede causar lesiones mayores (LTI>1 semana y/o discapacidad parcial). La clase de consecuencia general es la máxima de las tres categorías con una puntuación de mitigación que resta de este.

Figura 62.Cuestionario simple para la evaluación de consecuencias de Salud y Seguridad en el software S-RCM.

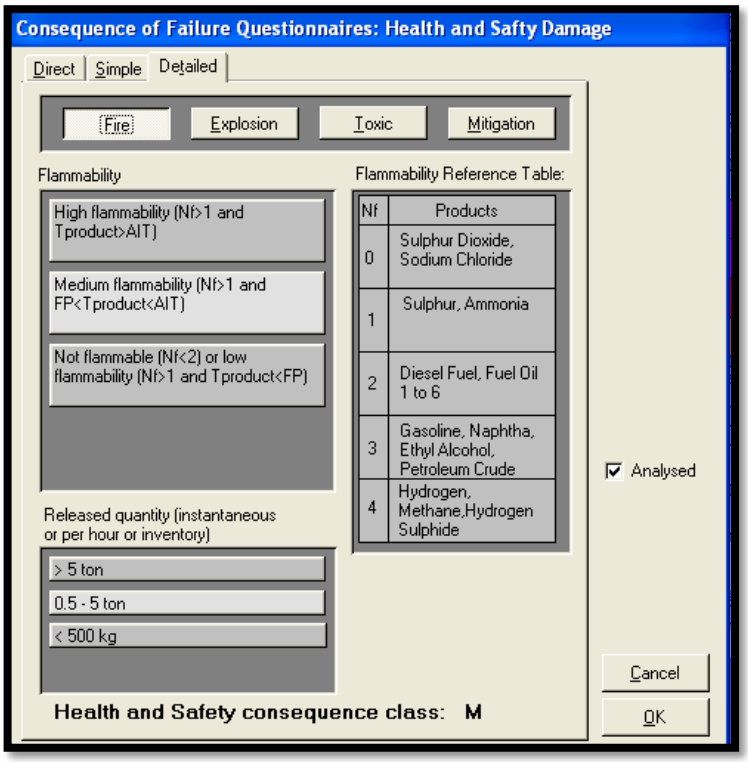


Fuente: Tomada del software S-RCM

4.5.4.3 Cuestionario detallado de salud y seguridad. Usa productos, equipos y datos de ubicación como entrada para estimar una clase de consecuencia de un modo de falla especifico.

Todos los cuestionarios en esta sección tienen una matriz común para determinar la clase de consecuencias con la cantidad de producto y propiedades como entrada. Algunos cuestionarios como los de fuego y toxicidad utilizan índices de inflamabilidad (Nf) y toxicidad (Nh) respectivamente como parámetros guías para el análisis de las consecuencias.

Figura 63.Cuestionario detallado para la evaluación de consecuencias de Salud y Seguridad en el software S-RCM



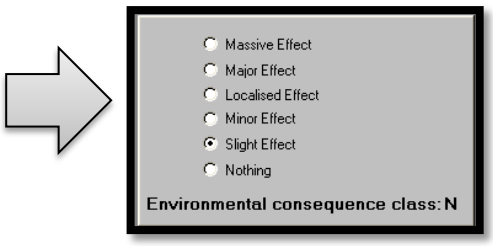
Fuente: Tomada del software S-RCM.

4.5.5 Evaluación de Consecuencias de Medio Ambiente. En esa evaluación como en las anteriores también se empleó el cuestionario detallado por la profundidad sus preguntas para la determinación de la criticidad

4.5.5.1 Evaluación de Consecuencias de Medio Ambiente directa. La siguiente tabla da definición y descripción de las consecuencias potenciales ambientales tomadas del documento RAM. Esta tabla puede ser usada para una evaluación directa de las consecuencias de medio ambiente

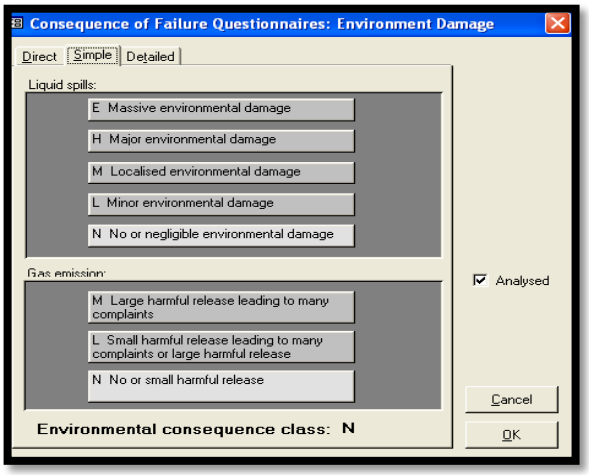
Figura 64. Evaluación directa de Consecuencias de Medio Ambiente en el software S-RCM.

Class	Potential Impact	Description
N	No/Slight effect	Local environmental damage. Within the fence and within systems. Negligible financial consequences.
L	Minor effect	Contamination; damage sufficiently large to attack the environment; single exceedance of statutory or prescribed criterion; single complaint. No permanent effect on the environment.
M	Localised effect	Limited loss of discharges of known toxicity; repeated exceedance of statutory or prescribed limits. Affecting neighbourhood beyond the fence.
H	Major effect	Severe environmental damage. The company is required to take extensive measures to restore the contaminated environment to its original state. Extended exceedance of statutory or prescribed limits.
E	Massive effect	Persistent severe environmental damage or severe nuisance extending over a large area. In terms of commercial or recreational use or nature conservancy, a major loss for the company. Constant, high exceedance of statutory or prescribed limits.



4.5.5.2 Cuestionario Simple de Medio Ambiente. Dos importantes mecanismos de daño para el medio ambiente son considerados en este cuestionario. En primer lugar, la liberación de líquidos que pueden conducir a la contaminación de agua y suelo del sitio bajo análisis. En segundo lugar, la liberación de gas que pueda resultar en la contaminación de la atmosfera donde deseamos hacer la evaluación de criticidad.

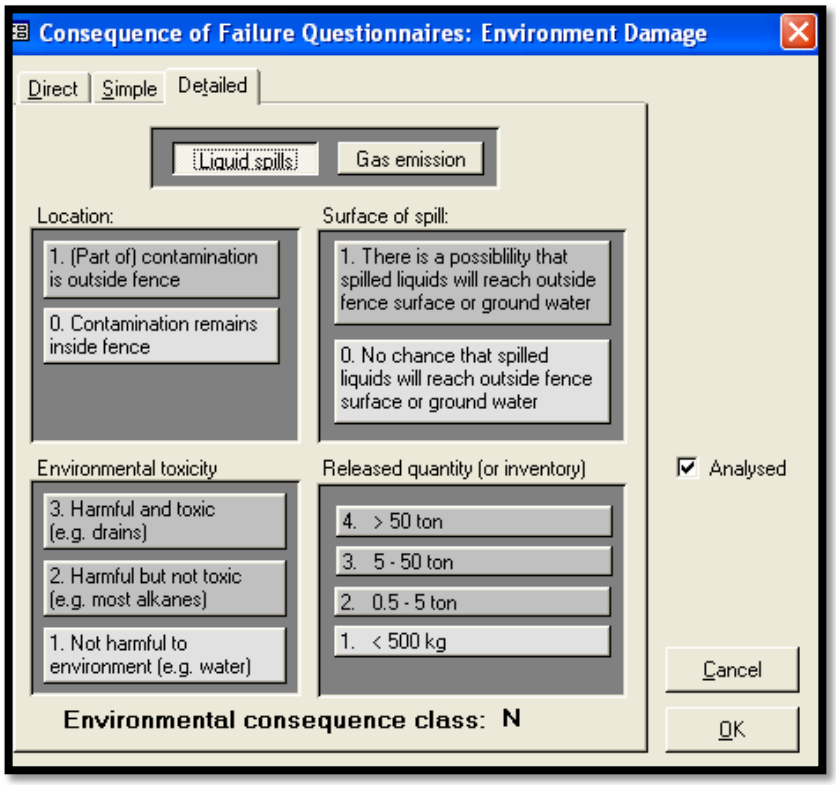
Figura 65.Cuestionario simple para la evaluación de consecuencias de Medio Ambiente en el software S-RCM.



Fuente: Tomada del software S-RCM

4.5.5.3 Cuestionario Detallado de Medio Ambiente. Este utiliza datos de productos, equipos y medio ambiente para estimar la clase de consecuencia. Este cuestionario también tiene en cuenta los dos mecanismos de daño considerados en el cuestionario simple pero con mayor profundidad en cada una de sus preguntas.

Figura 66. Cuestionario detallado para la evaluación de consecuencias de Medio Ambiente en el software S-RCM



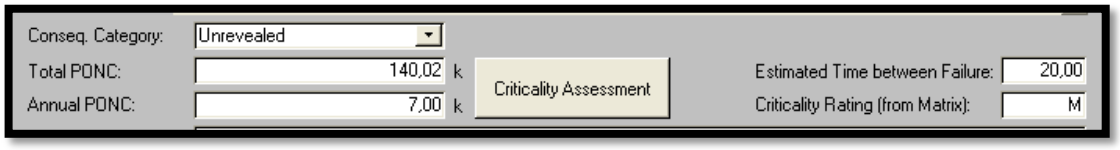
Fuente: Tomada del software S-RCM

Para cada mecanismo de daño se contesta un número definido de preguntas que determinaran la criticidad de la aparición de una falla en una válvula de alivio de presión en relación a estos mecanismos de emisión de gas y derrame de líquidos.

4.5.6 Resultados del análisis De consecuencias. Después de nuestro estudio respectivo de la criticidad de la falla específica analizada se obtuvieron los valores financieros de las consecuencias de falla llamados PRECIO DE NO CONFORMIDAD (PONC) y el costo total anual de la falla, es decir el Annual PONC que es igual al PONC/ETBF.

Es importante tener en cuenta que el PONC económico es idéntico a la consecuencia económica como se calcula en el cuestionario y que las consecuencias de salud/seguridad o medioambiente pueden ser traducidas en un valor monetario tomando el valor más bajo del costo económico equivalente de soporte. Por ejemplo, una alta clase consecuencia ambiental daría lugar a un PONC ambiental de 1 MUSD. El PONC total es el valor acumulado de todas las categorías de consecuencias.

Figura 67. Resultados del análisis de consecuencias en el software S-RCM

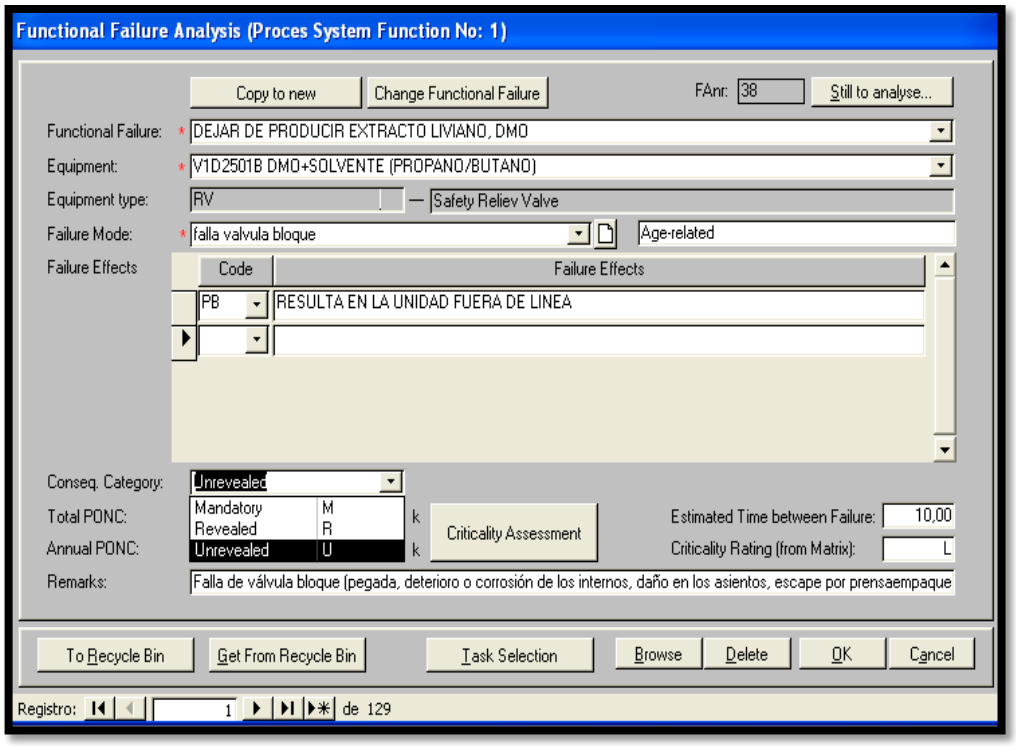


Fuente: Tomada del software S-RCM

4.6. ANALISIS DE FALLA FUNCIONAL

Es una parte muy importante porque es aquí donde se resume todo el análisis de falla funcional en una sola ventana del S-RCM, ya que a través de esta se seleccionaron todos los factores antes mencionados como modos de falla, patrones de falla, criterios de falla, categoría de consecuencia de falla, etc., para posteriormente hacer la evaluación de criticidad, y finalmente la selección y evaluación de las tareas apropiadas.

Figura 68. Análisis de Falla Funcional en el software S-RCM



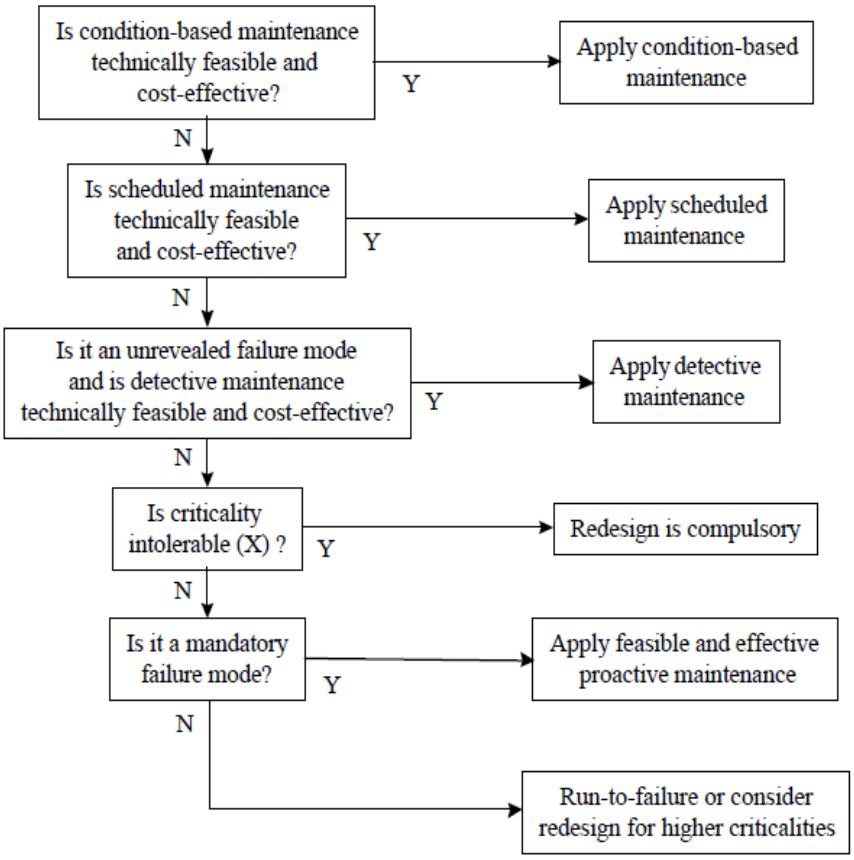
Fuente: Tomada del software S-RCM

4.7. PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE TAREAS.

Dependiendo del modo de falla y de las características de la falla, una apropiada tarea de mantenimiento y un intervalo que sé ocupe del modo de falla será seleccionado. Solo tareas de mantenimiento que sean efectivas deben ser consideradas. Una tarea es considerada efectiva cuando incrementa el tiempo medio entre fallas. Si tal tarea es también costo efectiva debe ser considerada en la siguiente fase.

En la selección de tareas de mantenimiento la lógica de la siguiente figura se usó como una guía. Se dirige al usuario a mantenimiento proactivo tal como a monitoreo por condición en lugar de mantenimiento correctivo.

Figura 69. Lógica para selección de tareas de mantenimiento



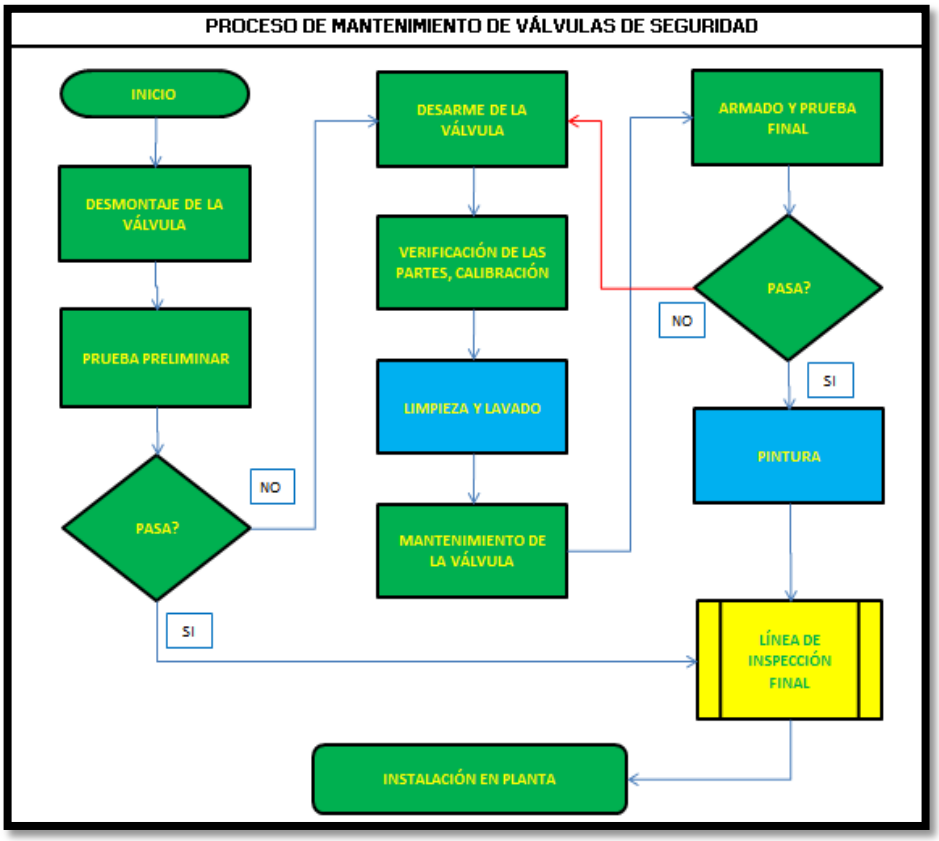
Fuente: Risk and reliability management (RRM) Manual. Appendices.

Todas las tareas de mantenimiento deben ser dirigidas a un modo de falla específico. Este modo de falla y las características de la falla son las que determinan la tarea de mantenimiento requerida para prevenir una falla o al menos mitigar el efecto de la falla.

4.7.1 Tareas de mantenimiento de válvulas de seguridad. Antes de poder elaborar un listado con tareas de mantenimiento para las válvulas de alivio de presión de acuerdo a los modos de falla dados con anterioridad, se hizo necesario realizar una previa investigación y análisis de las tareas de mantenimiento y procedimientos aplicados en el taller de válvulas actualmente para determinar que

se puede tomar para esta fase y de qué forma, de modo que podamos obtener procesos de mantenimiento proactivo más eficientes.

Figura 70. Diagrama de flujo para el mantenimiento de las válvulas de alivio de presión de ECOPETROL S.A



Fuente: Instructivo para el mantenimiento de válvulas de alivio de presión de ECOPETROL S.A

4.7.1.1 Principales tareas de mantenimiento aplicadas actualmente y precauciones. Después de observar la planificación del mantenimiento en el taller de válvulas de ECOPETROL S.A, el estudio se dirigió a indagar en el tipo de mantenimiento que reciben las válvulas después de haber determinado que la válvula no pasa la prueba preliminar de cualquiera de las dos formas o de los bancos de pruebas disponibles actualmente en la refinería.

En estos momentos se cuenta con dos tipos de pruebas una un poco más rudimentaria que la otra, donde se somete la válvula en observación, a una presión igual al taraje para el cual está diseñada, determinando principalmente si descarga correctamente al alcanzar dicha presión, fugas y el tiempo que se demora en restablecer las condiciones normales de operación una vez se haya realizado la descarga.

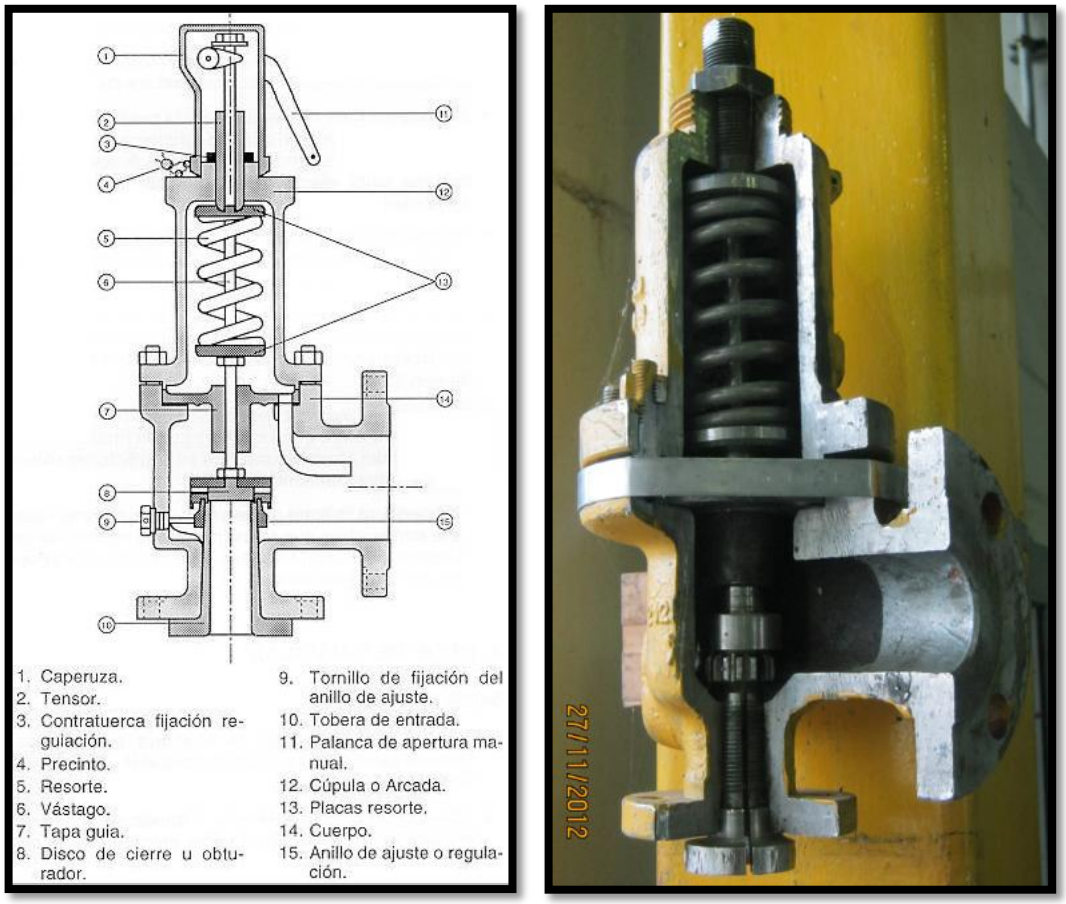
Se determinan estas situaciones, porque estas nos darán un indicio de las posibles fallas y por lo tanto tareas de mantenimiento que podamos utilizar si la válvula no cumple con los requerimientos para superar la prueba preliminar.

Figura 71. Instalación de válvula de alivio en banco de prueba #1 (prueba preliminar)

Autor: Imagen banco de pruebas # 1 taller de válvulas refinería de Barrancabermeja

Una vez se determine que la válvula no ha pasado la prueba preliminar se somete al desarme de la misma, donde previamente se hace una revisión del ajuste de las partes de la válvula.

Figura 72. Partes Válvula de alivio de presión



Fuente: Autor, taller de válvulas refinería de Barrancabermeja e instructivo para el mantenimiento de válvulas de ECOPETROL S.A

Posteriormente se retira la caperuza y el sistema de disparo o levantamiento manual (si es aplicable)

Figura 73. Retiro de caperuza y sistema de disparo manual

Fuente: Autor, taller de válvulas refinería de Barrancabermeja de ECOPETROL S.A

Después de haber retirado la caperuza, se calibra y registra la altura del tornillo tensor con un punto de referencia con el bonete o contratuerca para dejarlo en las mismas condiciones en el ensamble de la válvula una vez se haya finalizado su mantenimiento.

Figura 74. Altura del tornillo tensor

Fuente: Autor, taller de válvulas refinería de Barrancabermeja de ECOPETROL S.A

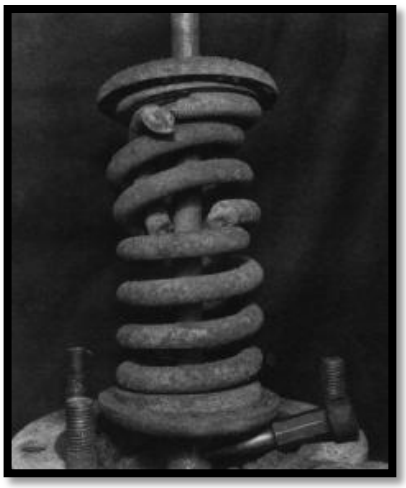
A continuación se procede al desarme retirando la contratuerca, tornillo tensor, tuercas del bonete, bonete y empaque para después extraer el resorte con sus arandelas de soporte superior e inferior. A continuación se retira el vástago y el conjunto de disco, portadiscos, guía y si es aplicable el fuelle.

Figura 75. Desarme válvula de alivio de presión.

Fuente: Autor, taller de válvulas refinería de Barrancabermeja de ECOPETROL S.A

Se revisa el resorte por erosión, corrosión, grietas, fractura o compresión excesiva por debajo de la altura libre.

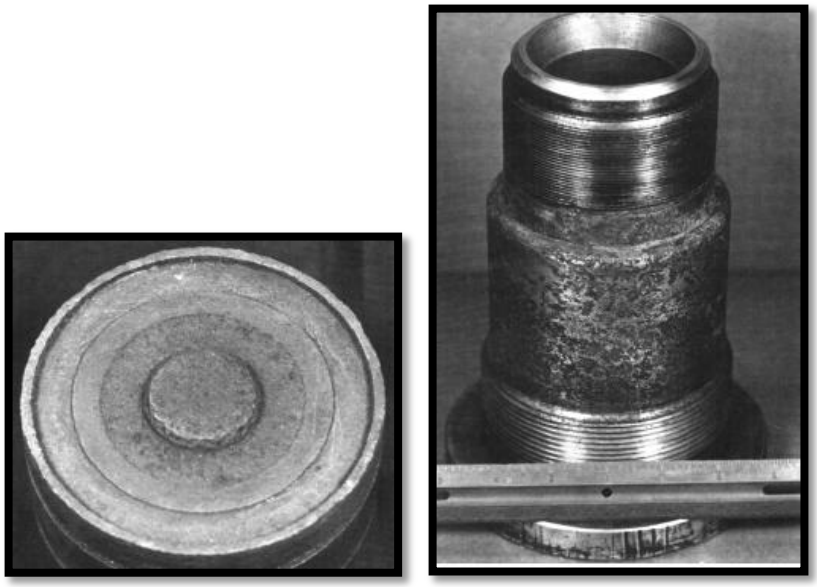
Figura 76. Resorte roto por corrosión



Fuente: API 576. Inspection of Pressure-relieving Devices

Una vez revisado el resorte, se inspecciona la boquilla y disco por grietas, golpes o desgaste inusual.

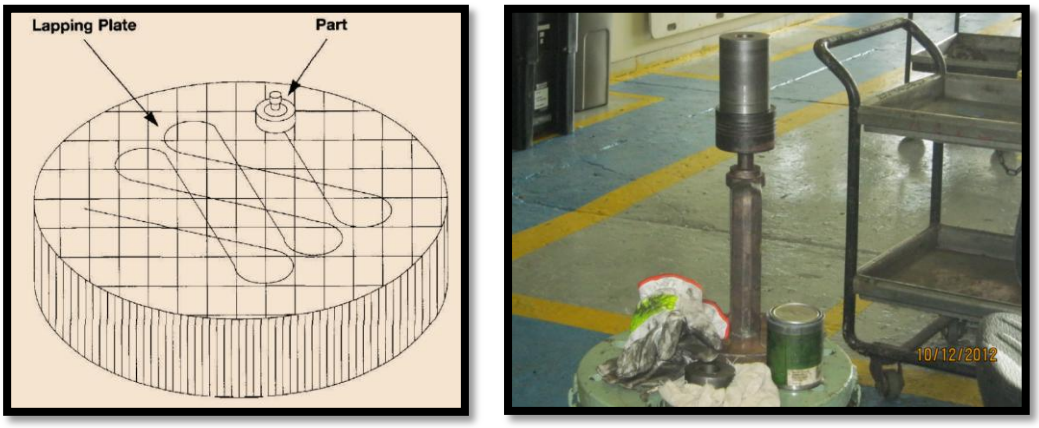
Figura 77. Disco y boquilla con deformaciones por corrosión



Fuente: API 576. Inspection of Pressure-relieving Devices

Si hay evidencias de desgaste o daño en la superficie del disco o la boquilla o ambos, realice el lapeado correspondiente sobre la piedra de lapeado y la pomada apropiada para asegurar la planitud de las superficies de sello.

Figura 78. Técnica de lapeado de disco y boquilla y piedra para lapeado

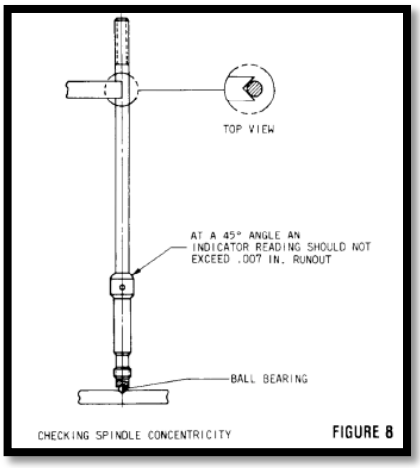


Fuente: Autor e instructivo para el mantenimiento de válvulas de ECOPETROL S.A

Si las condiciones óptimas para el funcionamiento del disco y boquilla no pueden ser reacondicionadas con lapeado de superficie, se realiza alcance para maquinado posteriormente.

Después de la revisión y ajustes en el disco y boquilla se realiza una inspección de la desviación del vástago ya que esta puede ocasionar que no accione la válvula correctamente o que sencillamente no trabaje. Se debe consultar el manual de fabricante pero normalmente la desviación no puede ser superior a 0,17 mm

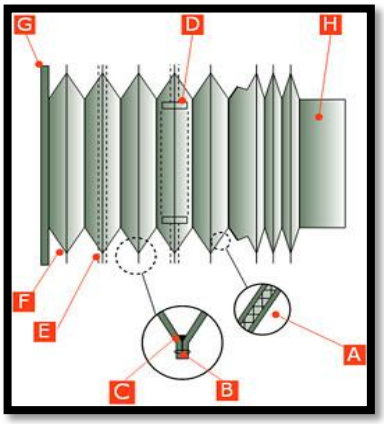
Figura 79.Vástago o Spindle.



Fuente: installation, operation and maintenance manual consolidate

Si la válvula cuenta con fuelle, revise el mismo por grietas, agujeros o corrosión y realice una prueba de fuga al fuelle para verificar el buen estado.

Figura 80. Fuelle



Fuente: http://www.tecnifuelle.com/02fuelles-circulares.php.Tecnifuelle

Como algunas válvulas de alivio tienen el bonete hermético, tienen un tubo eductor que sirve para drenar el bonete hacia la descarga cuando ha ocurrido una apertura., este debe ser revisado para evitar daños en la válvula en operación.

Figura 81. Detalle tubo eductor

Fuente: Autor, taller de válvulas refinería de Barrancabermeja de ECOPETROL S.A

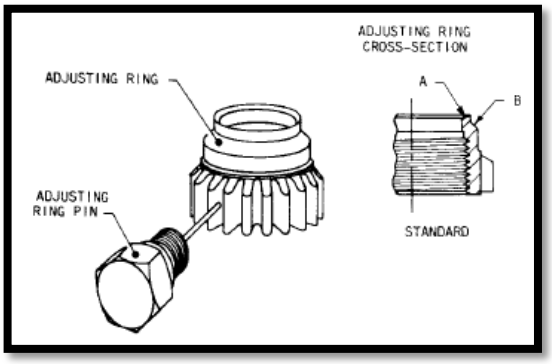
Entre las últimas tareas más importantes a tener en cuenta, se revisan los empaques por desgaste, entalles, picaduras o cortaduras, ya que estos son los principales responsables de las fugas a través de la válvula.

Por último y de acuerdo a la inspección realizada anteriormente en el vástago, resorte, boquilla, disco, empaques, tubo eductor y demás, se debe verificar la existencia de repuestos en caso de ser necesario y el cambio de alguno de ellos, en el sistema de información empleado por la empresa.

Las precauciones más importantes se deben tener en cuenta en el ensamble, ya que una inadecuada instalación implicaría reprocesos de mantenimiento que retrasan el trabajo en el taller. Entre las precauciones más importantes tenemos:

- Realizar los ajustes según sea necesario (apretar o soltar resorte, o mover anillo de ajuste para ajustar el cierre).

Figura 82. Ajuste de anillos



Fuente: installation, operation and maintenance manual consolidated

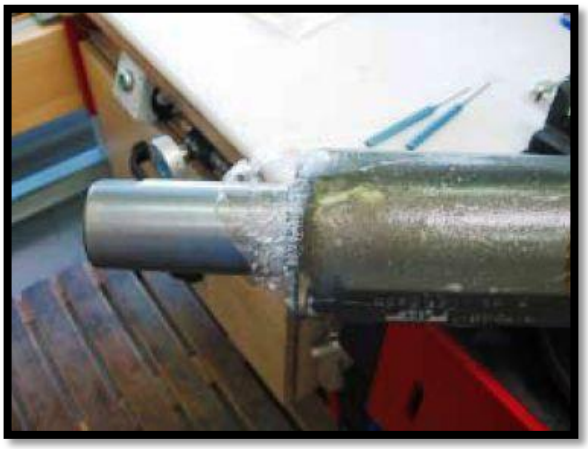
- Instalar el tornillo tensor con una altura aproximada a la altura calibrada en el desarme de la válvula.

Figura 83.Tornillo tensor

Fuente: Autor, taller de válvulas de la refinería de Barrancabermeja de ECOPETROL S.A

- Instalar la caperuza y el sistema de disparo o levantamiento manual (si es aplicable), verificando que no hay fugas en la caperuza o en el bonete.

Figura 84. Fugas en el bonete o caperuza



Fuente: instructivo para el mantenimiento de válvulas de alivio de presión de ECOPETROL S.A

- Inspeccionar que los sellos se hayan instalado correctamente

Figura 85. Sello de seguridad

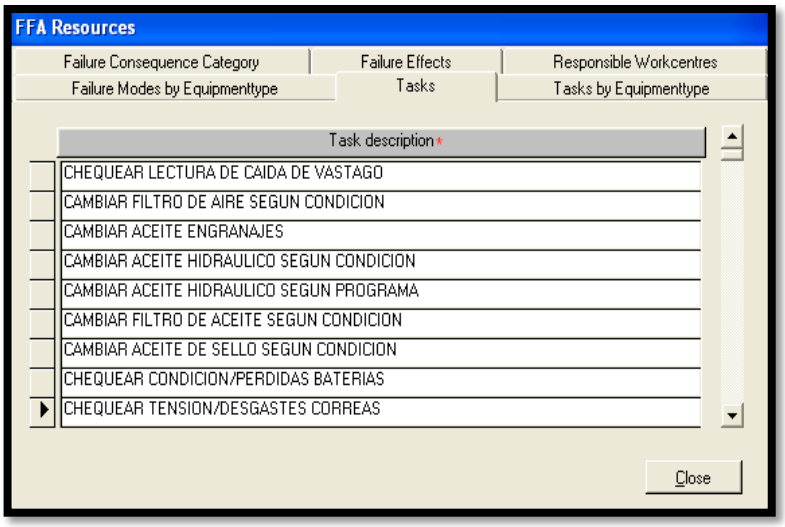
Fuente: Autor, taller de válvulas de la refinería de Barrancabermeja de ECOPETROL S.A

4.7.1.2 Tareas de mantenimiento para aplicar en el plan. Con ayuda de la investigación hecha en el taller de válvulas de la refinería de Barrancabermeja en cuanto al procedimiento y tareas de mantenimiento aplicadas en las válvulas de alivio de presión y teniendo en cuenta los ajustes necesarios para el plan de mantenimiento S-RCM se concluyó insertar al plan de mantenimiento centrado en confiabilidad tareas como las siguientes:

- Ensayo funcional
- Verificar pase según programa
- Reemplazar según programa
- Prueba preliminar de disparo
- Chequeos del operador según rutina
- Monitorear eficiencia
- Reparar/reemplazar según condición
- Limpiar, inspeccionar y lubricar
- Reparar/reemplazar según programa

4.7.2 Ingreso de tareas. Una vez contamos con las tareas de mantenimiento que queremos ingresar en el sistema, nos direccionamos a la ventana de FFA Resources, donde se realiza el ingresando de todas las tareas posibles de todos los equipos que se esperan analizar para ser usadas posteriormente en el análisis del S-RCM.

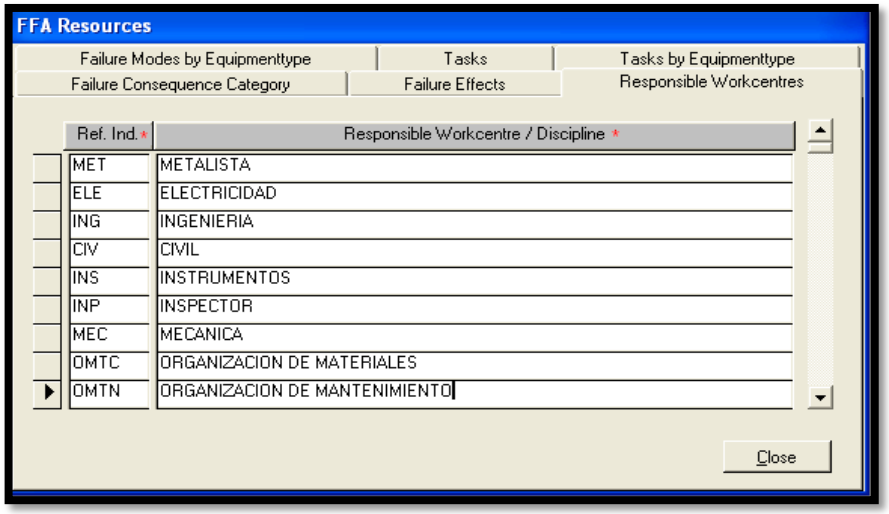
Figura 86. Ingreso de tareas en el software S-RCM



Fuente: Tomada del software S-RCM

4.7.3 Responsables de las tareas. Dependiendo de las tareas que se hayan ingresado, el software permite la selección de los responsables de las mismas, donde estos fueron ingresados en la siguiente ventana con sus correspondientes siglas.

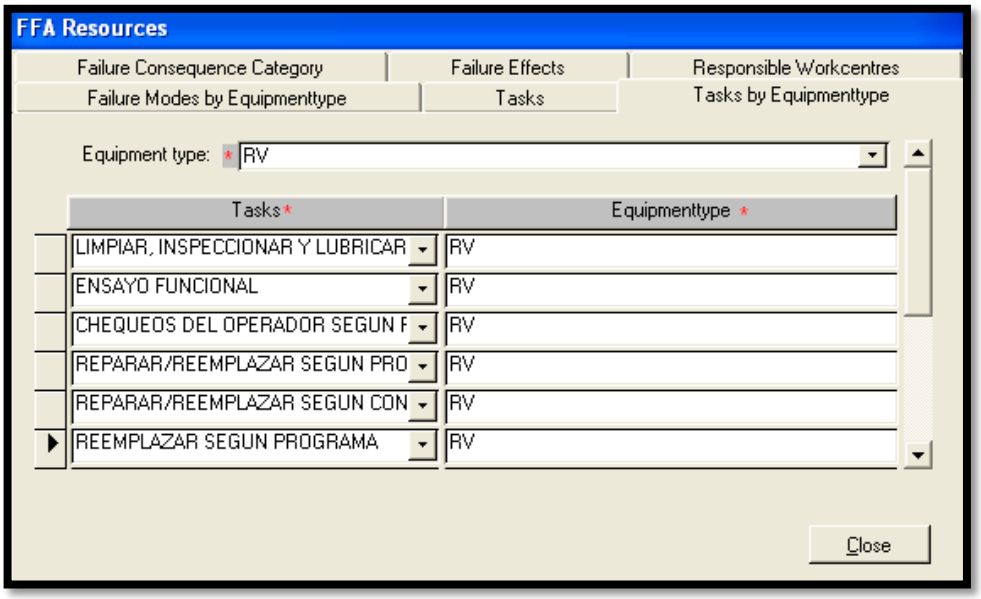
Figura 87. Responsables de tareas en el software S-RCM.



Fuente: Tomada del software S-RCM

4.7.4 Tareas por equipos. Esta ventana permitió realizar la selección de un equipo especifico (en este caso las válvulas de seguridad) y a continuación se le asignaron todas las tareas que se puedan aplicar en las válvulas.

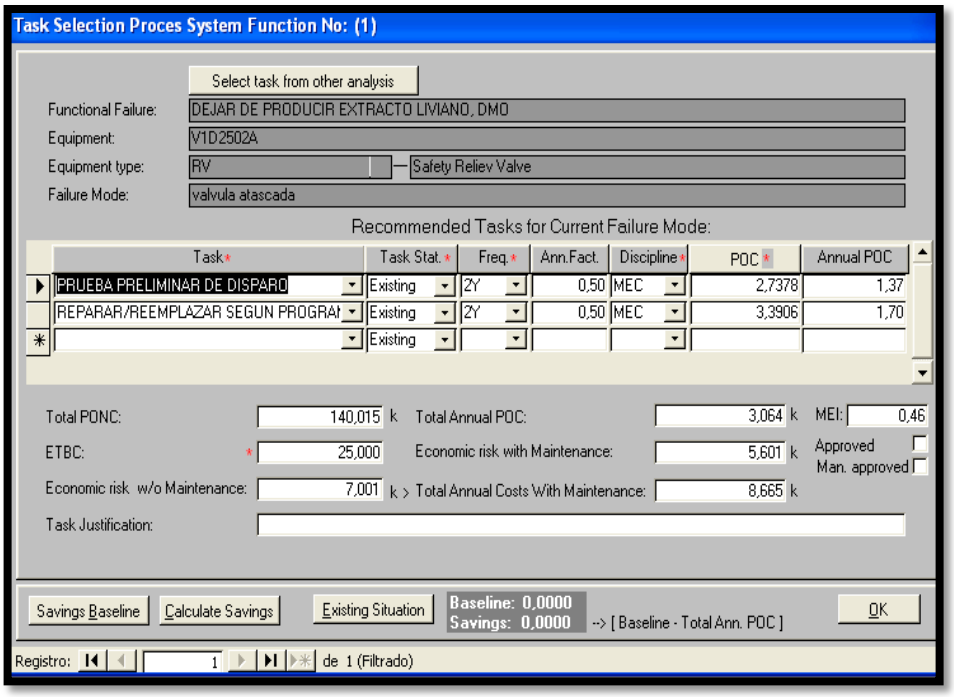
Figura 88. Asignación de tareas por equipos en el software S-RCM.



Fuente: Tomada del software S-RCM

4.7.5 Selección de tareas. Esta fase es una de las últimas del análisis, la cual se enfoca en dar solución a la falla por medio de la selección de la tarea apropiada, de la frecuencia, del responsable de realizar la tarea, del costo total de la tarea de mantenimiento proactiva (POC) y del costo anual de esta tarea.

Figura 89. Selección de tareas en el software S-RCM



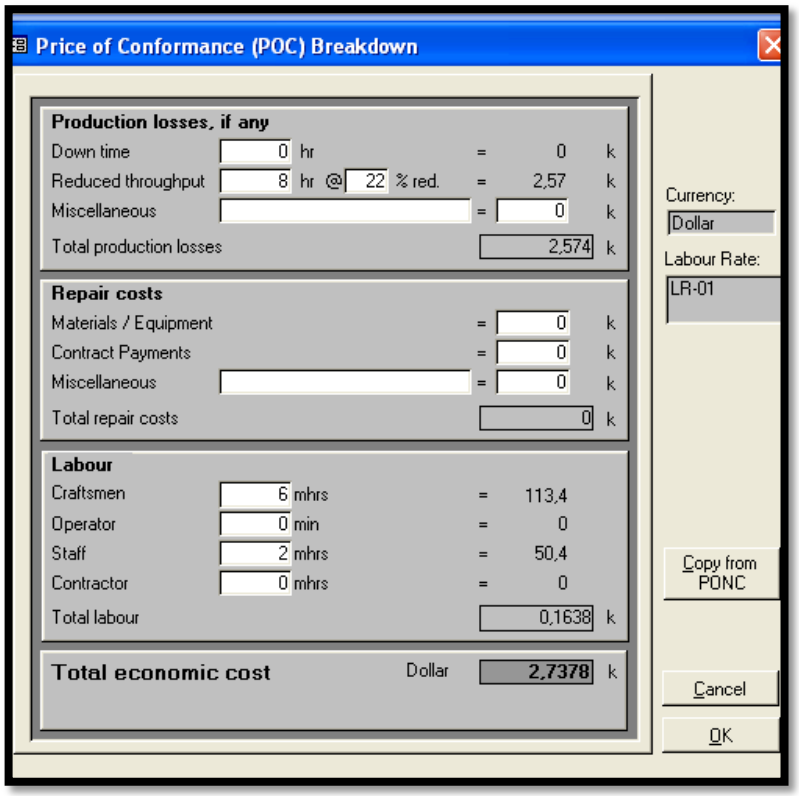
Fuente: Tomada del software S-RCM

4.8 ANALISIS COSTO EFECTIVO.

Teniendo en cuenta que las tareas de mantenimiento proactivo son solo establecidas cuando el beneficio excede el costo de la tarea proactiva, para determinar que las tareas de mantenimiento son costo-efectivas, el costo de las tareas de mantenimiento fue estimado individualmente y estos costos se anualizaron.

Un cuestionario específico similar al usado para determinar las consecuencias económicas fue empleado como ayuda en la cuantificación de los diferentes elementos de costo.

Figura 90. Cuestionario para determinar los diferentes elementos de costo en el software S-RCM.



Fuente: Tomada del software S-RCM

El costo total de una tarea de mantenimiento proactiva es llamado en el S-RCM como precio de conformidad (POC). El anual POC se calcula multiplicando el POC por la frecuencia anual de esta tarea. El costo anual total de una tarea de mantenimiento proactiva para un modo de falla específico es usualmente también referido como anual POC.

El modelo costo-benéfico usado en el proceso S-RCM compara la suma del riesgo anual y el costo con mantenimiento a la del riesgo anual sin mantenimiento. Si el primero es menor que el segundo las tareas de mantenimiento son consideradas costo efectivas en la mitigación de la consecuencia de falla. Como una fórmula:

$$\text{Annual POC} + \text{PONC/ETBC} < (\text{PONC/ETBF})$$

ETBC es el tiempo estimado entre las consecuencias con mantenimiento proactivo y refleja la eficacia de la tarea de mantenimiento específica para prevenir un acontecimiento inesperado del modo de falla. En otras palabras cuando una pieza de un equipo es tomada fuera de servicio por mantenimiento proactivo, este no es considerado como una falla en este contexto. ETBC y ETBF son conceptos teóricos y están aproximadamente relacionados con el MTBF real (TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS). Generalmente:

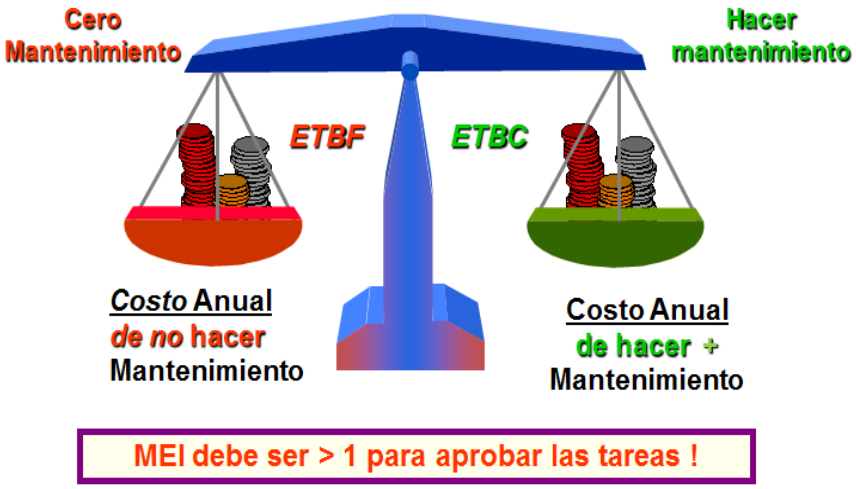
$$\text{ETBF} < \text{MTBF} < \text{ETBC}$$

La relación entre el nivel de reducción de riesgo anualizado y el costo anualizado de mantenimiento proactivo es llamado índice de mantenimiento efectivo. La reducción de riesgo es definido como la diferencia entre el riesgo económico anualizado sin mantenimiento y el riesgo anualizado con mantenimiento.

$$\text{MEI} = (\text{PONC/ETBF} - \text{PONC/ETBC})/(\text{Annual POC})$$

El MEI fue empleado, como un añadido al criterio de costo beneficio, para afinar aún más la selección de la tarea de mantenimiento. Esto se hizo con la especificación de un valor mínimo de MEI, salvo que sea igual o superior a 1, de lo contrario el criterio de costo beneficio no será satisfecho y la tarea no será seleccionada.

Figura 91. Balance costo-efectivo



Fuente: Autor del proyecto.

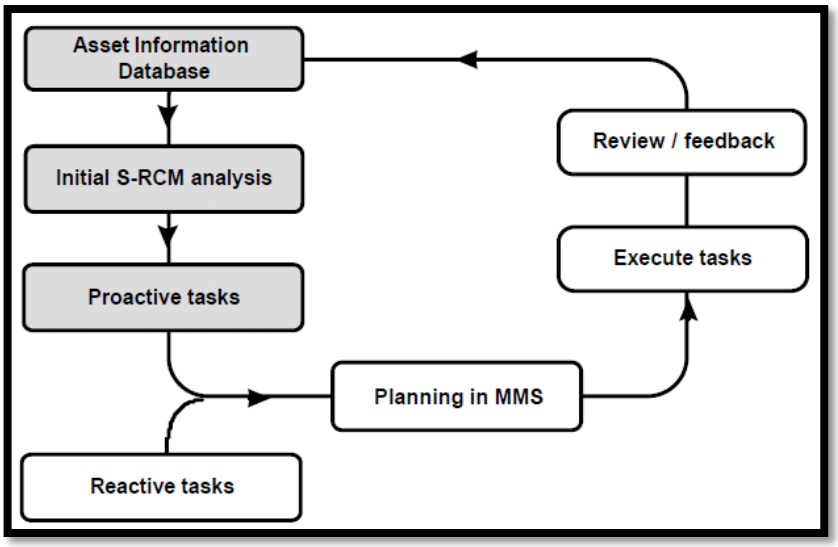
4.9 EJECUCION Y RETROALIMENTACIÓN

Después de haber completado el análisis, las tareas de mantenimiento proactivo se incluyeron en el plan de mantenimiento. Estas tareas se ingresaran en el sistema de gestión de mantenimiento donde su ejecución será planeada y programada.

Cuando una tarea es completada debe ir a través de un proceso de filtrado con el fin de determinar si requiere un revisión de S-RCM.

Es importante que “como se encuentra” y “como se deja” el plan de mantenimiento, se registre además de registrar su realización ya que esta información es crítica para continuar con la mejora del lazo de retroalimentación.

Figura 92. Retroalimentación en el S-RCM.



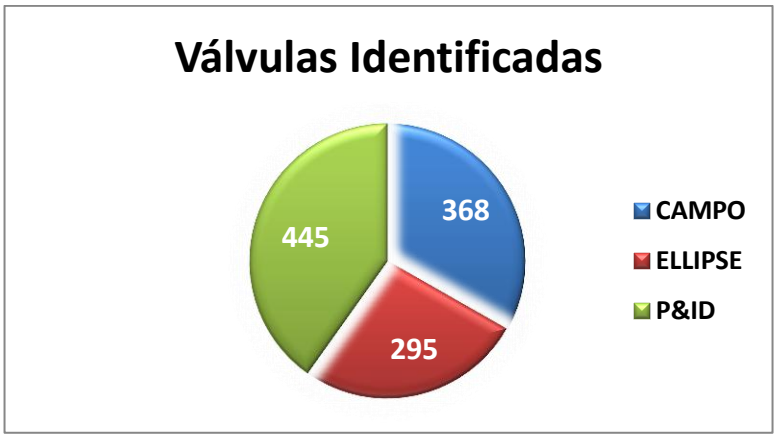
Fuente: Risk and reliability management (RRM) Manual. Appendices

Si las condiciones reveladas reales durante las tareas de mantenimiento son diferentes que las expectativas, o si el mantenimiento reactivo resulta ser inesperadamente amplio, el análisis inicial de S-RCM para el ítem del equipo especifico y modo de falla debe ser considerado.

CONCLUSIONES

- Se logró cumplir con los objetivos de este proyecto, asegurando la información de las válvulas de alivio de presión del Departamento de Materias Primas y Productos de la refinería de Barrancabermeja de ECOPETROL S.A, e implementando un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad con la ayuda del software S-RCM que fue aplicado en la Nueva Estación de GLP de este departamento.

- Se identificaron 1108 válvulas de seguridad y alivio de presión del Departamento de Materias Primas y Productos repartidas de la siguiente manera en cada uno de los inventarios realizados en este Departamento:



Con un cruce de los datos recopilados en campo, en el sistema de información de ECOPETROL S.A (Ellipse) y en los diagramas de proceso (P&ID), se aseguró la información de cada válvula con evidencias fotografías y P&IDS que se recopilaron adicionalmente para proporcionar una información real en el sistema de información de esta empresa, que permita hacer intervenciones con datos confiables que se alcanzaron con la actualización de información, cuando sea necesario.

- Con el reporte d estados de aproximadamente 200 válvulas de seguridad y alivio de presión, se permite disponer de una línea de tiempo del comportamiento de las válvulas de Materias Primas durante el tiempo que llevan en operación desde su instalación.

- Gracias al análisis de la información recopilada para cada una de las válvulas de alivio de presión del Departamento de Materias Primas y Productos, fue posible clasificarlas en tres grupos de acuerdo a la clase de datos hallados de cada válvula:

1. Válvulas OK
2. Válvulas para crear en ELLIPSE
3. Válvulas para listar con ingeniero de procesos de la planta

Esta clasificación permitió actualizar la caracterización de 85 válvulas en el sistema de información ELLIPSE de ECOPETROL S.A que no se encontraban en dicho sistema, además de permitir el adicionamiento de información con las fuentes encontradas en los inventarios, de datos que habían sido cargados anteriormente al sistema de forma incompleta.

- El desarrollo de la fase de aseguramiento de información de este proyecto, permitió suministrar una herramienta como los 11 formatos de inspección del cruce de los tres inventarios de cada una de las estaciones del Departamento de Materias Primas y Productos de la refinería de Barrancabermeja, que facilitaran tanto la identificación como la consulta de toda información disponible de estos equipos de alivio de presión para cada una de las válvulas de este Departamento, logrando compactar información hipervinculada en estos formatos como evidencias de diagramas de proceso, fotografías e información extra como reportes de mantenimiento y ubicación geográfica.

- La necesidad de implementar una estrategia de mantenimiento y la decisión de que esta se centrara en la confiabilidad de las válvulas presentes en el proceso de producción, permitió elaborar un instructivo de la herramienta escogida: “S-RCM”, que adquirió ECOPETROL S.A y que no había sido usada aun por la Coordinación de Inspección e Integridad de equipos de la refinería de Barrancabermeja, que ahora dispone de este instructivo para estrategias de S-RCM posteriores.

- La aplicación del proceso de S-RCM en la nueva estación de GLP de la refinería de Barrancabermeja, dio la oportunidad de recopilar y analizar información muy relevante para el análisis de RCM de las válvulas de alivio de presión de esa estación, como las fallas funcionales, los modos de falla de las válvulas, evaluación de consecuencias de salud y seguridad, medioambiente y económicas para la planta, además de permitir la elaboración de reportes gracias al software de S-RCM de las tareas costo-efectivas propuestas para cada válvula de esta estación con su correspondiente frecuencia.

- El proceso de implementación del plan de mantenimiento S-RCM en las válvulas de alivio de presión, dio paso al conocimiento de la Nueva estación de GLP de la refinería de Barrancabermeja y de los procesos desarrollados allí, a la compresión de las partes y el funcionamiento de las válvulas de alivio de presión, así como de las tareas o actividades realizadas en las válvulas para su respectivo mantenimiento.

- La metodología del RCM, que reconoce la importancia del trabajo en equipo, conllevo a crear un grupo interdisciplinario de personas relacionadas con la planta y con el activo bajo estudio que dio la posibilidad de aprender en gran medida de cada uno de los integrantes del grupo formado en cada una de las áreas en que se desarrollan, además de aprender por enseñanzas y

experiencia propia, las claves del trabajo en equipo y en la integración de cada miembro para el desarrollo de esta estrategia de mantenimiento.

- Los proyectos de mantenimiento contribuyen en gran medida en la formación de una clara visión del funcionamiento, estructura y desarrollo de cualquier activo y empresa donde se aplique, por lo que es apropiado y necesario que la escuela de Ingeniería Mecánica enfatizara aún más en la academia del mantenimiento, ya que esta área, ha dado y dará grandes oportunidades a una cantidad muy importante de egresados de la carrera de ingeniería mecánica.

- Este tipo de proyectos desarrollados durante nuestra formación como profesionales, nos da la posibilidad de acercarnos a grandes empresas para vivir la experiencia a la cual nos enfrentaremos cuando culmine nuestro proceso académico, demostrando las grandes habilidades adquiridas durante el mismo en pro de la industria, reconociendo además, las importantes oportunidades laborales para las cuales nos prepara la Universidad.

BIBLIOGRAFIA

COLLECTION AND EXCHANGE OF RELIABILITY AND MAINTENANCE Data for Equipment. ANSI/API Standard 689. First Edition, July 2007.135-136p.

COMPLEJO INDUSTRIAL DE BARRANCABERMEJA. Disponible en: http://www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=46&conID=37668&pagID=134631

HISTORIA DE ECOPETROL S.A. Disponible en internet en: http://www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=532&conID=76464

INSPECTION OF PRESSURE-RELIEVING DEVICES. API recommended practice 576. Second Edition, December 2000.10-25p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMA TECNICA. NTC 1486. 2008. Documentación y presentación de tesis, trabajos de gratos y otros trabajos de investigación. Sexta Actualización. Bogotá D.C. INCONTEC 2008 36p

MANTENIMIENTO PLANIFICADO. Disponible en internet: http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos_rcm_archivos/RCM2%20EXPLICACION.pdf

MANTENIMIENTO DE VLAVULAS DE ALIVIO DE PRESION. Catalogo: Installation, operation and maintenance manual consolidate.22-30p

MANUAL SOFTWARE RRM. Risk and reliability management (RRM) Manual. Appendices. 21-40p.

MANUAL SOFTWARE RRM. Risk and reliability management (RRM) Software Manual 4-43p.
MANUAL SOFTWARE RRM. Risk and reliability management (RRM) Manual Text.7-31p.

MOUBRAY, Jhon. Reliability Centered Maintenance: edición 2. New York, Estados Unidos: Industrial press, 1997, 5-215p

ORTIZ P. Daniel. Organizaciones del Mantenimiento: Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM. Bucaramanga: Posgrado gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2008. P.125

PMA-PMA-I-499. Instructivo para el mantenimiento de válvulas de seguridad, válvulas de alivio y válvulas de alivio de seguridad. Disponible en intranet ECOPETROL S.A.1-7p.

RISK- BASED INSPECTION TECHNOLOGY. API recommended practice 581. Second Edition, September 2008.28p.

SAE. JA 1012: Guía para el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Enero 2002. 2-55p.

VALVULAS DE ALIVIO DE PRESIÓN .Catalogo: Anderson Greenwood Crosby-technical seminar manual. 4-29p.

VALVULAS DE ALIVIO DE PRESIÓN. Catalogo: Crosby Style HL Low Pressure Steel Full Nozzle Safety Valves.

ANEXOS

Anexo A. Carta de aprobación de la Coordinación de Inspección e Integridad de Equipos de la refinería de Barrancabermeja de ECOPETROL S.A al proyecto realizado en el Departamento de Materias Primas y Productos.

Barrancabermeja, 09 de Julio de 2013

Señores

Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica

Universidad Industrial de Santander

La presente tiene como objetivo certificar que el estudiante de Ingeniería Mecánica Julián Eduardo Centeno Díaz cuyo código institucional es 2082017, desarrolló y culminó satisfactoriamente su proyecto de grado en la Coordinación de Inspección e Integridad de equipos de la Refinería de Barrancabermeja de ECOPETROL S.A, cuyos objetivos se plasman en el Libro de Grado titulado "ASEGURAMIENTO DE INFORMACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA "S-RCM" (SHELL-RCM) EN VÁLVULAS DE ALIVIO DE PRESIÓN DE LA GRB DE ECOPETROL S.A." y se citan a continuación:

Objetivo General:

Contribuir con el objetivo misional de la Universidad Industrial de Santander de formar profesionales íntegros con alta competencias, capacidades de investigación y manejo de las nuevas herramientas para la gestión de activos, aportando las habilidades adquiridas a la industria por medio de un aseguramiento de información y un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), para las válvulas de alivio de presión del Departamento de Materias Primas y Productos de la refinería de Barrancabermeja (GRB) de ECOPETROL S.A

Objetivos Específicos:

1. *Realizar el inventario de las válvulas de alivio de presión del Departamento De Materias Primas según información obtenida en campo y en los diagramas de proceso P&ID.*

Página 1 de 2

2. *Actualizar la caracterización y el estado de las válvulas de alivio de presión del Departamento en el sistema de información Ellipse.*
3. *Crear formatos de inspección para cada válvula de alivio de presión del Departamento De Materias Primas y Productos identificada en campo.*
4. *Elaborar un instructivo para el uso de la herramienta S-RCM, que adquirió Ecopetrol S.A, para el desarrollo de un mantenimiento confiable que no se ha aplicado aún en el Departamento de Inspección e Integridad de Equipos de la GRB.*
5. *Implementar el plan de mantenimiento centrado en confiabilidad en las válvulas de seguridad y alivio de presión de la Nueva Estación De GLP del Departamento de Materias Primas y Productos, mediante la información suministrada por un grupo interdisciplinar creado para este fin en la empresa.*

La presente certificación se expide a solicitud del interesado a los 09 días del mes de Julio de 2013.

Cordialmente:

13'740.599 e/ga.

Carlo Hernando Patiño Villamizar
Líder de Confiabilidad de la Coordinación de Inspección e Integridad de Equipos
Gerencia Refinería Barrancabermeja
ECOPETROL S.A
Email: Carlos.Patiño@ecopetrol.com.co
Tel: 6208765

Anexo B. Reportes finales de la implementación de S-RCM en las válvulas de alivio de presión.

Job Recommendations by Discipline / S-RCM Analysis

Rev. Number: Rev. Date: Facilitator:

Operating Company: GCB Gerencia Complejo de Barrancabermeja

Site: EJA Barrancabermeja

Equipment:	Failure Mode:	Recommended Job:	Responsible:	Frequency:	Factor [times/yr]	JobStatus:	Approved:
V	falla de mecanismo de posicionador	REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	2T/A	0.1	New	Yes
V	valvula con pase	REPARAR/REEMPLAZAR A FALLA	MECANICA	ASN	0.2	Existing	Yes
V	valvula atascada	PRUEBA PRELIMINAR DE DISPARO	MECANICA	2Y	0.5	Existing	Yes
V	valvula atascada	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	2Y	0.5	Existing	Yes
V	falla valvula bloque	REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	2T/A	0.1	New	Yes
V	valvula con pase	REPARAR/REEMPLAZAR A FALLA	MECANICA	ASN	0.2	Existing	Yes
V	valvula atascada	PRUEBA PRELIMINAR DE DISPARO	MECANICA	2Y	0.5	Existing	Yes
V	valvula atascada	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	2Y	0.5	Existing	Yes
V	falla valvula bloque	REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	2T/A	0.1	New	Yes
V	valvula con pase	REPARAR/REEMPLAZAR A FALLA	MECANICA	ASN	0.2	Existing	Yes
V	valvula atascada	PRUEBA PRELIMINAR DE DISPARO	MECANICA	2Y	0.5	Existing	Yes
V	valvula atascada	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	2Y	0.5	Existing	Yes
V	falla valvula bloque	REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	2T/A	0.1	New	Yes
V	valvula con pase	REPARAR/REEMPLAZAR A FALLA	MECANICA	ASN	0.2	Existing	Yes
V	valvula atascada	PRUEBA PRELIMINAR DE DISPARO	MECANICA	3Y	0.333	Modified	Yes
V	falla valvula bloque	REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	2T/A	0.1	New	Yes
V	valvula atascada	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	3Y	0.333	Modified	Yes
V	valvula atascada	PRUEBA PRELIMINAR DE DISPARO	MECANICA	2Y	0.5	Existing	Yes
\	valvula con pase	REPARAR/REEMPLAZAR A FALLA	MECANICA	ASN	0.2	Existing	Yes
\	falla valvula bloque	REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	2T/A	0.1	New	Yes
\	valvula atascada	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	2Y	0.5	Existing	Yes
\	valvula con pase	REPARAR/REEMPLAZAR A FALLA	MECANICA	ASN	0.2	Existing	Yes
\	falla valvula bloque	REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	2T/A	0.1	New	Yes
\	valvula atascada	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	T/A	0.2	Existing	Yes
\	valvula atascada	PRUEBA PRELIMINAR DE DISPARO	MECANICA	T/A	0.2	Existing	Yes
\	valvula atascada	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	T/A	0.2	Existing	Yes

martes, 09 de julio de 2013

Job Recommendations by Discipline / S-RCM Analysis

Rev. Number: **Rev. Date:** **Facilitator:**

Operating Company: GCB Gerencia Complejo de Barrancabermeja
Site: EJA Barrancabermeja

Equipment:	Failure Mode:	Recommended Job:	Responsible:	Frequency:	Factor [times/yr]	JobStatus:	Approved:
V	valvula atascada	PRUEBA PRELIMINAR DE DISPARO	MECANICA	T/A	0.2	Existing	Yes
V	valvula con pase	REPARAR/REEMPLAZAR A FALLA	MECANICA	ASN	0.2	Existing	Yes
V	falla valvula bloque	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN CONDICION	MECANICA	ASN	0.1	Existing	Yes
V	falla valvula bloque	ENSAYO FUNCIONAL	MECANICA	3Y	0.333	New	Yes
V	valvula atascada	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	3Y	0.333	Existing	Yes
V	valvula atascada	PRUEBA PRELIMINAR DE DISPARO	MECANICA	3Y	0.333	Existing	Yes
V	valvula con pase	REPARAR/REEMPLAZAR A FALLA	MECANICA	ASN	0.2	Existing	Yes
V	falla valvula bloque	ENSAYO FUNCIONAL	MECANICA	3Y	0.333	New	Yes
V	valvula atascada	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	3Y	0.333	Existing	Yes
V	valvula atascada	PRUEBA PRELIMINAR DE DISPARO	MECANICA	3Y	0.333	Existing	Yes
V	valvula con pase	REPARAR/REEMPLAZAR A FALLA	MECANICA	ASN	0.2	Existing	Yes
V	falla valvula bloque	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN CONDICION	MECANICA	ASN	0.1	Existing	Yes
V	valvula atascada	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	18	0.667	Modified	Yes
V	valvula atascada	PRUEBA PRELIMINAR DE DISPARO	MECANICA	18	0.667	Modified	Yes
V	valvula con pase	REPARAR/REEMPLAZAR A FALLA	MECANICA	ASN	0.2	Existing	Yes
V	falla valvula bloque	ENSAYO FUNCIONAL	MECANICA	18	0.667	New	Yes
V	falla valvula bloque	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN CONDICION	MECANICA	ASN	0.1	Existing	Yes
V	valvula con pase	REPARAR/REEMPLAZAR A FALLA	MECANICA	ASN	0.2	Existing	Yes
V	valvula atascada	PRUEBA PRELIMINAR DE DISPARO	MECANICA	T/A	0.2	Existing	Yes
V	falla valvula bloque	REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	2T/A	0.1	New	Yes
V	valvula atascada	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	T/A	0.2	Existing	Yes
V	valvula atascada	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	T/A	0.2	Existing	Yes
V	valvula con pase	REPARAR/REEMPLAZAR A FALLA	MECANICA	ASN	0.2	Existing	Yes
V	valvula atascada	PRUEBA PRELIMINAR DE DISPARO	MECANICA	T/A	0.2	Existing	Yes
V	falla valvula bloque	REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	2T/A	0.1	New	Yes
V	falla valvula bloque	ENSAYO FUNCIONAL	MECANICA	18	0.667	New	Yes

martes, 09 de julio de 2013

Job Recommendations by Discipline / S-RCM Analysis

Rev. Number: Rev. Date: Facilitator:

Operating Company: GCB Gerencia Complejo de Barrancabermeja

Site: EJA Barrancabermeja

Equipment:	Failure Mode:	Recommended Job:	Responsible:	Frequency:	Factor [times/yr]	JobStatus:	Approved:
V	valvula atascada	PRUEBA PRELIMINAR DE DISPARO	MECANICA	18	0.667	Modified	Yes
V	valvula atascada	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	18	0.667	Modified	Yes
V	valvula con pase	REPARAR/REEMPLAZAR A FALLA	MECANICA	ASN	0.2	Existing	Yes
V	falla valvula bloque	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN CONDICION	MECANICA	ASN	0.1	Existing	Yes
V	falla valvula bloque	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN CONDICION	MECANICA	ASN	0.1	Existing	Yes
V	falla valvula bloque	ENSAYO FUNCIONAL	MECANICA	18	0.667	New	Yes
V	valvula atascada	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	18	0.667	Modified	Yes
V	valvula atascada	PRUEBA PRELIMINAR DE DISPARO	MECANICA	18	0.667	Modified	Yes
V	valvula con pase	REPARAR/REEMPLAZAR A FALLA	MECANICA	ASN	0.2	Existing	Yes
V	falla valvula bloque	ENSAYO FUNCIONAL	MECANICA	18	0.667	New	Yes
V	falla valvula bloque	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN CONDICION	MECANICA	ASN	0.1	Existing	Yes
V	valvula atascada	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	18	0.667	Modified	Yes
V	valvula atascada	PRUEBA PRELIMINAR DE DISPARO	MECANICA	18	0.667	Modified	Yes
V	valvula con pase	REPARAR/REEMPLAZAR A FALLA	MECANICA	ASN	0.2	Existing	Yes
V	valvula atascada	PRUEBA PRELIMINAR DE DISPARO	MECANICA	18	0.667	Modified	Yes
V	valvula atascada	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	18	0.667	Modified	Yes
V	falla valvula bloque	ENSAYO FUNCIONAL	MECANICA	18	0.667	New	Yes
V	falla valvula bloque	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN CONDICION	MECANICA	ASN	0.1	Existing	Yes
V	valvula con pase	REPARAR/REEMPLAZAR A FALLA	MECANICA	ASN	0.2	Existing	Yes
V	valvula atascada	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	18	0.667	Modified	Yes
V	valvula con pase	REPARAR/REEMPLAZAR A FALLA	MECANICA	ASN	0.2	Existing	Yes
V	valvula atascada	PRUEBA PRELIMINAR DE DISPARO	MECANICA	18	0.667	Modified	Yes
V	falla valvula bloque	ENSAYO FUNCIONAL	MECANICA	18	0.667	New	Yes
V	falla valvula bloque	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN CONDICION	MECANICA	ASN	0.1	Existing	Yes
V	falla valvula bloque	REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	2T/A	0.1	New	Yes
V	valvula atascada	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	2Y	0.5	Existing	Yes

martes, 09 de julio de 2013

Job Recommendations by Discipline / S-RCM Analysis

Rev. Number: **Rev. Date:** **Facilitator:**

Operating Company: GCB Gerencia Complejo de Barrancabermeja
Site: EJA Barrancabermeja

Equipment:	Failure Mode:	Recommended Job:	Responsible:	Frequency:	Factor [times/yr]	JobStatus:	Approved:
V	valvula atascada	PRUEBA PRELIMINAR DE DISPARO	MECANICA	2Y	0.5	Existing	Yes
V	valvula con pase	REPARAR/REEMPLAZAR A FALLA	MECANICA	ASN	0.2	Existing	Yes
V	valvula atascada	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	2Y	0.5	Existing	Yes
V	valvula atascada	PRUEBA PRELIMINAR DE DISPARO	MECANICA	2Y	0.5	Existing	Yes
V	valvula con pase	REPARAR/REEMPLAZAR A FALLA	MECANICA	ASN	0.2	Existing	Yes
V	falla valvula bloque	REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	2T/A	0.1	New	Yes
V	valvula atascada	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	2Y	0.5	Existing	Yes
V	valvula con pase	REPARAR/REEMPLAZAR A FALLA	MECANICA	ASN	0.2	Existing	Yes
V	falla valvula bloque	REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	2T/A	0.1	New	Yes
V	valvula atascada	PRUEBA PRELIMINAR DE DISPARO	MECANICA	2Y	0.5	Existing	Yes
V	valvula atascada	PRUEBA PRELIMINAR DE DISPARO	MECANICA	2Y	0.5	Existing	Yes
V	falla valvula bloque	REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	2T/A	0.1	New	Yes
V	valvula con pase	REPARAR/REEMPLAZAR A FALLA	MECANICA	ASN	0.2	Existing	Yes
V	valvula atascada	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	2Y	0.5	Existing	Yes
V	valvula con pase	REPARAR/REEMPLAZAR A FALLA	MECANICA	ASN	0.2	Existing	Yes
V	valvula atascada	PRUEBA PRELIMINAR DE DISPARO	MECANICA	18	0.667	Modified	Yes
V	valvula atascada	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	18	0.667	Modified	Yes
V	valvula atascada	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	18	0.667	Modified	Yes
V	falla valvula bloque	ENSAYO FUNCIONAL	MECANICA	18	0.667	New	Yes
V	valvula atascada	PRUEBA PRELIMINAR DE DISPARO	MECANICA	18	0.667	Modified	Yes
V	valvula con pase	REPARAR/REEMPLAZAR A FALLA	MECANICA	ASN	0.2	Existing	Yes
V	falla valvula bloque	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN CONDICION	MECANICA	ASN	0.1	Existing	Yes
V	valvula con pase	REPARAR/REEMPLAZAR A FALLA	MECANICA	ASN	0.5	Existing	Yes
V	valvula atascada	PRUEBA PRELIMINAR DE DISPARO	MECANICA	3Y	0.333	Existing	Yes
V	valvula atascada	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	3Y	0.333	Existing	Yes
V	valvula con pase	REPARAR/REEMPLAZAR A FALLA	MECANICA	ASN	0.5	Existing	Yes

martes, 09 de julio de 2013

Job Recommendations by Discipline / S-RCM Analysis

Rev. Number: **Rev. Date:** **Facilitator:**

Operating Company: GCB Gerencia Complejo de Barrancabermeja

Site: EJA Barrancabermeja

Equipment:	Failure Mode:	Recommended Job:	Responsible:	Frequency:	Factor [times/yr]	JobStatus:	Approved:
V	valvula atascada	PRUEBA PRELIMINAR DE DISPARO	MECANICA	3Y	0.333	Existing	Yes
V	valvula atascada	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	3Y	0.333	Existing	Yes
V	valvula atascada	PRUEBA PRELIMINAR DE DISPARO	MECANICA	3Y	0.333	Existing	Yes
V	valvula atascada	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	3Y	0.333	Existing	Yes
V	valvula con pase	REPARAR/REEMPLAZAR A FALLA	MECANICA	ASN	0.5	Existing	Yes
V	valvula con pase	REPARAR/REEMPLAZAR A FALLA	MECANICA	ASN	0.5	Existing	Yes
V	valvula atascada	PRUEBA PRELIMINAR DE DISPARO	MECANICA	3Y	0.333	Existing	Yes
V	valvula atascada	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	3Y	0.333	Existing	Yes
V	valvula con pase	REPARAR/REEMPLAZAR A FALLA	MECANICA	ASN	0.5	Existing	Yes
V	valvula atascada	PRUEBA PRELIMINAR DE DISPARO	MECANICA	3Y	0.333	Existing	Yes
V	valvula atascada	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	3Y	0.333	Existing	Yes
V	valvula atascada	PRUEBA PRELIMINAR DE DISPARO	MECANICA	3Y	0.333	Existing	Yes
V	valvula atascada	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	3Y	0.333	Existing	Yes
V	valvula con pase	REPARAR/REEMPLAZAR A FALLA	MECANICA	ASN	0.5	Existing	Yes
V	valvula atascada	PRUEBA PRELIMINAR DE DISPARO	MECANICA	3Y	0.333	Existing	Yes
V	valvula atascada	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	3Y	0.333	Existing	Yes
V	valvula con pase	REPARAR/REEMPLAZAR A FALLA	MECANICA	ASN	0.5	Existing	Yes
V	valvula con pase	REPARAR/REEMPLAZAR A FALLA	MECANICA	ASN	0.5	Existing	Yes
V	valvula atascada	PRUEBA PRELIMINAR DE DISPARO	MECANICA	3Y	0.333	Existing	Yes
V	valvula atascada	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	3Y	0.333	Existing	Yes
V	valvula atascada	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	3Y	0.333	Existing	Yes
V	valvula con pase	REPARAR/REEMPLAZAR A FALLA	MECANICA	ASN	0.5	Existing	Yes
V	valvula atascada	PRUEBA PRELIMINAR DE DISPARO	MECANICA	3Y	0.333	Existing	Yes
V	valvula atascada	PRUEBA PRELIMINAR DE DISPARO	MECANICA	3Y	0.333	Existing	Yes
V	valvula atascada	REPARAR/REEMPLAZAR SEGUN PROGRAMA	MECANICA	3Y	0.333	Existing	Yes
V	valvula con pase	REPARAR/REEMPLAZAR A FALLA	MECANICA	ASN	0.5	Existing	Yes

martes, 09 de julio de 2013