

**OPTIMIZACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO DE LA EMPRESA
HYDROSTATIC TESTING S.A.S. A TRAVÉS DE UN PLAN DE
MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD – RCM II**

EDGAR ANDRES ARIZA BARBOSA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2018

**OPTIMIZACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO DE LA EMPRESA
HYDROSTATIC TESTING S.A.S. A TRAVÉS DE UN PLAN DE
MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD – RCM II**

EDGAR ANDRES ARIZA BARBOSA

**Proyecto de grado para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO**

Director

PEDRO JOSÉ DÍAZ GUERRERO

Ingeniero mecánico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2018

DEDICATORIA

A Dios todopoderoso, guía de mi camino, quien me fortalece en los momentos adversos y me da sabiduría para afrontar los obstáculos encontrados en la vida.

A mis padres Edgar José Ariza Castillo y Maria Esperanza Barbosa Rincón, quienes con su amor y apoyo incondicional fueron pilares fundamentales para lograr la meta propuesta.

A mi hermana Laura Ariza Barbosa, ejemplo de constancia y perseverancia constante para la consecución de los objetivos trazados.

A mi abuelita Rosa Maria Rincón (QEPD), su amor y enseñanzas brindadas en mi niñez siempre están presentes en mi memoria.

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Pedro José Díaz Guerrero, por su disposición y colaboración como director del proyecto de grado.

A la empresa Hydrostatic Testing S.A.S por brindarme la oportunidad de desarrollar la práctica empresarial y a través de ella aplicar y fortalecer los conocimientos adquiridos en la universidad.

A los profesores de la escuela de ingeniería mecánica por su aporte fundamental en el proceso de formación como ingeniero mecánico.

A mis compañeros y amigos de la universidad por el afecto y aprecio mostrado hacia mi persona.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	19
1. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO	21
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	21
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	22
2. OBJETIVOS.....	24
2.1 OBJETIVO GENERAL	24
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24
3. MARCO REFERENCIAL.....	25
3.1 HYDROSTATIC TESTING S.A.S.....	25
3.2 MISIÓN	26
3.3 VISIÓN.....	27
3.4 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DE LA EMPRESA:.....	27
3.5 SERVICIOS QUE OFRECE LA EMPRESA	28
3.5.1 Diseño y ejecución de pruebas hidrostáticas	28
3.5.2 Mantenimiento y calibración de válvulas de seguridad y alivio térmico.	29
3.5.3 Mantenimiento y reparación de válvulas de proceso	29
3.6 UBICACIÓN GEOGRÁFICA	30
4. MARCO TEÓRICO	31
4.1 TEORÍA DEL MANTENIMIENTO.....	31
4.1.1 Activos.	32
4.1.2 Disponibilidad.....	32
4.1.3 Mantenibilidad.....	32

4.1.4 Confiabilidad.	32
4.1.5 Confiabilidad operacional.....	32
4.1.6 Plan de Mantenimiento.	33
4.1.7 Tipos de mantenimiento.....	33
4.1.7.1 Mantenimiento correctivo.....	33
4.1.7.2 Mantenimiento preventivo.....	34
4.1.7.3 Mantenimiento predictivo.....	34
4.1.7.4 Mantenimiento basado en condición (CBM).	34
4.1.7.5 Mantenimiento productivo total (TPM).	35
4.1.7.6 Mantenimiento proactivo.....	35
4.1.7.7 Mantenimiento cero horas.....	35
4.2 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM II)	36
4.2.1 Las siete preguntas básicas.....	37
4.2.2 Resultados de un análisis RCM.....	37
4.2.3 Logros del RCM.....	38
4.2.4 Funciones.....	38
4.2.4.1 Funciones primarias.....	38
4.2.4.2 Funciones secundarias.....	39
4.2.4.3 Estándares de funcionamiento.....	39
4.2.4.4 Contexto operacional.....	40
4.2.4.5 Fallas funcionales.....	40
4.2.4.6 Fallas potenciales.....	41
4.2.5 Análisis de modos y efectos de falla (AMFE).....	41
4.2.5.1 Modo de falla.....	42
4.2.5.2 Efectos de falla.....	43
4.2.6 Consecuencias de la falla.....	45
4.2.6.1 Función evidente.....	45
4.2.6.2 Función oculta.....	45
4.2.7 Técnicas de manejo de fallas.....	45
4.2.7.1 Tareas proactivas.....	45

4.2.7.2 Tareas a condición.....	46
4.2.7.3 Acciones “a falta de”	46
4.2.7.4 Proceso de selección de tareas.....	47
4.2.8 Diagrama de decisión del RCM.	48
4.2.9 Hoja de decisión RCM.	49
4.2.10 Implementación del RCM.....	50
4.3 REFERENCIA NORMATIVA PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO	50
4.3.1 Norma ISO 14224:2006	50
4.3.2 Norma SAE JA1011:1999.....	53
5. DIAGNÓSTICO DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO.....	55
5.1 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO.....	55
5.2 AUDITORIA DE MANTENIMIENTO A LA EMPRESA HYDROSTATIC TESTING S.A.S	56
5.2.1 Organización general.....	57
5.2.2 Métodos y los sistemas de trabajo.....	58
5.2.3 Control técnico de instalaciones y equipos.....	58
5.2.4 Gestión de la carga de trabajo.....	59
5.2.5 Compra y logística de repuestos y equipos.....	59
5.2.6 Sistemas informáticos.....	59
5.2.7 Organización del taller de mantenimiento.....	60
5.2.8 Herramientas y medios de prueba.....	60
5.2.9 Documentación técnica.....	60
5.2.10 Personal y formación.....	60
5.2.11 Contratación externa.....	61
5.2.12 Planificación y control de la actividad.....	61
5.3 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA AUDITORIA.....	62
5.4 ANÁLISIS D.O.F.A.....	64
5.4.1 Debilidades (Factor Interno).....	64

5.4.2 Fortalezas (Factor Interno).....	64
5.4.3 Matriz D.O.F.A	65
5.5 DIAGNOSTICO DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE HYDRATICA .	65
5.5.1 Estructura de la gestión del mantenimiento.	66
5.5.1.1 Área administrativa.	66
5.5.1.2 Área Operativa.....	66
5.5.2 Mantenimiento realizado en la empresa.	66
5.5.2.1 Actividades correctivas	67
5.5.2.2 Actividades pre-operacionales.	67
5.5.3 Documentación existente de la gestión del mantenimiento.	67
5.5.3.1 Fichas técnicas.	68
5.5.3.2 Hojas de vida.	68
5.5.3.3 Ordenes de trabajo.	69
6. CODIFICACIÓN DE EQUIPOS.....	70
6.1 CARACTERIZACIÓN DE EQUIPOS DE HYDRATICA.....	70
6.1.1 Equipos de inyección de energía hidráulica.....	70
6.1.2 Equipos de adquisición, registro y muestra de datos en tiempo real (Data Logger)	71
6.1.3 Mangueras y accesorios	71
6.1.4 Equipos auxiliares.....	71
6.2 MÉTODO DE CODIFICACIÓN	72
6.3 EQUIPOS CODIFICADOS.....	74
7. ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS	76
7.1 MATRIZ DE CRITICIDAD POR RIESGO.....	77
7.2 CRITICIDAD DE LOS ACTIVOS DE HYDRATICA	80
7.3 CONCLUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD	81

7.4 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS DENTRO DE SU CONTEXTO OPERACIONAL.....	82
7.4.1 Bomba hidráulica de desplazamiento positivo con accionamiento neumático.	83
7.4.1.1 Bomba hidroneumática de baja presión y alto caudal.....	85
7.4.1.2 Bomba hidroneumática de Alta presión y bajo caudal.	85
7.4.1.3 Unidad de mantenimiento FRL (Filtro Regulador Lubricador).....	87
7.4.1.4 Tanque hidráulico.	87
7.4.1.5 Panel de mando.....	88
7.4.1.6 Manómetro línea neumática.....	89
7.4.1.7 Manómetro línea hidráulica de alta presión.	89
7.4.2 Sensor de temperatura.	90
7.4.3 Equipo de adquisición y registro de datos HT.....	91
7.4.4 Bomba centrífuga radial accionada por motor de combustión interna diésel.	92
7.4.5 Bomba de desplazamiento positivo diésel.	93
7.4.6 Transmisor de presión.	95
8. MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM II) APLICADO A LOS ACTIVOS CRÍTICOS DE HYDRATICA.....	96
8.1 ANÁLISIS DE LOS MODOS YG EFECTOS DE FALLA.....	96
8.1.1 Sistemas y subsistemas.....	96
8.1.1.1 Sistema de llenado.	96
8.1.1.2 Sistema de presurización.....	97
8.1.1.3 Sistema de adquisición y registro de datos.....	98
8.1.2 Elaboración de la hoja de información del RCM II para equipos críticos.	98
8.2 HOJA DE DECISIÓN DEL RCM.....	101
9. PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE HYDRATICA.....	104

9.1	FORMATOS PREOPERACIONALES COMO LISTAS DE CHEQUEO	104
9.2	FORMATO PLAN DE MANTENIMIENTO EQUIPOS CRÍTICOS	106
9.3	SISTEMA DE INFORMACIÓN DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO....	108
9.3.1	Ventajas que proporciona un software de mantenimiento.	108
9.3.2	Software computacional para administrar y controlar las actividades de mantenimiento en Hydratica.	109
9.4	INDICADORES DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO.....	112
9.4.1	Costo de mantenimiento anual del activo versus Costo de reposición vigente anual del activo.	112
9.4.2	Actividades programas de mantenimiento versus actividades ejecutadas de mantenimiento.	113
10.	CONCLUSIONES	115
	BIBLIOGRAFÍA.....	117
	ANEXOS.....	119

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Logotipo de la empresa	25
Figura 2. Organigrama Hydratica.....	27
Figura 3. Fachada instalaciones Hydrostatic Testing S.A.S	30
Figura 4. Bodega almacenamiento de equipos Cartagena.	30
Figura 5. Capacidad inicial vs funcionamiento deseado	39
Figura 6. Falla funcional en la hoja de información RCM.....	41
Figura 7. Tiempo de parada de máquina vs tiempo de reparación	44
Figura 8. Diagrama de decisión RCM.....	48
Figura 9. Hoja de decisión RCM II, diligenciada	50
Figura 10. Pirámide clasificación taxonómica Norma ISO 14224:2006	52
Figura 11. Ejemplo de diagrama límite para bombas.....	53
Figura 12. Bloque de preguntas B. Métodos y sistemas de trabajo	62
Figura 13. Representación gráfica tela de araña de los resultados obtenidos en la auditoría a la empresa Hydrostatic Testing S.A.S.....	63
Figura 14. Estructura de la gestión del mantenimiento de HYDRATICA	66
Figura 15. Formato de placas de identificación de equipos	75
Figura 16. Placa de identificación con registro de datos de una bomba centrífuga diésel	75
Figura 17. Ejemplo de matriz de criticidad	79
Figura 18. Matriz de criticidad Frecuencia vs Consecuencia	81
Figura 19. Bomba hidráulica de desplazamiento positivo con accionamiento neumático	84
Figura 20. Bomba hidroneumática baja presión.....	85
Figura 21. Bomba hidroneumática alta presión bajo.....	86
Figura 22. Vista sección transversal del cuerpo de la bomba.....	86
Figura 23. Unidad de mantenimiento FRL	87

Figura 24. Tanque de almacenamiento de fluidos para alimentación y despresurización del sistema.....	88
Figura 25. Panel de mando de la bomba	89
Figura 26. Manómetro línea de entrada de aire comprimido	89
Figura 27. Manómetro de línea salida bomba alta presión	90
Figura 28. Sensor de temperatura PT100.....	91
Figura 29. Equipo HT data logger	91
Figura 30. Bomba centrífuga diésel	93
Figura 31. Bomba de desplazamiento positivo diésel	94
Figura 32. Trasmisor de presión	95
Figura 33. Registro de equipo bomba de desplazamiento positivo diésel en la base de datos del software.....	110
Figura 34. Registro de imagen de equipo bomba centrífuga diésel.....	111
Figura 35. Plan de mantenimiento estándar de bomba centrífuga diésel.	111

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Resultados de la auditoría	63
Tabla 2. Matriz D.O.F.A.	65
Tabla 3. Codificación activos Hydratica	74
Tabla 4. Tabla de los factores ponderados	78
Tabla 5. Resultado análisis criticidad total por riesgo activos físicos Hydratica	80
Tabla 6. Hoja de información RCM II de una bomba centrífuga diésel	99
Tabla 7. Hoja de información subconjunto motor diésel	100
Tabla 8. Hoja de decisión RDM II de bomba centrífuga diésel	102
Tabla 9. Formato preoperacional bomba de centrífuga diésel.	105
Tabla 10. Formato de mantenimiento estándar para una bomba centrífuga diésel	107

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Ficha Técnica de Equipos Críticos	119
Anexo B. Hoja de Vida Equipos Críticos	125
Anexo C. Formato Orden de Trabajo	130
Anexo D. Auditoría del Mantenimiento.....	131
Anexo E. Codificación Activos de Hydratica	140
Anexo F. Hoja de Información de Equipos Críticos.....	141
Anexo G. Hoja de Decisión de Equipos Críticos	143
Anexo H. Plan de Mantenimiento Estándar para Equipos Críticos	145
Anexo I. Hoja de Vida Indicador de Gestión del Mantenimiento Costo de Mantenimiento Anual Versus Costo de Reposición Anual	149
Anexo J. Hoja de Vida Indicador de Gestión del Mantenimiento Actividades Programadas Versus Actividades Ejecutadas.	150

RESUMEN

TÍTULO: OPTIMIZACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO DE LA EMPRESA HYDROSTATIC TESTING S.A.S A TRAVÉS DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM II).*

AUTOR: EDGAR ANDRÉS ARIZA BARBOSA**

PALABRAS CLAVE: MANTENIMIENTO, CRITICIDAD, FALLAS, CONFIABILIDAD.

DESCRIPCIÓN:

Este proyecto de grado tiene como fin realizar la optimización de la estrategia de mantenimiento en la empresa Hydrostatic Testing S.A.S por medio de los fundamentos teóricos del mantenimiento centrado en la confiabilidad conocido por sus siglas en inglés como RCM, todo ello con el objetivo de maximizar la utilidad de los recursos y aumentar la vida útil de los activos empleados para el desarrollo de las actividades de la empresa.

El proceso de optimización de la estrategia del mantenimiento de la empresa tuvo como fase inicial el reconocimiento y diagnóstico del estado encontrado de la gestión del mantenimiento en la empresa. Posterior a ello se realizó una auditoría de la gestión del mantenimiento que permitió visualizar una situación general de toda la estructura, los grupos involucrados y los recursos destinados para el mantenimiento. Una vez emitido el diagnóstico se realizó un proceso de codificación de activos que permitió identificar fácilmente todos los equipos involucrados en el desarrollo de los servicios de la empresa. Seguido de esto se hizo un análisis de criticidad que estableció cuáles son los activos de alta criticidad dentro del contexto operacional de la empresa. A estos activos se les aplicó la metodología RCM que incluye un análisis de modos y efectos de falla (AMFE), elaboración de hoja de información y decisión del RCM y elaboración de planes de mantenimiento estándar y listas de chequeo para cada equipo crítico.

Finalmente, para dar por culminado el proceso de optimización, se implementó un software de mantenimiento como base de datos de la gestión y se plantearon los indicadores de la gestión del mantenimiento que tienen como fin evaluar el nivel de aplicación de la nueva estrategia y a través de ello tener un control del recurso económico destinado al mantenimiento de los activos.

* Trabajo de grado.

** Facultad de Ingeniería Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Pedro José Díaz Guerrero, Ingeniero Mecánico; M.Sc.

ABSTRACT

TITLE: OPTIMIZATION OF THE MAINTENANCE STRATEGY OF THE COMPANY HYDROSTATIC TESTING S.A.S THROUGH RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE PLAN (RCM II).*

AUTHOR: EDGAR ANDRÉS ARIZA BARBOSA**

KEY WORDS: MAINTENANCE, CRITICALITY, FAILURES, RELIABILITY.

DESCRIPTION:

The purpose of this degree project is to optimize the maintenance strategy in the company Hydrostatic Testing SAS through the theoretical foundations of maintenance focused on the reliability known by its acronym in English as RCM, all with the aim of maximizing the utility of the resources and increase the useful life of the assets used for the development of the activities of the company.

The process of optimization of the strategy of the maintenance of the company had as an initial phase the recognition and diagnosis of the found state of the maintenance management in the company. After that, an audit of maintenance management was carried out, which allowed to visualize a general situation of the whole structure, the groups involved and the resources allocated for maintenance. Once the diagnosis was issued, an asset coding process was carried out that made it possible to easily identify all the teams involved in the development of the company's services. Following this, a criticality analysis was carried out that established which are highly critical assets within the operational context of the company. The RCM methodology was applied to these assets, which includes an analysis of modes and effects of failure (FMEA), preparation of the information sheet and decision of the RCM and development of standard maintenance plans and checklists for each critical equipment.

Finally, in order to complete the optimization process, a maintenance software was implemented as a management database and the maintenance management indicators were designed to evaluate the level of application of the new strategy and through This means having control of the economic resource used to maintain the assets.

* Degree Work

** Faculty of Mechanical Physical Engineering. School of Mechanical Engineering. Director: Pedro José Diaz Guerrero, Mechanical Engineer; M.Sc.

INTRODUCCIÓN

El transporte y el almacenamiento de fluidos a alta presión son dos procesos que se llevan a cabo en una gran cantidad de sectores industriales. Los fluidos pueden ser usados dentro de un proceso como medio de energía hidráulica para llevar a cabo una tarea específica que puede ser el accionamiento de algún componente de un sistema; también en muchos de los procesos industriales el fluido es un subproducto que al ser transportado se mezcla con otro y generan el producto final, o simplemente el fluido se constituye como el producto final de un proceso industrial el cual debe ser transportado y almacenado.

Debido a la gran importancia que tienen los fluidos dentro de los procesos industriales en los que son participes, los equipos que se encargan de su transporte y almacenamiento tienen una gran relevancia operativa dentro del desarrollo del proceso. Por ello su confiabilidad operativa debe maximizarse, ya que si se presenta una falla funcional en estos representará, por lo general, pérdidas importantes de producción que conlleva posteriormente a una gran pérdida de dinero, además que en algunos casos estas fallas pueden representar, daño ambiental o a la seguridad de las personas que los operan. Por ello garantizar la confiabilidad operativa de estos equipos se ha convertido en un objetivo primario y hasta en una obligación para las industrias.

La confiabilidad de estos equipos se puede maximizar garantizando que el material del que es conformado soporte los esfuerzos mecánicos a los que va estar sometido durante su periodo operativo. Si esto se garantiza, se reduce en un gran número la probabilidad de una ocurrencia de falla en un proceso de transporte o almacenamiento de fluidos que sea causado por falla en tubería o tanque. La prueba hidrostática se encarga de verificar la idoneidad del material de los equipos vinculados al transporte y almacenamiento de fluido sometiénolo a prueba de

resistencia a esfuerzos estáticos, lo cual se logra presurizando a través de inyección de fluido a alta presión el recipiente o tubería durante un intervalo de tiempo en donde se observa que el comportamiento operativo sea el adecuado.

En Colombia se encuentran diversos procesos industriales que incluyen en su desarrollo el transporte y la contención de fluidos, especialmente encontramos las plantas petroleras y sus sistemas de transporte y almacenamiento de hidrocarburos. Estas empresas del sector Oil & Gas son las encargadas de transportar a través de poliductos el crudo y sus derivados a puntos estratégicos ubicados en diferentes partes del país. Por ello estas empresas tiene la responsabilidad de que el transporte se haga de forma rápida y segura y que en este no se presente fallas que impliquen grandes pérdidas de dinero y grandes daños ambientales. Debido a esto las empresas realizan a estos activos pruebas hidrostáticas con cierta frecuencia en el año, para garantizar que el fluido sea transportado de forma segura.

La empresa Hydrostatic Testing S.A.S realiza pruebas hidrostáticas con estándares de calidad, a todo tipo de recipientes a presión y se especializa en el sector Oil & Gas. A través de los años en que ha desarrollado el servicio de prueba hidrostática no se ha presentado ningún daño a la integridad del activo sometido a prueba. Esto lo ha llevado a ser la empresa líder en el diseño y ejecución de pruebas hidrostáticas aplicando tecnología de punta que asegura el correcto desarrollo del servicio y permite el control de la presión de forma segura. Para llevar a cabo estos servicios la empresa cuenta con un árbol de equipos que deben ser mantenidos de forma estratégica para responder al incremento de la demanda de los servicios de forma eficiente. Por esto en la empresa fue necesario realizar un optimización de la estrategia del mantenimiento que jerarquizara los activos con base a su importancia dentro del contexto operacional y que realizar un análisis de modos y efectos de falla de los equipos de mayor importancia para a través de una lista de actividades de mantenimiento preventivo programadas se maximizar su confiabilidad y disponibilidad para operar en función del desarrollo de una prueba hidrostática.

1. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La empresa HYDROSTATIC TESTING S.A.S tiene ubicada su sede principal en la ciudad de Bogotá. Su modelo de negocio es la prestación de servicios, en ellos se ejecutan pruebas hidrostáticas y ensayos no destructivos a diferentes tipos de dispositivos que están involucrados en el transporte y almacenamiento de fluidos con el objetivo de maximizarla confiabilidad y disponibilidad de estos. Debido al modelo de negocio de la empresa, la carga de trabajo de sus activos físicos está sujeta a la demanda que exista sobre sus servicios, la cual es variable año tras año, no obstante, la demanda de los servicios que ofrece la empresa ha venido aumentando a medida que en la industria se ha posicionado su marca, suceso que ha generado un crecimiento estructural en todos los niveles jerárquicos de la empresa.

La estrategia de mantenimiento ejecutada actualmente en Hydratica* no tiene una estructura definida, no tienen establecidos el personal que lo conforma ni las actividades que cada persona debe ejecutar, además de ello no tiene una base de datos que permita guardar toda la información que deriva del mantenimiento realizado a los activos. Está estructurada en gran medida sobre el mantenimiento correctivo, el cual es desarrollado reparando o reemplazando el equipo o pieza una vez se produce su falla, además de ello, se realizan actividades pre-operacionales (antes de cada prueba) las cuales se ejecutan realizando actividades de inspección visual al equipo y después de ello accionándolo y tienen como fin evaluar y si es el caso corregir el comportamiento operativo de los equipos que van a ser usados en la ejecución de un servicio, estas actividades pre-operacionales son referenciadas como mantenimiento preventivo.

* Nombre comercial de la empresa Hydrostatic Testing S.A.S

La estrategia de mantenimiento encontrada ha sido útil y rentable en los primeros años de funcionamiento de la empresa, debido a que la demanda de sus servicios era baja y el número de activos que poseía era pequeño, por ello implementar un plan de mantenimiento preventivo o predictivo era innecesario; sin embargo, actualmente, con el aumento en la demanda de los servicios y el crecimiento estructural de la empresa, se han presentado un sinnúmero de contratiempos al momento de ejecutar un servicio, los cuales han generado un bajo desempeño operativo de los activos físicos involucrados en la ejecución de estos y esto ha tenido como consecuencias sobrecostos de inventario, Incremento en el tiempo de ejecución de prueba y pérdida de confianza del cliente hacia la empresa.

De acuerdo con lo anterior la empresa requiere una optimización y re estructuración de su estrategia de mantenimiento bajo los fundamentos teóricos del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), que identifique los activos críticos en el desarrollo operativo de los servicios, maximice la confiabilidad operativa y permita establecer los modos y efectos de falla de ellos para reducir los tiempos de parada en servicio.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La empresa HYDROSTATIC TESTING S.A.S requiere una optimización en su estrategia de mantenimiento, que permita direccionar la gestión actual, hacia la obtención de la mayor disponibilidad y confiabilidad posible de sus activos en el momento que se requieran, esto para asegurar el correcto desarrollo del servicio y satisfacer la necesidad de sus clientes con eficiencia y calidad. Hydrostatic Testing S.A.S ofrece a sus clientes los siguientes servicios:

- Diseño y ejecución de pruebas hidrostáticas y neumáticas a tuberías, mangueras On-Shore y Off-Shore de transporte de hidrocarburos, tanques y todo tipo de recipientes a presión.

- Mantenimiento y calibración de válvulas de seguridad, alivio térmico y válvulas de control.
- Mantenimiento y reparación de válvulas de proceso.

En la ejecución de ellos se emplean nuevas tecnologías que permiten la adquisición de datos en tiempo real por medio de una interfaz que muestra gráficamente el cambio de las variables analizadas, siendo un diferenciador entre las empresas que ofrecen este mismo tipo de servicios en la industria en general.

Los servicios son ejecutados en campo, lo que implica la exposición de los activos a condiciones ambientales, topográficas y de higiene extremas donde no se permite el fallo del activo ya que corregirlo implica retraso en la ejecución de la prueba y por consiguiente retrasos en los procesos de la empresa a la que se presta el servicio, lo que finalmente se traduce en grandes pérdidas de dinero debido al lucro cesante que representa para estas empresas tener un activo fuera de funcionamiento; por otra parte las operaciones realizadas en costa o en ambientes donde hay presencia de sales y/o sedimentación de partículas son causales de otro tipo de averías en los equipos; considerar todos estos aspectos jugará un papel fundamental al momento de optimizar la estrategia actual de mantenimiento.

Hydratica tiene una lista de activos que son susceptibles al mantenimiento; optimizar y desarrollar una estrategia de mantenimiento centrada en confiabilidad que estudie y analice las posibles causas y modos de falla y la frecuencia con que se producen en los activos operados en servicio y con ello desarrollar un plan de actividades que al ejecutarlas maximice la disponibilidad del activo y su confiabilidad operativa al momento de ejecutarlo, será pilar fundamental para lograr la continuidad operativa de los procesos que está desarrolla y con ello el crecimiento de su marca.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Contribuir con el cumplimiento de la misión institucional de la universidad a través de la formulación y el desarrollo de estrategias que ayuden a resolver los problemas que se presentan a diario en la industria colombiana, en este caso realizando la optimización de la estrategia actual de mantenimiento de la empresa HYDROSTATIC TESTING S.A.S, a través de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM II), que permita maximizar la utilización del recurso propio, aumentar la vida útil de los activos y proponer la mejor opción técnico-económica para garantizar la disponibilidad de los activos en los servicios que presta la compañía.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un diagnóstico del estado actual de la gestión de mantenimiento y levantamiento de información de la estructura administrativa y grupos interés involucrados en la función mantenimiento.
- Realizar un análisis de criticidad por medio del método factores ponderados, a los equipos usados en servicio, que permita identificar los activos críticos, medianamente críticos y no críticos de la compañía.
- Realizar un estudio del impacto operacional que produce el fallo de los activos críticos sobre el servicio que presta la compañía, por medio del método de análisis AMEF (análisis de los modos y efectos de falla).
- Implementar la optimización de la estrategia de mantenimiento, estructurada sobre las bases técnicas del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM II), que permita maximizar la disponibilidad y la confiabilidad del activo crítico en servicio.

3. MARCO REFERENCIAL

3.1 HYDROSTATIC TESTING S.A.S

Figura 1. Logotipo de la empresa



Fuente: Hydrostatic Testing S.A.S

Es una empresa dedicada al suministro de servicios especializados en gestión de activos involucrados en circuitos hidráulicos, neumáticos y oleo neumáticos. Se encuentra ubicada en la ciudad de Bogotá, sin embargo, desarrolla y ejecuta sus servicios en diversos lugares del territorio Colombiano. De modo general los servicios que oferta la empresa a sus clientes se basan en la ejecución de pruebas hidrostáticas y ensayos no destructivos a tuberías, tanques recipientes a presión en general y partes de los circuitos anteriormente nombrados como válvulas de seguridad y válvulas de proceso. Para el desarrollo de estos, la empresa cuenta con nuevas tecnologías que le permiten controlar y adquirir datos de las variables de interés en tiempo real, siendo esto una ventaja competitiva frente a las demás empresas que ofrecen los mismos servicios en la industria.

La empresa creada en el año 2014 surgió a través de una necesidad observada en la industria, la cual era aumentar la confiabilidad de los resultados obtenidos en las

pruebas hidrostáticas y por sobre todo asegurar la integridad de los activos involucrados en ellas y de las personas participes en su ejecución, ya que para la época, se produjo una falla en la ejecución de una prueba hidrostática con consecuencias catastróficas para uno de los operarios involucrados en esta. Todo ello motivó a los fundadores de HYDRATICA a crear un dispositivo electrónico que permite la adquisición de datos en tiempo real y su representación gráfica a través de un software computacional, lo cual entre otras cosas, hace posible que haya una distancia apropiada entre el ejecutor y los sistemas presurizados, maximizando la seguridad del personal involucrado en prueba; y aumentando la confiabilidad de los datos obtenidos al permitir la verificación de los resultados a través de una base de datos (gráficos y numéricos) que muestran el comportamiento de las variables analizadas durante el periodo de prueba.

Todo lo anterior mencionado, sumado a los excelentes resultados obtenidos en la práctica y la satisfacción mostrada por parte de los clientes con el desarrollo de los servicios de HYDRATICA, han posicionado a la empresa como líder en el desarrollo de pruebas hidrostáticas y ensayos no destructivos a recipientes a presión en el sector OIL & GAS e industria en general en Colombia.

3.2 MISIÓN

HYDRATICA suministra a sus clientes servicio de diseño y ejecución de pruebas hidrostáticas mediante la aplicación de nuevas tecnologías de adquisición de datos en tiempo real suministrando al cliente un resultado 100% confiable, que le permite tener trazabilidad sobre los resultados y entrega inmediata de la información de la prueba, acompañado de ensayos no destructivos que permite asegurar la integridad de las tuberías y recipientes a presión de nuestros clientes, aportando la experiencia en diagnóstico e innovación que le permitan a nuestros clientes aumentar la disponibilidad y confiabilidad de sistemas de transporte Oil & Gas y de cualquier industria que utilice recipientes a presión.

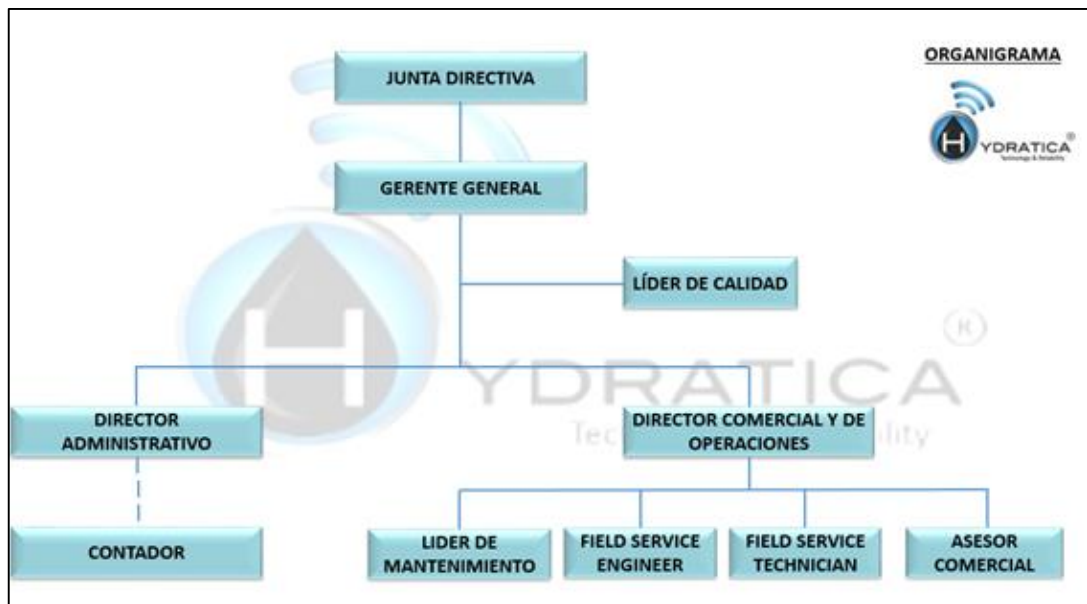
3.3 VISIÓN

HYDRATICA será al finalizar el año 2018 reconocida como la primera empresa a nivel nacional en pruebas hidrostáticas pionera en implementación de tecnología en el sector Oil & Gas e industria en Colombia, como resultado de la innovación en la aplicación de pruebas hidrostáticas y a la implementación de nuevas tecnologías en ensayos no destructivos, dando soluciones en gestión de activos para sistemas de transporte de hidrocarburos y recipientes a presión de cualquier fluido.

Para el año 2020 HYDRATICA será una de las primeras empresas Colombianas más importante en suministro de servicios especializados en gestión de activos y tendrá presencia en México, Ecuador y Perú.

3.4 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DE LA EMPRESA:

Figura 2. Organigrama Hydratica



Fuente: Hydrostatic Testing S.A.S

3.5 SERVICIOS QUE OFRECE LA EMPRESA

La empresa ha desarrollado a lo largo de su existencia más de 3000 servicios, la gran mayoría en el sector Oil & Gas, en los cuales no se ha registrado ningún tipo de accidente o daño a equipos o personas. Adicionalmente la empresa cuenta actualmente con certificación vigente de las normas International Organization for Standardization (ISO) *ISO9001:2015*, *ISO14001:2015* y Occupational Health and Safety Assessment Series (OSHAS) *OSHAS18001:2007* en los siguiente servicios.

3.5.1 Diseño y ejecución de pruebas hidrostáticas. Es la competencia central y distintiva de la empresa. Abarca más del 80% de los servicios solicitados y ejecutados por la empresa anualmente. Las pruebas hidrostáticas se desarrollan con el fin de verificar la resistencia a esfuerzo mecánico del material que compone el equipo, su metodología de desarrollo consta de un proceso de llenado del equipo, proceso de presurización y finalmente proceso de despresurización. Previo al desarrollo de la prueba se hace un diseño de esta en donde se establece principalmente el valor de presión de prueba al que se presurizará el equipo, también se define el tiempo de sostenibilidad de presión de prueba, el cual varía según las características técnicas del equipo (dimensiones, material) y el proceso de presurización y despresurización, que por lo general se realiza en 4 rampas del 25% de la magnitud de presión de prueba en intervalos de 10 minutos. Todos estos valores se establecen de acuerdo a los lineamientos de la normatividad American Petroleum Institute (API) y American Society Mechanical Engineering (ASME). Después de realizada la prueba hidrostática se entrega un informe que contiene el análisis, diagnóstico y conclusiones del procedimiento realizado.

Las pruebas hidrostáticas se realizan en distintos tipos de activos físico dentro de los que se destacan, líneas de tubería de transporte de hidrocarburos o derivados de este, tubería flexible transporte de hidrocarburos o derivados de este, tanques

hidráulicos, neumáticos e hidroneumáticos y en general a toda clase de recipientes a presión.

3.5.2 Mantenimiento y calibración de válvulas de seguridad y alivio térmico.

Como su nombre lo indica este es un servicio que se especifica en mantener y calibrar válvulas de seguridad y alivio. Debido a la importancia de estas válvulas en los sistemas hidráulicos presurizados, es de gran importancia que su condición operativa sea la adecuada. Por ello el mantenimiento que se les realiza se enfoca en verificar el estado de las superficies que hacen sello, partes internas como el vástago, el resorte de ajuste, el tornillo de apriete, entre otros. Cuando el sello de la válvula es metal-metal y las superficies están en mal estado se realiza un mecanizado para mejorar la condición de estas. Si el sello es blando y la condición superficial del material blando no es la adecuada este se reemplaza por un nuevo. Después del proceso de mantenimiento se realiza la calibración de la válvula. Este se hace variando el apriete del tornillo de ajuste que comprime el resorte. El nivel de apriete del tornillo se ajusta hasta que la válvula alivie a la presión establecida, que generalmente es 1.1 veces la presión de operación del sistema.

3.5.3 Mantenimiento y reparación de válvulas de proceso.

Este servicio se enfoca en verificar la condición de hermeticidad de válvulas de compuerta, válvulas de bola cuando están en posición cerrada y válvulas antirretorno cuando hay un contraflujo o retorno de flujo. También se verifica la hermeticidad de las uniones del cuerpo de la válvula ya sean uniones bridadas o roscadas. La hermeticidad del mecanismo de cierre en su posición cerrada se verifica presurizando las válvulas al nivel de la presión de operación que experimentan en su contexto operacional. Si el sello entre el mecanismo de cierre y la superficie que hace contacto con este no muestra una buena condición, las superficies metálicas se mecaniza corrigiendo anomalías en esta y los sellos blandos se cambian si es necesario.

3.6 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Las instalaciones de Hydratica se encuentran ubicadas en la dirección calle 144 N°47-21 barrio Prado Pinzón, Bogotá, Colombia. La empresa cuenta además con una bodega de almacenamiento de equipos en la ciudad de Cartagena, la cual fue adquirida para disminuir el tiempo de traslado de los equipos desde Bogotá hasta los diversos puntos de ejecución de servicio en la zona costa norte de Colombia, todo esto como respuesta al aumento en la demanda de ejecución de servicios en esta zona del país. La bodega de almacenamiento de equipos se encuentra en la dirección calle 70 N°10-21 Cartagena, Colombia.

Figura 3. Fachada instalaciones Hydrostatic Testing S.A.S



Figura 4. Bodega almacenamiento de equipos Cartagena.



Fuente: Hydrostatic Testing S.A.S

4. MARCO TEÓRICO

4.1 TEORÍA DEL MANTENIMIENTO

La práctica del mantenimiento aplicada en la industria en general está enfocada en generar un plan de actividades que al ser desarrolladas permitan a un activo cualquiera cumplir dentro de un sistema alguna función requerida por su operador bajo unos parámetros y dentro de un contexto de funcionamiento.

La necesidad de disminuir los tiempos de reparación de los activos y con ello maximizar su disponibilidad aumenta cada vez más en las empresas. La gestión del mantenimiento ha tomado un papel de gran relevancia en las organizaciones y su misión está enfocada en elevar la disponibilidad de un activo al menor costo posible. Por ello en esta gestión se ven involucradas disímiles áreas, como el área administrativa, el área operativa, y el área de mantenimiento, entre otras, de una compañía, lo cual, a la postre genera una cohesión de ideas que ajustara más las actividades establecidas de mantenimiento al contexto operativo de los activos.

La norma ISO 14224:2006 Collection and Exchange of Reliability and Maintenance Data for Equipment define el mantenimiento como “la combinación de todas las acciones técnicas y administrativas, incluyendo acciones de supervisión, destinadas a conservar un activo o restaurarlo a un estado en el que pueda realizar lo requerido” (p.5).

Según Francisco Rey Sacristán en el libro manual de mantenimiento integral en la empresa, el mantenimiento industrial se define como “la designación de las técnicas que aseguran la correcta utilización de edificios e instalaciones y el continuo funcionamiento de la maquinaria productiva” (p.27).

La teoría del mantenimiento está conformada por una gran variedad de procesos, metodologías y términos técnicos entre otros. Todo ello hace posible que para cada contexto operacional que presenta una empresa, haya una metodología de mantenimiento que se adapte a este y que al ser aplicada consiga los objetivos propuestos por la alta gerencia. A continuación se realiza una breve explicación de los términos y las metodologías que conforman a grandes rasgos la teoría del mantenimiento.

4.1.1 Activos. Bienes, derechos y otros recursos controlados económicamente por la empresa, resultantes de sucesos pasados de los que se espera obtener beneficios o rendimientos económicos en el futuro.

4.1.2 Disponibilidad. Es la aptitud de un bien para cumplir una función requerida en el momento que se le solicite. Su método de evaluación viene dado por la disponibilidad de un objeto para funcionar a la más alta calidad cuando sea necesario su uso.

4.1.3 Mantenibilidad. Es una característica de diseño que se expresa como “La aptitud para que un bien pueda ser mantenido o puesto en condiciones de cumplir sus funciones en un periodo de tiempo dado cuando el mantenimiento es efectuado de acuerdo con los procedimientos y recursos preestablecidos”.

4.1.4 Confiabilidad. Aptitud de un bien para cumplir una función requerida en unas condiciones dadas durante un tiempo dado. Su método de evaluación viene dado por la no presencia de falla en un componente, estructura o Sistema, dentro de un periodo de tiempo estipulado por el fabricante o por el ingeniero de mantenimiento de la empresa.

4.1.5 Confiabilidad operacional. Desarrollo de una serie de procesos de mejora continua, que incorporan en forma sistémica y sistemática, avanzadas herramientas

de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías de mantenimiento, para optimizar la planeación, ejecución y control de la producción industrial.

4.1.6 Plan de Mantenimiento. Es un documento que contiene el conjunto de tareas de mantenimiento programado que debemos realizar en una planta para asegurar los niveles de disponibilidad que se hayan establecido. Es un documento vivo, pues sufre de continuas modificaciones, fruto del análisis de las incidencias que se van produciendo en la planta y del análisis de los diversos indicadores de gestión¹.

4.1.7 Tipos de mantenimiento. El desarrollo tecnológico ha logrado sistematizar procesos y servicios lo cual deriva en una mayor eficiencia y calidad del producto final. Para lograr esto ha sido necesario implementar, al desarrollo de procesos y servicios existentes en la industria en general, equipos con diseños complejos que integran diversos sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos que les permiten ejecutar distintas funciones con gran exactitud. Todo ello ha hecho que la estrategia aplicada para desarrollar la gestión del mantenimiento y el mantenimiento en sí requiera de un estudio más riguroso y profundo, que encuentre el tipo y las técnicas de mantenimiento precisas y efectivas para maximizar la disponibilidad y confiabilidad de estos activos al momento de operar. La teoría del mantenimiento contiene diversos tipos y técnicas aplicables que se adaptan al contexto operacional de diferentes empresa, las cuales permiten crear estrategias capaces de satisfacer los requerimientos y necesidades que se presentan.

4.1.7.1 Mantenimiento correctivo. También conocido como reactivo, es aquél mantenimiento que se aplica cuando se produce algún error en el sistema o activo, ya sea porque algo se averió o rompió. Cuando se realizan estos mantenimientos, el proceso productivo o la operatividad del equipo se detienen completamente, disminuyendo la cantidad de horas productivas. Estos mantenimientos no se aplican

¹ GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y gestión integral del mantenimiento. Madrid. Ediciones Díaz Santos. 2003., p.37.

si no hay algo que detenga el equipo. Es impredecible en cuanto a gastos y tiempo de reparación.

4.1.7.2 Mantenimiento preventivo. También conocido como planificado, este mantenimiento se realiza previo a que ocurra algún tipo de falla en el sistema o equipo realizando revisiones e intervenciones periódicas, como puede ser cambiar algún componente de la maquina por desgaste, entre otros. Como se hace de forma planificada, se aprovechan las horas ociosas para llevarlo a cabo ya que la máquina va a estar detenida. Este mantenimiento sí es predecible con respecto a los costos que implicará ejecutarlo así como también el tiempo que demandará aplicarlo.

4.1.7.3 Mantenimiento predictivo. Mantenimiento basado en la predicción de una condición futura de un ítem valorado o calculado desde una serie definida de datos históricos y parámetros operacionales futuros conocidos.²

Para que este tipo de mantenimiento pueda desarrollarse se recurre a sustentos tecnológicos que permitan establecer las condiciones del equipo, como termografía, ultrasonido, verificación de eficiencia, vibración entre otros. Gracias a este tipo de mantenimiento se disminuyen las pausas que generan en la producción los mantenimientos correctivos.

4.1.7.4 Mantenimiento basado en condición (CBM). Se basa en la monitorización del estado que presenta los elementos de la máquina para decidir el momento más adecuado para realizar las tareas de mantenimiento. Para ello debemos sacar la máxima cantidad de datos posibles sobre la máquina, para poder identificar los posibles fallos que generen incidentes o paradas no deseadas antes de que aparezca. Estos datos pueden ser control de temperatura, control de corrosión, estado de los aceites, supervisión de rendimiento.

² ISO 14224 Collection and Exchange of Reliability and Maintenance Data for Equipment. 2006. P.7.

- **Tareas a condición:** la tarea a condición consiste en chequear si hay fallas potenciales, para que se pueda actuar para prevenir la falla funcional o evitar las consecuencias de la falla funcional.

4.1.7.5 Mantenimiento productivo total (TPM). Filosofía creada en Japón, la cual se enfoca en la eliminación de pérdidas asociadas con paros de producción o costes en los procesos de producción industrial. Esta también busca contrarrestar la pérdida que se pueda llegar a tener en la calidad de un producto o equipo, permitiendo lograr un desempeño correcto de estos.

4.1.7.6 Mantenimiento proactivo. Este tipo de mantenimiento detecta o identifica las causas que originaron la falla en equipos o componentes para evitar incurrir a la misma falla otra vez y poder incrementar el tiempo medio entre fallas; para ello es necesaria la implicación del personal de mantenimiento. Por lo tanto será viable si existe detrás una organización adecuada de los recursos disponibles, una planificación de las tareas a realizar durante un periodo de tiempo, controlando exhaustivamente el funcionamiento de los equipos permitiendo acotar paradas.

El mantenimiento proactivo significa manejar los eventos antes de que ocurran, o al menos decidir cómo deberían ser manejados si llegaran a ocurrir. Para ello debemos saber por adelantado qué eventos pueden ocurrir. Los “eventos” en este contexto son los modos de falla. Entonces si deseamos aplicar un mantenimiento verdaderamente proactivo a cualquier activo físico, debemos tratar de identificar todos los modos de falla que pueden afectarlo³.

4.1.7.7 Mantenimiento cero horas. Es el conjunto de tareas cuyo objetivo es revisar los equipos a intervalos programados bien antes de que aparezca ningún fallo, bien cuando la fiabilidad del equipo ha disminuido apreciablemente, de manera que

³ MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II. Gran Bretaña. Editorial American Aladon LTDA, 2004.

resulta arriesgado hacer previsiones sobre su capacidad productiva. Dicha revisión consiste en dejar el equipo a cero horas de funcionamiento, es decir, como si el equipo fuera nuevo. En estas revisiones se sustituyen o se reparan todos los elementos sometidos a desgaste. Se pretende asegurar, con gran probabilidad, un tiempo de buen funcionamiento fijado de antemano⁴.

4.2 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM II)

Es una técnica más dentro de las posibles para poder elaborar un plan de mantenimiento, que presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas. Inicialmente desarrollada para el sector de aviación, donde los altos costes derivados de la sustitución sistemática de piezas amenazaba la rentabilidad de las compañías aéreas, fue trasladada posteriormente al campo industrial, después de comprobarse los excelentes resultados que había dado en el campo aeronáutico.⁵

El mantenimiento centrado en confiabilidad es un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional⁶.

Esta filosofía de mantenimiento estudia los sistemas que conforman un proceso de producción, transporte, servicio entre otros. Define las funciones que cumple cada componente del sistema y a partir de esto identifica todos los escenarios posibles que puedan impedir el cumplimiento de dichas funciones y con ellas establece los mecanismos que sean capaces de evitar o minimizar la ocurrencia de estos sucesos. Con ello esta técnica de mantenimiento consigue maximizar la confiabilidad de los activos al momento de operar.

⁴ GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y gestión integral del mantenimiento. Madrid. Ediciones Díaz Santos. 2003., p.18.

⁵ Ibid., p. 37.

⁶ MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II. Gran Bretaña. Editorial American Aladon LTDA, 2004.

Dentro del proceso de desarrollo y aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM II), es de gran importancia que el personal encargado de estructurar el plan conozca el contexto operativo de los activos, sus características de funcionamiento y los sistemas que los componen, solo de esta forma el resultado final del estudio dará los resultados esperados. Por lo anterior mencionado el mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM II) tiene una metodología de desarrollo muy detallada que va desde conocer el estado de la gestión de mantenimiento de la compañía a la cual se le va a realizar el estudio por medio de una auditoría y recopilar la información existente de los activos desde el momento de su adquisición, hasta la creación de un plan que establece procedimientos de mantenimiento a realizar con base en el estudio de modos y efectos de falla, consecuencias, estándares de funcionamiento de los activos, entre otros.

4.2.1 Las siete preguntas básicas⁷. El proceso de RCM formula siete preguntas acerca del activo o sistema que se intenta revisar:

1. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
2. ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
3. ¿Cuál es la causa de falla funcional?
4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
5. ¿En qué sentido es importante cada falla?
6. ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

4.2.2 Resultados de un análisis RCM⁸. Si es aplicado siguiendo los lineamientos sugeridos, un análisis RCM da tres resultados tangibles:

⁷ Ibid., p.7.

⁸ Ibid., p.18.

- Planes de mantenimiento a ser realizados por el departamento de mantenimiento.
- Procedimientos de operación revisados, para los operadores del activo.
- Una lista de cambios que deben hacerse al diseño del activo físico, o a la manera en que es operado.

4.2.3 Logros del RCM⁹. Los objetivos alcanzados una vez aplicado el plan de mantenimiento basado en el análisis RCM son los siguientes:

- Mayor seguridad e integridad ambiental.
- Mejor funcionamiento operacional (cantidad, calidad de producto y servicio al cliente).
- Mayor costo-eficacia del mantenimiento.
- Mayor vida útil de componentes costosos.
- Una base de datos global.
- Mayor motivación del personal.
- Mejor trabajo en equipo.

4.2.4 Funciones. Para definir los objetivos del mantenimiento según los requerimientos de los usuarios debemos obtener un claro entendimiento de las funciones de cada activo físico, que es determinar lo que el usuario del activo quiere que este haga. Además se deben establecer los parámetros de funcionamiento asociados al activo para asegurar que este sea capaz de realizar aquello que su usuario quiere que haga.

4.2.4.1 Funciones primarias. Resumen el porqué de la adquisición del activo, cubre temas como velocidad, producción, capacidad, calidad y servicio al cliente

⁹ *Ibíd.*, p.19.

4.2.4.2 Funciones secundarias. Describen que se espera que haga el activo además de su función primaria; cubre aspectos como áreas de seguridad, control, contención, confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia operacional, cumplimiento de regulaciones ambientales, apariencia del activo entre otras.

4.2.4.3 Estándares de funcionamiento¹⁰. El funcionamiento de un activo puede ser definido de las dos siguientes maneras:

- **Funcionamiento deseado.** Lo que el usuario quiere que haga, desempeño.
- **Capacidad propia.** Lo que el activo puede hacer. Capacidad nominal.

Si el funcionamiento deseado excede la capacidad inicial ningún tipo de mantenimiento puede hacer que el activo cumpla con esta función. Es decir dichos activos físicos no son mantenibles.

Figura 5. Capacidad inicial vs funcionamiento deseado



Fuente: Moubray, John. RCM II.

¹⁰ *Ibíd.*, p.23

4.2.4.4 Contexto operacional. Define las condiciones específicas en las que trabaja el activo, es decir, describe las particularidades externas (condiciones climáticas, tipos de terreno... etc.) y las internas o de trabajo (carga corrosiva, abrasiva, frágil, explosiva... etc.) en las que opera el activo. Es de gran importancia que el operador comprenda el contexto operacional del activo ya que este juega un papel definitivo a la hora de definir las funciones y por ende al desarrollar el programa de mantenimiento.

4.2.4.5 Fallas funcionales. Estas fallas ocurren cuando el activo no puede cumplir una función de acuerdo a un parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable.

Se debe identificar qué fallas pueden ocurrir antes de aplicar una combinación adecuada de herramientas para el manejo de una falla.

El proceso RCM identifica la falla en dos niveles:

- Identificar circunstancias que llevaron a la falla.
- Se preguntan qué eventos pueden causar que el activo falle.

Las fallas funcionales se escriben en la segunda columna de la hoja de trabajo de información. Son codificadas alfabéticamente como se muestra a continuación.

Figura 6. Falla funcional en la hoja de información RCM

RCMII HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN © 1998 ALADON LTD		SISTEMA	<i>Turbina de 5 MW</i>
		SUB-SISTEMA	<i>Sistema de escape</i>
	FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL
1	Dar salida sin restricción a todos los gases de escape calientes de la turbina hasta un punto fijo situado a 10 metros por encima del techo de la sala de turbinas.	A B C D	Totalmente incapaz de conducir el gas Flujo de gas restringido Incapaz de contener los gases No puede transportar los gases a un punto situado a 10 m encima del techo
2	Reducir los niveles de ruido del escape a un nivel ISO 30, a 150 metros	A	El nivel de ruido excede del nivel ISO 30 a 150 metros
3	Asegurar que la temperatura superficial de los conductos dentro de la sala de turbinas no exceda los 60°C	A	La temperatura superficial del conducto es mayor a 60°C
4	Transmitir una señal de alarma al sistema de control de la turbina si la temperatura de los gases del escape excede los 475°C y una señal para detener el equipo si excede los 500°C a cuatro metros de la turbina.	A B	Incapaz de transmitir la señal si la temperatura de escape es mayor a los 475°C Incapaz de transmitir una señal de apagado si la temperatura excede los 500°C
5	Permitir el libre movimiento de los conductos en respuesta a los cambios de temperatura.	A	No permite el libre movimiento de los conductos

Fuente: Moubray, John. RCM II.

4.2.4.6 Fallas potenciales. Se definen como condiciones físicas identificables que indican que una falla funcional está por ocurrir o están en el proceso de ocurrir.

4.2.5 Análisis de modos y efectos de falla (AMFE). Este análisis se considera como el más importante y relevante del proceso de desarrollo y aplicación del RCM, debido a que en él se establecen todos los aspectos relacionados a la falla del activo y a partir de esto se fijan los procedimientos y tareas a seguir para evitar que ocurran.

Para la realización del AMEF es de gran importancia que el gestor del plan de mantenimiento tenga a su alcance documentación técnica del equipo, historia de su comportamiento operativo y eventos de mantenimiento. Esta información se puede encontrar de diversas formas en las organizaciones, ya sea a través de un sistema de información (software de mantenimiento) que tenga documentada la información

nombrada, hasta a través del relato del personal que opera el equipo, este último generalmente es muy valioso en las empresas que no tienen una gestión del mantenimiento estructurada y no existe documentación archivada del activo durante el tiempo que ha operado dentro de ella.

4.2.5.1 Modo de falla. La identificación de los modos de falla es uno de los pasos más importantes en el desarrollo de cualquier programa que pretenda asegurar que el activo físico continúe cumpliendo sus funciones. Se define como cualquier evento que causa una falla funcional.

Los modos de falla deben describir con suficiente detalle la causa de cada falla funcional. Para una falla funcional pueden existir diversos modos de falla, en la práctica, dependiendo de la complejidad del activo físico, su contexto operacional y el nivel al que está siendo analizado, se registran entre uno y treinta modos de falla por cada falla funcional.

Los modos de falla incluyen:

1. Aquellos que han ocurrido en equipos iguales en el mismo contexto operacional.
2. Fallas que no han ocurrido pero son consideradas altamente posibles en el contexto operacional.
3. Fallas causadas por errores humanos (operadores, mantenedores).

➤ **Causas.** Cuando un equipo o una instalación falla, lo hace generalmente por uno de estos cuatro motivos:

1. Por un fallo en el material.
2. Por un error humano del personal de operación.
3. Por un error humano del personal de mantenimiento.
4. Condiciones externas anómalas.

En ocasiones, confluyen en una avería más de una de estas causas, lo que complica en cierto modo el estudio del fallo, pues es complicado determinar cuál fue la causa principal y cuáles tuvieron una influencia menor en el desarrollo de la avería¹¹

- **Probabilidad:** al preparar un AMFE, se debe decidir constantemente sobre que modos de falla son tan poco probable que ocurran que pueden ser ignorados sin peligro. Esto significa que no se trata de registrar absolutamente todas las posibilidades de falla sin importar con qué frecuencia pueden ocurrir.

Deben ser listados los modos de falla que tienen posibilidades razonables de ocurrir en ese contexto determinado. Una lista de modos de falla probables debería incluir lo siguiente:

- Fallas que han ocurrido en algún activo físico o en activos similares.
 - Modos de falla que ya son objeto de rutinas de mantenimiento proactivas.
 - Cualquier otro modo de falla que no haya ocurrido todavía, pero que tiene posibilidades de suceder.
- **Consecuencias:** si una falla tiene graves consecuencias (afecta operaciones, calidad del producto, seguridad o medio ambiente, servicio al cliente) se debe hacer un gran esfuerzo para intentar evitarlas así la probabilidad de que sucedan sea remota.

4.2.5.2 Efectos de falla. Describen lo que ocurre en cada modo de falla. Esta descripción debería incluir toda la información necesaria para apoyar la evaluación de las consecuencias de falla, concretamente, al describir los efectos de falla, debe hacerse constar lo siguiente:

¹¹ GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y gestión integral del mantenimiento. Madrid. Ediciones Díaz Santos. 2003., p.109.

- La evidencia (si la hubiera) de que se ha producido la falla.
- Las maneras (si las hubiera) en que la falla supone una amenaza para la seguridad o el medio ambiente.
- Las maneras (si las hubiera) en que afecta a la producción o a las operaciones.
- Los daños físicos (si los hubiera) causados por la falla.
- Que debe hacerse para reparar la falla.

La descripción de los efectos de falla debe aportar la máxima claridad posible para determinar cuáles son las consecuencias operacionales y no operacionales de la misma. Para hacer esto, se debe indicar cómo y durante cuánto tiempo queda afectada la producción. Generalmente esto tiene que ver con el tiempo de parada de máquina ocasionada por cada falla.

- **Tiempo de parada de máquina:** es el tiempo total durante el cual la máquina probablemente permanece fuera de servicio en condiciones normales, desde el momento que se produce la falla hasta el momento en que la máquina nuevamente se encuentra totalmente operacional.
- **Tiempo de reparación:** es el tiempo durante el cual el equipo averiado se lleva a un estado operativo aceptable.

En la siguiente figura podemos visualizar la diferencia entre tiempo de parada de máquina y tiempo de reparación.

Figura 7. Tiempo de parada de máquina vs tiempo de reparación



Fuente: Moubray, John. RCM II.

4.2.6 Consecuencias de la falla. Describen cómo y cuánto importa un modo de falla. Si una falla tiene graves consecuencias se hará un gran esfuerzo para intentar evitarla, si no tiene consecuencias o tiene consecuencias leves quizás se decida hacer un simple mantenimiento de rutina como una limpieza y lubricación básica.

Un punto fuerte del RCM es que reconoce que las consecuencias de las fallas son más importantes que sus características técnicas. De hecho reconoce que la única razón para hacer cualquier tipo de mantenimiento proactivo no es evitar las fallas per se, si no evitar o reducir las consecuencias de las fallas.

4.2.6.1 Función evidente. Es aquella cuya falla eventualmente e inevitablemente se hará evidente por sí sola a los operadores en circunstancias normales. Las consecuencias de las fallas en funciones evidentes son las siguientes:

- Consecuencias para la seguridad y el medio ambiente.
- Consecuencias operacionales.
- Consecuencias no operacionales.

4.2.6.2 Función oculta. Es aquella cuya falla no se hará evidente a los operarios bajo circunstancias normales, sí se produce por sí sola.

4.2.7 Técnicas de manejo de fallas. Son métodos que basan su desarrollo en algún fundamento teórico. Se dividen en dos categorías que son las siguientes:

4.2.7.1 Tareas proactivas. Se emprenden antes de que la falla ocurra, abarca lo que se conoce actualmente como mantenimiento predictivo o mantenimiento preventivo que RCM los llama reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica y mantenimiento a condición.

- **Tareas de reacondicionamiento cíclico.** Implica re fabricar un componente o reparar un conjunto antes de un límite de edad específico sin importar su condición en ese momento.
- **Tareas de sustitución cíclica.** Implican sustituir un componente antes de un límite de edad específico, más allá de su condición en ese momento.

En conjunto las tareas de reacondicionamiento cíclico y las tareas de sustitución cíclica son conocidas como mantenimiento preventivo.

Si una tarea proactiva es técnicamente factible o no, está determinado por las características técnicas de la tarea y la falla que pretende prevenir. De no hallarse una tarea proactiva que se a factible entonces debe tomarse una acción “a falta de”. Todo este proceso de decisión se realiza a través del diagrama de decisión del RCM II.

4.2.7.2 Tareas a condición. La mayoría de las nuevas técnicas se basan en el hecho de que la mayoría de las fallas dan algún tipo de advertencia antes de que estén por ocurrir. Se llaman tareas a condición porque los componentes se dejan en servicio a condición de que continúen alcanzando los parámetros de funcionamiento deseados.

4.2.7.3 Acciones “a falta de”. Estas acciones se llevan a cabo cuándo no se encuentra una tarea proactiva factible o eficaz para evitar que se produzca el estado de falla en el activo. El RCM reconoce tres grandes categorías:

- **Búsqueda de fallas:** son tareas diseñadas para chequear si algo todavía funciona. Implican revisar periódicamente funciones ocultas para determinar si han fallado. Las fallas ocultas solo afectan a los dispositivos de protección.
- **Rediseño:** se refiere a cualquier cambio en la especificación de cualquier componente de un equipo. Esto significa cualquier acción que implique un

cambio en un plano o lista de piezas. Incluye una modificación en la especificación de un componente, el agregado de un elemento nuevo, la sustitución de una máquina entera por una de marca o tipo diferente, o cambiar una máquina de lugar. También significa cualquier otro cambio de una sola vez a un proceso o procedimiento que afecte la operación de la planta.

- **Ningún mantenimiento programado:** en este caso, los elementos son dejados en servicio hasta que ocurra una falla funcional, momento en el cual son reparados o reemplazados.

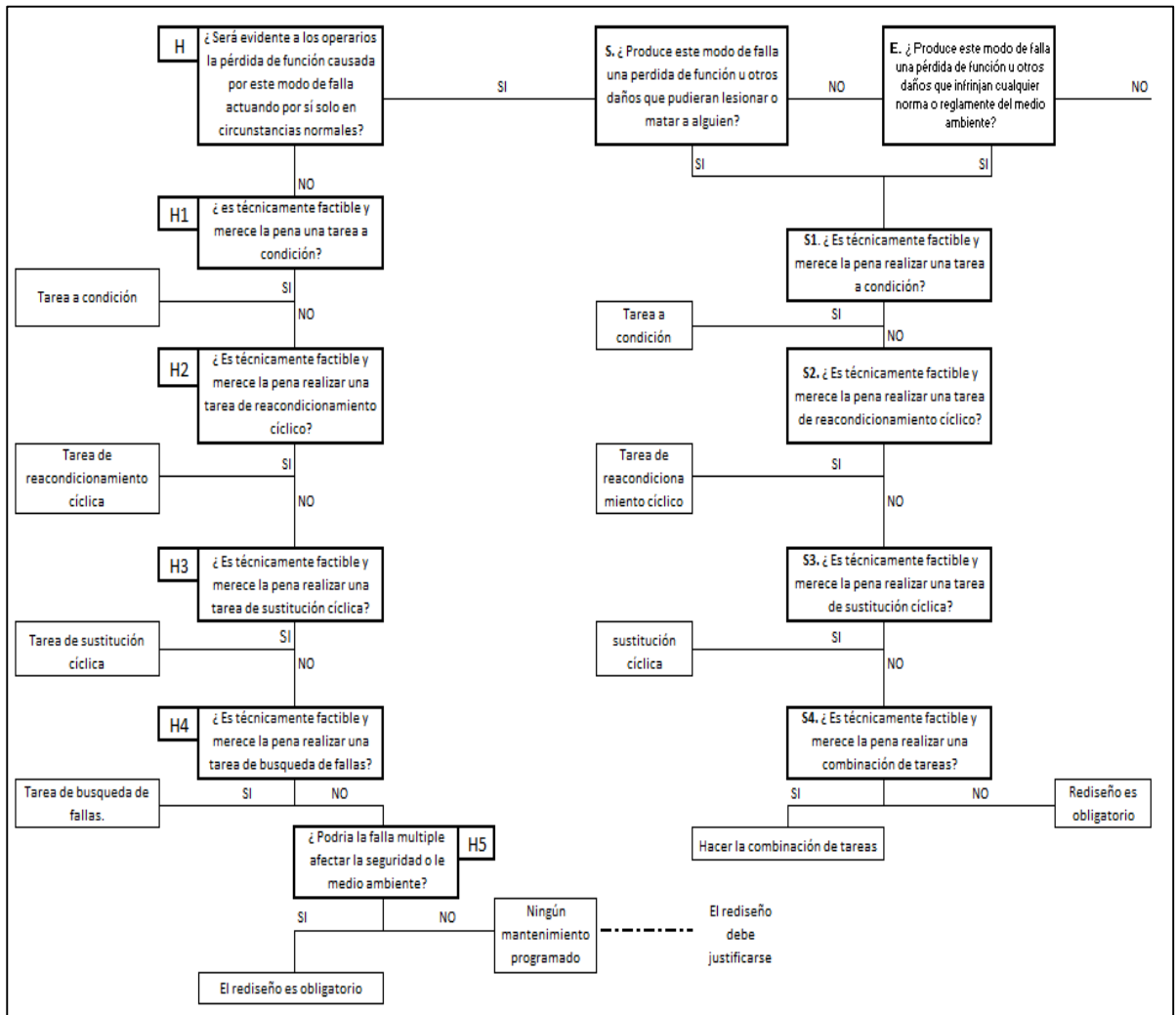
4.2.7.4 Proceso de selección de tareas. De acuerdo a la consecuencia que genera un modo de falla, se debe establecer la tarea que evite o reduzca a un nivel aceptable la probabilidad que esta ocurra. Por ello el proceso de selección de tareas es el siguiente.

- **Para fallas ocultas:** la tarea proactiva vale la pena si reduce significativamente el riesgo de falla múltiple asociado con esa función a un nivel tolerablemente bajo. Si esto no es posible, debe realizarse una tarea de búsqueda de falla (acción “a falta de”) que sea adecuada. De no hallarse se debe optar por el rediseño del sistema o equipo.
- **Para fallas con consecuencias para la seguridad y medio ambiente:** una tarea proactiva solo vale la pena si por sí sola reduce el riesgo de la falla a un nivel muy bajo, o lo elimina. Si no puede encontrarse una tarea proactiva entonces el componente debe ser rediseñado o debe cambiarse el proceso.
- **Para fallas con consecuencias operacionales:** una tarea proactiva solo vale la pena si el costo total de realizarla a lo largo de un periodo de tiempo es menor que el costo de las consecuencias operacionales más el costo de la reparación en el mismo periodo de tiempo. Si no la decisión inicial es ningún mantenimiento programado.
- **Para fallas con consecuencias no operacionales:** solo vale la pena una tarea proactiva si el costo de la tarea a lo largo de un periodo es menor al costo de

reparación en el mismo periodo de tiempo. Si no la decisión “a falta de” es ningún mantenimiento programado.

4.2.8 Diagrama de decisión del RCM. Este diagrama integra todos los procesos de decisión en una estructura estratégica única, la cual se aplica a cada uno de los modos de falla que se han listado en la hoja de información RCM. En la siguiente figura se muestra el diagrama de decisión RCM.

Figura 8. Diagrama de decisión RCM



Fuente: Moubray, John. RCM II. Pág. 204.

A través del diagrama de decisión RCM tenemos un método para abordar cada modo de falla y buscar la opción o decisión acorde para tratarlo. Este método consta de varias preguntas que al responderlas afirmativamente nos llevara a elegir la tarea respectiva para mitigar el modo de falla analizado. Si la respuesta es negativa nos conduce a otra pregunta, así sigue el proceso hasta encontrar la tarea necesaria a aplicar en el activo que presenta el estado de falla.

4.2.9 Hoja de decisión RCM. Es el segundo de los dos documentos centrales utilizados en la aplicación del RCM, el primero es la hoja de información RCM.

La hoja de decisión permite asentar las respuestas a las preguntas formuladas en el diagrama de decisión, y en función de dichas respuestas registrar que mantenimiento de rutina (si lo hay) será realizado, con qué frecuencia será realizado y quién lo hará, que fallas son lo suficientemente serias como para justificar el rediseño, casos en los que se toma la decisión deliberada de dejar que las fallas ocurran.

La hoja de decisión está dividida en dieciséis columnas. Cada una de ellas hace parte del resultado o producto a entregar del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II. Las tres primeras columnas se correlacionan con la hoja de información del RCM realizada a través del AMFE, pues contienen la información establecida en él. Las diez columnas siguientes hacen referencia a las preguntas formuladas por el diagrama de decisión RCM mostrado anteriormente. Las últimas tres columnas registran la tarea que ha sido seleccionada, la frecuencia con la que debe hacerse, y quien ha sido seleccionado para realizarla. La columna “tarea propuesta” también se utiliza para registrar los casos en los que se requiere rediseño, o si se ha decidido que el modo de falla no necesita mantenimiento programado.

Figura 9. Hoja de decisión RCM II, diligenciada

Referencia de Información		Evaluación de las consecuencias			H1	H2	H3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo inicial	A realizarse por			
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4				H5	S4	
BOMBA UNICA																
1	A	1	S	N	N	S	S							Verificar si el cojinete principal de la bomba hace ruido	Semanal	Mecánico
1	A	2etc													
BOMBA DE SERVICIO CON RESERVA																
1	A	1	S	N	N	N	N	N	N					Ningún Mantenimiento Programado		
1	A	2etc													
BOMBA DE RESERVA																
2	A	1	N				N	N	N	S				Arrancar la bomba de reserva en vez de la bomba de servicio y asegurar que la bomba de reserva sea capaz de llenar el tanque. Completada la prueba, volver a la bomba de servicio.	Cada 4 semanas	Operador

Fuente: Moubray, John. RCM II. Pág. 214.

4.2.10 Implementación del RCM. El proceso de desarrollo de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad termina con la implementación de la hoja de decisión, en donde se asignan las tareas rutinarias (si las hay) a los equipos analizados, con su intervalo de tiempo de ejecución y el personal encargado de realizarlas.

4.3 REFERENCIA NORMATIVA PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO

4.3.1 Norma ISO 14224:2006. Industrias de petróleo, petroquímica y gas natural-recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos.

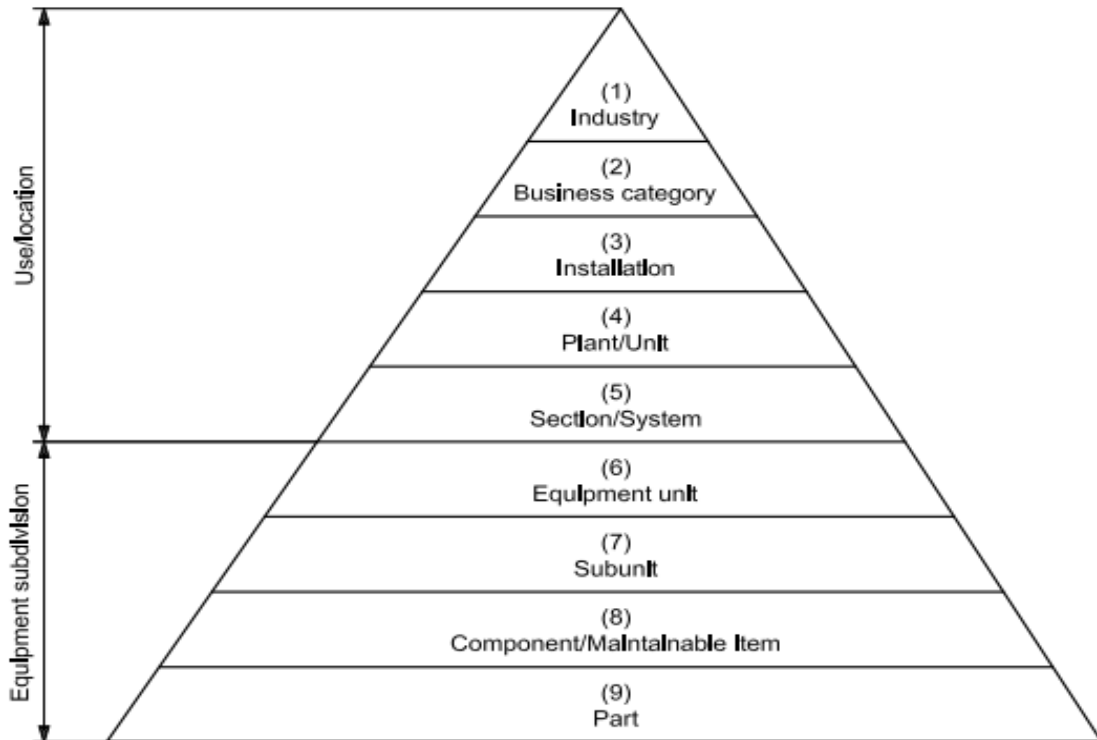
Esta norma internacional tiene como fin estandarizar la recolección de datos de confiabilidad y mantenimiento para los equipos usados en la industria del petróleo, petroquímica y gas natural. La norma fue creada en el año 1999, su primera edición fue publicada el 15 de Julio del mismo año por el comité técnico ISO/TC 67 Materiales, equipos y estructuras en plataformas para la Industria Petrolera y del Gas natural. La norma ISO 14224:2006 fue creada con base en la norma del año 1999, en esta edición se agregó la experiencia adquirida a través de la implementación y uso de la primera edición, integrando mayores y mejores conocimientos técnicos de los equipos, buenas prácticas de operación de los equipos de estas industrias.

La norma ISO 14224 fue elaborada para satisfacer una necesidad, la cual era minimizar las fallas y tiempos de parada que se presentaban en las industrias del petróleo y gas natural cada vez que un activo relevante en su proceso operativo se averiaba. Estas fallas presentadas en los activos mayoritariamente tenían consecuencias catastróficas lo cual generaba grandes pérdida de dinero anualmente a las industrias nombradas. Este motivo impulso a estas industrias a recopilar datos de disponibilidad confiabilidad y mantenimiento de sus activos y reunir toda esta información en una base de datos conocida como OREDA (Off shore and On shore Realiability Data). Con esta información las empresas de las industrias nombradas y empresas que desarrollan actividades afines a estas, tienen una valiosa y confiable fuente de información para desarrollar sus estrategias de mantenimiento.

La norma ISO 14224 jerarquiza los procesos y activos de una empresa a través de una pirámide taxonómica. Esta pirámide facilita la forma de identificar y codificar activos dentro de un proceso operativo ya que en ella se establece información de uso o ubicación (nivel superior) hasta la clase de activo que es y los subsistemas que lo conforman (nivel inferior). Esta jerarquización taxonómica permite

estandarizar la identificación de los activos lo cual facilita la recopilación de datos de confiabilidad y mantenimiento para equipos con igual o similar taxonomía.

Figura 10. Pirámide clasificación taxonómica Norma ISO 14224:2006



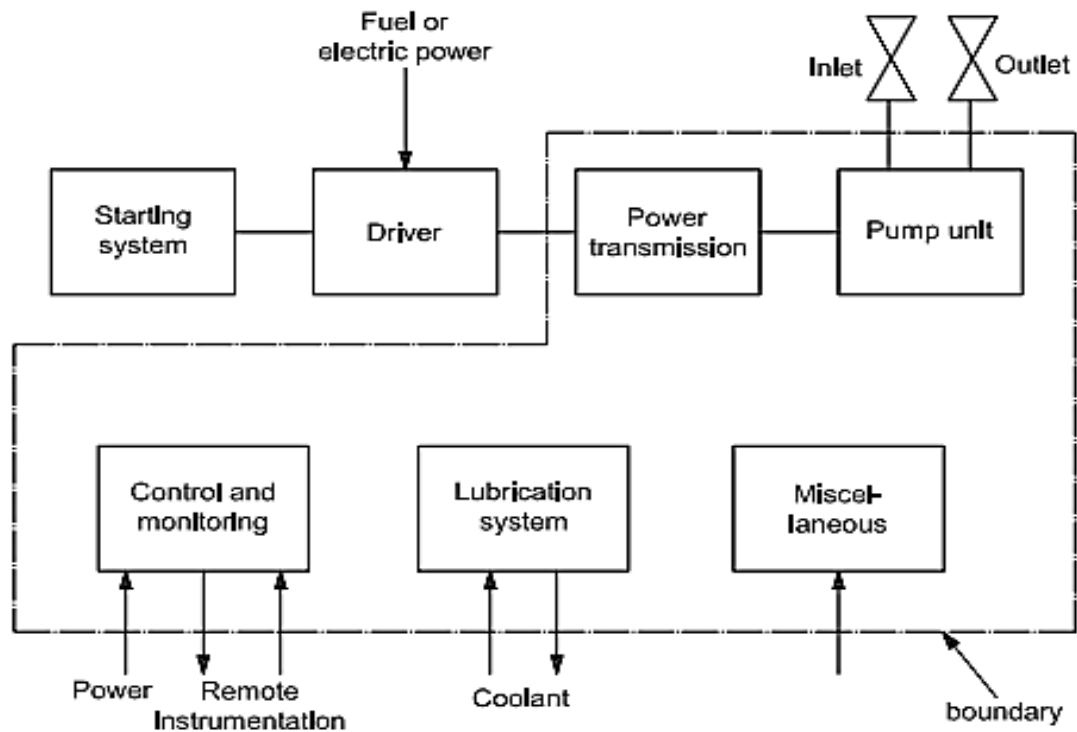
Fuente: Norma ISO 14224:2006. Pág. 19. Capítulo (Equipment boundary, taxonomy and time definitions.)

Otro aspecto importante de la norma ISO 14224:2006 es la forma en que se identifican los límites de los activos que se analizan. Estos límites hacen referencia a los sub sistemas que conforman el activo. Nos sugieren que sub sistemas se pueden considerar dentro del límite del activo para incluirlos en él análisis y cuales hacen parte de otros sistemas.

En la siguiente figura observamos el ejemplo del límite establecido para una bomba. En este observamos que el subsistema del encendido o accionamiento de la bomba no hace parte del límite, al igual el puerto de entrada y salida y por lo tanto no entrara

en el análisis de confiabilidad y mantenimiento que se realiza respecto al activo en estudio.

Figura 11. Ejemplo de diagrama límite para bombas



Fuente: Norma ISO 14224:2006. Pág.18. Capítulo 8 (Equipment boundary, taxonomy and time definitions.)

Es de gran relevancia dentro del desarrollo de la estrategia de mantenimiento definir los límites correctos de los activos o sistemas analizados. Si este paso no se realiza con el suficiente nivel de estudio y exactitud, se presentaran superposiciones de equipos o sistemas y se hará una análisis redundante de estos.

4.3.2 Norma SAE JA1011:1999. The engineering society for Advancing Mobility Land Sea Air and Space. Esta norma establece los criterios de evaluación en un orden secuencial que debe ser respetado y se debe aplicar, para que el mantenimiento realizado a un activo físico se considerado un proceso de

mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). Esta secuencia u orden de aplicación está sustentando a partir de siete preguntas básicas que se deben plantear para el levantamiento de información referente a la gestión de mantenimiento y arroja indicadores que facilitan la toma de decisiones frente a las actividades de mantenimiento que deben establecerse y realizarse a los activos de la empresa involucrados en el análisis de mantenimiento.

5. DIAGNÓSTICO DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

La gestión del mantenimiento es la encargada de garantizar la continuidad operativa de los procesos o servicios desarrollados por una empresa minimizando la posibilidad de falla o parada de los sistemas y activos físicos que hacen parte del desarrollo operativo. De acuerdo con lo anterior es menester para la gestión crear una estrategia de mantenimiento que sea eficaz y que se ajuste al contexto operacional de los activos físicos de la empresa para de esta forma maximizar la disponibilidad y confiabilidad del recurso propio al momento de entrar en servicio.

Para la implementación y optimización de una estrategia de mantenimiento aplicando el recurso teórico y técnico de la metodología RCM, es importante antes de ello, reconocer el estado del arte de la gestión del mantenimiento de la empresa. De esta forma nos aseguramos que la toma de decisiones sea correcta y que la opción o metodología a seguir sea la necesaria para mejorar las condiciones operativas anteriores.

5.1 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO.

Para realizar el diagnóstico del estado actual de la gestión de mantenimiento de la empresa se debe conocer su estructura interna, sus objetivos y las herramientas usadas para el desarrollo de esta. Para lograr pleno conocimiento de la gestión de mantenimiento primero se debe interactuar con los grupos interés involucrados en este, lo cuales generalmente son, el personal de operación o producción, el personal administrativo o gerencia y el personal encargado del mantenimiento. La información y relatos de estas personas son relevantes a la hora de revisar, conocer y entender la estructura y los objetivos planteados de la gestión de activos y mantenimiento. Por otra parte las herramientas usadas para desarrollar un plan de

mantenimiento reflejan el nivel de desarrollo que tiene la compañía en cuanto a temas de mantenimiento. Esto hace referencia a herramientas como planes de mantenimiento preventivos o predictivos, jerarquización de equipos y sistemas, desarrollo de un software de mantenimiento, entre otros. Todo lo anterior nombrado representa una gran ayuda en el momento de recopilar información acerca del historial de vida de los equipos dentro de su periodo operativo en la empresa. Por último; ocurre en algunos casos que la información documentada en software computacionales o archivos físicos es muy reducida o simplemente no existe, en estos casos entra a jugar un papel importante el relato de las personas que conviven diariamente con los activos físicos, las cuales son los operadores. Estas personas tienen un gran conocimiento del comportamiento operativo de los activos, de sus fallas más comunes y frecuentes y de los eventos o intervenciones de mantenimiento a los que han sido sometidos.

5.2 AUDITORIA DE MANTENIMIENTO A LA EMPRESA HYDROSTATIC TESTING S.A.S

Como se expresó anteriormente es de gran importancia conocer el estado de la gestión de mantenimiento de la empresa antes de realizar una optimización de la misma. Por ello mediante una auditoría realizada se busca reconocer las fortalezas y debilidades que presenta el área de mantenimiento y con ello enfocar las acciones de la optimización a fortalecer los aspectos positivos y mejorar los aspectos negativos encontrados.

Para desarrollar el proceso de auditoría del mantenimiento se recurrió al formato que plantea Francisco Javier Gonzales Fernández en el libro Auditoría de mantenimiento e indicadores de gestión. Este formato consta de 12 bloques de autoanálisis que contienen 128 preguntas, con las cuales se formulará un diagnóstico preciso de la situación del departamento de mantenimiento.

El formato de auditoría contempla varias áreas que unidas conforman un departamento de mantenimiento completo, cada pregunta de los bloques o áreas tiene una puntuación que va de mínimo cero a máximo cuarenta, una vez se responde todas las preguntas del bloque se obtiene una puntuación total que debe estar por encima del puntaje mínimo establecido para aprobar el bloque o área del departamento de mantenimiento, si está por debajo de este valor el área será objeto de reflexión, estudio y mejora.

Las áreas del departamento de mantenimiento que contempla este formato de auditoría son las siguientes:

- A. Organización general.
- B. Métodos y sistemas de trabajo.
- C. Control técnico de instalaciones y equipos.
- D. Gestión de la carga de trabajo.
- E. Compra y logística de repuesto y equipos.
- F. Sistemas informáticos.
- G. Organización del taller de mantenimiento.
- H. Herramientas y medios de pruebas.
- I. Documentación técnica.
- J. Personal y formación.
- K. Contratación.
- L. Control de la actividad.

5.2.1 Organización general. Este es el primero de los doce bloques de la auditoría de mantenimiento. Este bloque consta de doce preguntas en las cuales se busca identificar o establecer temas como organización y responsabilidades del departamento de mantenimiento, responsabilidades y tareas definidas en la organización, estructura de la dirección de mantenimiento y equipo técnico para abordar procesos de mejora, presupuesto de funcionamiento, área para

planificación y coordinación de trabajos y para realizar estudios de mejora, descripción de funciones para puestos de ejecución, personal de operación para llevar a cabo operaciones de mantenimiento, ordenes de trabajo para operaciones preventivas y correctivas, objetivos e indicadores de funcionamiento, interacción del departamento de mantenimiento con otros departamentos de la empresa y seguimiento a niveles de calidad de servicio para clientes.

5.2.2 Métodos y los sistemas de trabajo. En este bloque se busca identificar si hay implementado, registrado o establecido temas como sistemas de planificación y preparación de trabajos, procedimientos para preparar trabajos, establecer repuestos y justificar nuevas adquisiciones, métodos operativos para trabajos complejos, procedimientos que definan autorizaciones de trabajo para trabajos que conlleven riesgos, archivos de expedientes o historiales de equipos y sistemas, acciones que normalicen órganos y unidades, métodos para estimar tiempos distintos de la estimación global, métodos para preparar trabajos largos e importantes, métodos formalizados para reparaciones y protocolos de prueba, kits de piezas y herramientas para intervenciones, documentación clasificada y de fácil acceso y sistemas de priorización de actividades con base en estudio de criticidad.

5.2.3 Control técnico de instalaciones y equipos. En este bloque se busca identificar si hay implementado, registrado o establecido temas como lista de inventarios, codificación de equipos, registro de modificación, instalaciones nuevas y supresión de equipos, archivos informáticos o de papel de cada equipo con reseña histórica de los trabajos llevados a cabo en cada uno de ellos y su costo, análisis de criticidad y estudio de averías y modos de fallo AMFE, información de horas de trabajo, piezas consumidas y sus costos de cada equipo, responsables de las reseñas históricas de los trabajos, seguimiento y control de operaciones, situación periódica de inventario y documentación, constancia de adecuación de parque de maquinaria y análisis de sistema a sistema costo real de sus ciclos de vida.

5.2.4 Gestión de la carga de trabajo. En este bloque se busca identificar o establecer el nivel de desarrollo o aplicación en temas como programa de mantenimiento preventivo, fichas escritas de mantenimiento preventivo, responsable del conjunto de actividades de mantenimiento preventivo, responsabilidades de los usuarios de los equipos en materia de ajuste y mantenimiento de rutina, sistemas de registro de solicitudes de trabajo, personas responsables de planificación de trabajos, carga de trabajo en cartera, documento para seguimiento de intervenciones, planeación periódica de distribución de trabajos y celeridad en trabajos.

5.2.5 Compra y logística de repuestos y equipos. En este bloque se busca reconocer si están establecidos dentro del departamento de mantenimiento áreas como almacén específico de mantenimiento y sistema de seguimiento de pedidos, sistema de libre servicio para artículos y piezas de consumo habitual, stock de repuestos de fácil acceso para el personal, piezas de repuesto identificadas, sistemas de aprovisionamiento y de lanzamiento de compras por demanda, procedimiento de solicitud de ofertas y adjudicación de pedidos, procedimientos de aprovisionamiento flexibles y rápidos, proveedores concertados, suministradores distintos al propio fabricante de equipamientos, sistema rápido y eficaz de reparación y cohesión entre el servicio de compras y de mantenimiento.

5.2.6 Sistemas informáticos. En este bloque se busca identificar el nivel de desarrollo o aplicación de procesos como participación activa del departamento de mantenimiento en la especificación técnica y definición de requisitos del sistema informático, ajuste de la aplicación informática a los procedimientos organizativos, interacción entre operador y sistema informático para el manejo de órdenes de trabajo, sistema informático emparentado con otras aplicaciones corporativas, sistema informático y reducción de cargas administrativas, sistema de información y toma de decisiones, sistema informático y optimización de recursos, hardware

acorde al nivel del sistema informático y red de comunicaciones de la empresa confiable.

5.2.7 Organización del taller de mantenimiento. En este bloque se busca identificar o establecer temas como espacio asignado al departamento de mantenimiento, oficinas de supervisores y mandos intermedios a pie de obra, ubicación del almacén de herramientas, medios de manutención y transporte para trabajos preventivos y correctivos, ordenes de trabajo diligenciadas a pie de obra, zonas de materiales útiles o averiados identificadas y delimitadas, logística y custodia de herramientas y útiles y verificación y calibración de ellas.

5.2.8 Herramientas y medios de prueba. En este bloque de preguntas se busca identificar o establecer temas como inventario de herramientas y equipos de pruebas, accesibilidad del departamento a herramientas especiales y equipamientos, procedimiento de verificación y calibración de herramientas especiales, caja de herramientas personal a operarios, verificaciones periódicas de puesta en conformidad de máquinas y herramientas y logística, contratación y gestión de nuevas herramientas y medios.

5.2.9 Documentación técnica. En este bloque de preguntas se busca identificar o establecer temas como documentación técnica de equipos, planos de conjunto y esquemas, instrucciones técnicas de utilización y mantenimiento de equipos, planos de instalaciones, registro de modificaciones de equipamientos, contratos de mantenimiento y medios de reprografía.

5.2.10 Personal y formación. En este bloque de preguntas se busca identificar o establecer temas como ambiente de trabajo, mandos intermedios y operarios bajo su responsabilidad, grupos de mejora para problemas presentados, encuentros periódicos entre personal directivo y operarios, disponibilidad de mandos intermedios y operarios, formación técnica del personal, iniciativa del personal en el

trabajo diario, mandos intermedios y perfeccionamiento técnico del personal bajo su mando, formación en nuevas tecnologías de mandos intermedios, formación en seguridad y prevención de accidentes al personal, seguimiento a las cualificación y habilitación del personal y relaciones del personal con agentes de producción u explotación.

5.2.11 Contratación externa. En este bloque de preguntas se busca identificar o establecer temas como proceso de evaluación de contratistas, documentos descriptivos de los trabajos y pliegos de condiciones, criterios de técnica y competencias para selección de contratistas, acceso a empresas de contratación según ubicación. Cláusulas de resultados en contratos, garantía de calidad y colaboración con contratistas, control de trabajo de contratistas y documentación específica para tercerizar el mantenimiento de los equipos.

5.2.12 Planificación y control de la actividad. En este bloque de preguntas se busca identificar o establecer temas como cuadro de mando integral (CMI), balance continuo correctivo-preventivo para toma de decisiones, informes del control de las horas, costos de mano de obra y repuestos, especificaciones técnicas del servicio, eficacia, grado de saturación y tiempos muertos del potencial de mantenimiento, carga de trabajo, costos de mantenimiento equipo por equipo, informes de síntesis, informe de actividad mensual o anual y mejora de actividades, rendimiento, cambio de procesos y periodicidades.

En la siguiente figura se muestra un ejemplo del cuestionario expuesto en los párrafos anteriores.

Figura 12. Bloque de preguntas B. Métodos y sistemas de trabajo

	no	más bien no	ni sí ni no	más bien sí	sí
B. MÉTODOS Y SISTEMAS DE TRABAJO					
1. ¿Disponen de sistema de planificación y preparación de trabajo para intervenciones importantes?	0	10	-	20	30
2. ¿Tienen procedimientos para preparar trabajos, establecer presupuestos y justificar nuevas adquisiciones o proponer nuevas actividades?	0	-	10	-	20
3. ¿Disponen Uds. de métodos operativos escritos para los trabajos complejos o delicados?	0	-	10	-	20
4. ¿Tienen Uds. un procedimiento por escrito (y aplicado) que defina las autorizaciones de trabajo (consignación, desconsignación) para los trabajos que conlleven riesgos?	0	-	-	-	25
5. ¿Se archivan en los expedientes o historiales de equipos y sistemas, los trabajos de preparación y planificación de grandes intervenciones?	0	5	-	10	15
6. ¿Hay acciones que lleven a normalizar los órganos y las unidades?	0	5	-	20	30
7. ¿Tienen Uds. métodos para estimación de tiempos distintos de la estimación global? (trabajos tipos, bloques de tiempos)	0	-	5	-	10
8. ¿Utilizan Uds. el método PERT (u otra gestión parecida) para la preparación de trabajos largos, importantes, o que necesiten mucha coordinación?	0	5	-	10	20
9. ¿Tienen métodos formalizados para hacer las reparaciones y protocolos de pruebas?	0	10	-	20	30
10. ¿Guardan Uds. las unidades en almacén, hacen preparar kits (piezas, herramientas) antes de sus intervenciones?	0	10	-	20	30
11. ¿Está el conjunto de la documentación debidamente clasificada y fácilmente accesible?	0	5	-	10	20
12. ¿Tienen sistemas de priorización de actividades, con base en su criticidad, repercusiones secundarias, etc.?	0	-	-	-	20
B - 270 puntos posibles					
Subtotal:					

Fuente: Gonzales Fernández, Francisco Javier. Auditoría del mantenimiento e indicadores de gestión. 2da edición. Pág. 105

5.3 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA AUDITORIA

Este cuestionario fue respondido por los ingenieros de campo (operarios), el personal de mantenimiento y la alta gerencia de la empresa. Una vez obtenidos los resultados se buscaran los mecanismos y las acciones para fortalecer las áreas aprobadas y establecer los pasos a seguir para reestructurar y mejorar las áreas reprobadas. En la siguiente tabla podemos observar el puntaje obtenido en cada

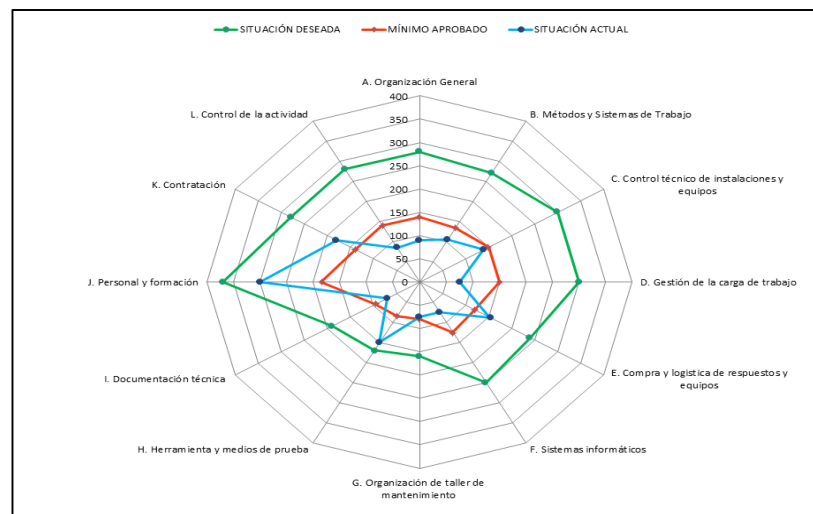
uno de los bloques de preguntas realizados, el puntaje mínimo para aprobar el área y el puntaje de situación deseada. En el anexo D se observa los resultados de la auditoría.

Tabla 1. Resultados de la auditoría

ÍTEM	SITUACIÓN DESEADA	MÍNIMO APROBADO	SITUACIÓN ACTUAL
A. Organización General	280	140	90
B. Métodos y Sistemas de Trabajo	270	135	105
C. Control técnico de instalaciones y equipos	300	150	140
D. Gestión de la carga de trabajo	300	150	75
E. Compra y logística de respuestos y equipos	240	120	153
F. Sistemas informáticos	250	125	75
G. Organización de taller de mantenimiento	160	80	75
H. Herramienta y medios de prueba	170	85	150
I. Documentación técnica	190	95	85
J. Personal y formación	370	185	300
K. Contratación	280	140	180
L. Control de la actividad	280	140	85

En la tabla de resultados de la auditoría se puede observar que áreas evaluadas fueron aprobadas y cuáles fueron reprobadas. En la siguiente figura se muestra la representación gráfica de los resultados obtenidos.

Figura 13. Representación gráfica tela de araña de los resultados obtenidos en la auditoría a la empresa Hydrostatic Testing S.A.S.



5.4 ANÁLISIS D.O.F.A

Después de obtener los resultados de la auditoría de la gestión del mantenimiento de la empresa, procedemos a identificar los factores internos (debilidades y fortalezas) que hacen que la gestión del mantenimiento se encuentre en el estado que evidencia el resultado obtenido y establecer los factores externos (amenazas y oportunidades), que rodean el contexto en el cual se desarrolla el modelo económico y operativo de la empresa, a tener en cuenta para usarlos en un plan de mejora.

5.4.1 Debilidades (Factor Interno). Estas son las áreas en las cuales la gestión de mantenimiento muestra deficiencias, por ello también serán las áreas en las que mayormente se enfocara el trabajo a realizar. De acuerdo al resultado obtenido en la auditoría y el levantamiento de información realizado, las debilidades encontradas son las siguientes:

1. Organización general.
2. Métodos y sistemas de trabajo.
3. Control técnico de instalaciones y equipos.
4. Gestión de la carga de trabajo.
5. Sistemas informáticos.
6. Organización del taller de mantenimiento.
7. Documentación técnica.
8. Control de la actividad.

5.4.2 Fortalezas (Factor Interno). Estas son las áreas que más desarrollo muestran y que más estructuradas están dentro de la gestión del mantenimiento. De acuerdo a los resultados obtenidos y levantamiento de información las fortalezas encontradas son:

1. Compra y logística de repuestos y equipos.
2. Herramientas y medios de prueba.
3. Personal y formación técnica.
4. Contratación.

5.4.3 Matriz D.O.F.A

Tabla 2. Matriz D.O.F.A.

	FORTALEZAS (F)	DEBILIDADES (D)
FACTORES INTERNOS	<ul style="list-style-type: none"> • Compra y logística de repuestos y equipos. • Herramientas y medios de prueba. • Personal y formación técnica. • Contratación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Organización general. • Métodos y sistemas de trabajo. • Control técnico de instalaciones y equipos. • Gestión de la carga de trabajo. • Sistemas informáticos. • Organización del taller de mantenimiento. • Documentación técnica. • Control de actividad
	OPORTUNIDADES (O)	AMENAZAS (A)
FACTORES EXTERNOS	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar un análisis de criticidad de activos y análisis AMFE. • Realizar un plan de mantenimiento que maximice disponibilidad y confiabilidad de equipos críticos. • Implementar software de mantenimiento que organice y permita el fácil acceso a la información. • Crecimiento de la cultura organizacional de la empresa entorno a la gestión del mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Falla de equipos en servicio, que conlleven a incrementar tiempos de ejecución del servicio o a no ejecutarlo. • Pérdida de confianza por parte del cliente, que conlleve a una disminución de la demanda de los servicios. • Sobrecostos en inventario y repuestos. • Daño ambiental y de seguridad por mal funcionamiento de los equipos. • Disminución del ciclo de vida útil de los equipos.

5.5 DIAGNOSTICO DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE HYDRATICA

Una vez realizado el proceso de recopilación de información a través de información documentada sobre los activos físicos y el relato de las personas participes en las actividades relacionadas al mantenimiento de estos, podemos emitir un concepto o diagnóstico de la gestión.

5.5.1 Estructura de la gestión del mantenimiento. La estructura de la gestión del mantenimiento en la empresa está conformada por las siguientes áreas:

Figura 14. Estructura de la gestión del mantenimiento de HYDRATICA



5.5.1.1 Área administrativa. El área administrativa es la encargada de destinar los recursos para el desarrollo de todos los campos de la empresa. En el caso de Hydratica el área encargada de destinar los recursos para la ejecución del mantenimiento de los activos físicos es el director de operaciones.

5.5.1.2 Área Operativa. En este caso específico el área de producción equivale en Hydratica al área de ejecución de servicios. Esta área juega un papel fundamental dentro de la estructura del mantenimiento, ya que los ingenieros de campo son los ejecutores de los servicios que ofrece la empresa y también son las personas que realizan las actividades de mantenimiento.

5.5.2 Mantenimiento realizado en la empresa. Como se mencionó anteriormente, la poca continuidad que ha tenido el personal encargado de liderar el área de mantenimiento, ha generado un bajo nivel de desarrollo en ella, esto se ve reflejado en hechos puntuales, como los son la no implementación de un plan de tareas preventivas, la falta de un análisis que permita establecer una lista de actividades con frecuencias o periodicidades de ejecución establecidas, la falta de un análisis

de criticidad que permita jerarquizar sistemas y equipos, entre otros. Debido a esto en la empresa se ejecutan dos tipos de actividades de mantenimiento:

5.5.2.1 Actividades correctivas. Estas son ejecutadas en el momento que el equipo presenta una falla funcional. Estas actividades son realizadas por los ingenieros de campo. En algunas ocasiones el fallo funcional se presenta en campo (zonas rurales) al momento de desarrollar un servicio, en estos casos el ingeniero de campo cuenta con la herramienta necesaria para reparar la avería. Si se necesita cambiar una pieza para recuperar la funcionalidad del equipo, el tiempo de reparación depende del tiempo en obtener el repuesto lo cual en algunas ocasiones este tiempo puede durar días (depende del punto de ubicación). Por ello se acostumbra a llevar equipos de respaldo. Esto último se puede hacer en los casos que no hay simultaneidad de prueba hidrostática. En los casos que hay simultaneidad de pruebas y todos los equipos están en servicio, no hay opción de equipo de respaldo. En estos casos el tiempo de desarrollo de prueba aumenta considerablemente.

5.5.2.2 Actividades pre-operacionales. Estas actividades se realizan antes de que el equipo entre en servicio. En ellas se verifica que el estado operativo del equipo sea óptimo para entrar en servicio. Si se evidencia un mal funcionamiento se identifica la causa y se corrige. Estas actividades son ejecutadas por los ingenieros de campo. En ocasiones, cuando se presenta simultaneidad de pruebas y los tiempos son muy reducidos para movilizar los equipos al punto de prueba, estas actividades no se realizan, por lo cual en varias ocasiones los equipos no muestran el desempeño deseado por los ingenieros al momento de operarlos y se presentan las situaciones mencionadas en el ítem anterior.

5.5.3 Documentación existente de la gestión del mantenimiento. La empresa cuenta con documentación archivada en carpetas como los manuales de operación de los principales activos físicos, algunos registros de orden de trabajo y facturas de intervenciones de mantenimiento correctivo a estos. Además de ello cuenta con

una carpeta llamada mantenimiento que se encuentra guardada en la totalidad de los computadores de la empresa. En ella se encuentra los siguientes formatos:

5.5.3.1 Fichas técnicas. El formato ficha técnica contiene datos de información general, descripción técnica y funcionamiento, además de ello contiene una casilla de registro fotográfico del equipo. En esta carpeta se encuentran registradas las fichas técnicas de los principales equipos de la empresa, como son bombas centrífugas, bombas de desplazamiento positivo, sensores de presión y temperatura y equipo de adquisición de datos. El formato tiene un diseño agradable a la vista y contiene las casillas para registrar información valiosa del equipo. Esta información que encontramos en las fichas técnicas son de gran ayuda para conocer datos técnicos de los equipos que al momento de aplicar el RCM facilitarían algunos procedimientos como establecer límites de funcionamiento, identificar sistemas y sub sistemas, entre otros. En el anexo A se adjunta la ficha técnica de una bomba de desplazamiento positivo accionada por motor diésel.

5.5.3.2 Hojas de vida. En el formato hoja de vida se registra información referente al mantenimiento del activo como actividades de mantenimiento preventivo, periodicidad, materiales y herramienta a utilizar. También cuenta con un espacio en donde se registra la fecha de la intervención, el tipo de mantenimiento, la actividad realizada, el tiempo requerido para ello, los repuestos usados (si los hubo), el responsable del mantenimiento, el costo hora hombre y el costo total de la intervención entre otros. No obstante, a pesar de toda la información que en el formato se puede registrar, las hojas de vida se encuentran en su mayoría vacías y algunas cuentan con el registro de eventos de mantenimiento realizados en el año 2015 lo cual nos indica que están desactualizadas y que se ha perdido información valiosa del mantenimiento de los activos, que al momento de implementar el RCM serían de gran ayuda para establecer criticidades de equipos, modos de falla y periodicidades de actividades de mantenimiento, entre otros. Las hojas de vida se completaron con información relatada por los ingenieros de campo más

experimentados los cuales han operado los equipos durante un largo periodo de tiempo. No se usó ningún tipo de información de intervenciones documentadas más allá de algunas intervenciones correctivas. En el anexo B se adjunta el formato hoja de vida.

5.5.3.3 Ordenes de trabajo. En este formato se registra la solicitud del evento de mantenimiento y se autoriza; se hace una descripción escrita de la avería encontrada en el equipo y un registro fotográfico de la misma. Existe un formato para actividades preventivas de mantenimiento y otro para actividades correctivas. De igual forma que en el anterior caso, se encuentran muy pocas ordenes de trabajo de acuerdo al tiempo que llevan operando los equipos en la empresa, sin embargo está información encontrada en la ordenes de trabajo son de gran ayuda para la implementación del RCM, ya que en algunas de ellas se describe con precisión el tipo de falla ocurrido en el equipo, además de ello está el registro de la fecha en que se solicitó la orden de mantenimiento. En el anexo C se adjunta el formato orden de trabajo solicitado para realizar una actividad de mantenimiento correctivo a un equipo. Podemos observar que existe un trabajo realizado por el personal que estuvo a cargo del área de mantenimiento en la empresa, ya que hay formatos diseñados, en donde se puede registrar la información relevante entorno al mantenimiento de los equipos. Sin embargo este trabajo realizado quedó incompleto ya que la gran mayoría de estos formatos, a excepción de las fichas técnicas, están vacíos, sin ningún registro. Son muy pocos los formatos de hojas de vida y ordenes de trabajo que contienen información valiosa. Por ello la recopilación de datos y el levantamiento de información del mantenimiento de los equipos, en su mayoría se debe hacer por medio del relato, la experiencia y el conocimiento de los ingenieros de campo sobre sus equipos.

6. CODIFICACIÓN DE EQUIPOS

La codificación de equipos juega un papel relevante a la hora de realizar la optimización de la estrategia del mantenimiento de la empresa, ya que al hacerlo se facilita la identificación del equipo dentro de una base de datos, lo cual genera un control de los procesos y actividades a los que este se somete dentro de su vida útil al servicio de la empresa. Por otra parte permite que los operarios y mantenedores de los equipos los identifiquen físicamente de manera rápida en los casos en que hay dos o más equipos iguales.

Al momento de generar la codificación de los activos es de gran importancia que tengamos en cuenta aspectos de estos que permitan entender el código y reconocer el activo por parte de los operadores de estos. Es por ello que en este caso se tuvieron en cuenta aspectos técnicos de los equipos, como principio de funcionamiento, familia a la que pertenecen, entre otros.

6.1 CARACTERIZACIÓN DE EQUIPOS DE HYDRATICA.

6.1.1 Equipos de inyección de energía hidráulica.

- Bombas hidroneumáticas de desplazamiento positivo hasta 12000 psig.
- Bombas de desplazamiento positivo accionadas con motores de combustión interna diésel hasta 3500 psig.
- Bombas eléctricas de desplazamiento positivo a 120 VAC.
- Bombas de desplazamiento positivo de accionamiento manual hasta 3.000 psig.
- Bombas centrifugas accionadas con motor de combustión interna diésel de doble impulsor, impulsor sencillo hasta 120 metros de columna de agua (mca).
- Bombas centrifugas de accionamiento eléctrico, usadas como bombas booster para las bombas de desplazamiento positivo.

6.1.2 Equipos de adquisición, registro y muestra de datos en tiempo real (Data Logger)

- Equipo de Adquisición de Datos (Nomenclatura interna HT), caja que contiene la configuración electrónica del Data Logger, el cual tiene patente ante la Superintendencia de Industria y Comercio y patente PCT (Patent Cooperation Treaty).
- Transmisor de presión (sensores).
- Sensor de temperatura PT100.
- Simulador de variables mediante resistencias eléctricas (Testers).
- Cables de comunicación para llevar las señales desde el equipo al punto referenciado para medir.
- Unidad de suministro de energía no interrumpida (UPS: Uninterrupted Power Supply).

6.1.3 Mangueras y accesorios

- Mangueras de alta presión, grafadas en sus extremos por diferentes conexiones roscadas.
- Mangueras de baja presión, succión de los sistemas de bombeo.
- Bridas desde 24 pulgadas hasta 1/2 pulgada en ANSI 150, 300, 600, 900 y 1500.
- Racorería, espárragos, tuercas y herramientas que permiten realizar el diseño y montaje de los sistemas a probar dependiendo de la configuración o el activo a intervenir.

6.1.4 Equipos auxiliares

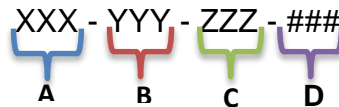
- Bancos de prueba ANSI 900
- Plantas eléctricas
- Compresor (1,1 KW, 1:5 HP, 600 psig).
- Esmeril eléctrico.
- Pulidora.

- Torquímetro capacidad hasta 600 lb/ft.
- Multiplicador de torque capacidad hasta 2.200 lb/ft.
- Camión furgón JAC doble cabina.
- Puente Grúa capacidad de carga 5 Ton.

Todos estos equipos están involucrados en el desarrollo de los servicios que ejecuta la empresa, no obstante, las bridas, racorería y herramienta ordinaria no serán codificadas debido a que ellas tienen una codificación e inventario ya establecido. En el anexo E podemos observar el árbol de equipos de la empresa.

6.2 MÉTODO DE CODIFICACIÓN

El código a implementar será alfanumérico y tendrá la siguiente estructura:



- A.** Las tres primeras siglas del código serán iguales para todos los activos y harán referencia a la empresa a la que pertenecen, estas tres siglas se escriben en mayúscula y son las siguientes **HYT: HYdrostatic Testing**.
- B.** Este grupo de máximo tres siglas hará referencia a la familia a la que pertenece el activo. En el árbol de equipos establecido para Hydratica existen 5 familias de activos las cuales son:
- Bombas.
 - Registradores de datos (Data Logger).
 - Plantas eléctricas.
 - Bancos de prueba.
 - Equipo y herramienta especial.

- C. Este grupo de máximo tres siglas hará referencia a una característica propia del activo tal como el principio de funcionamiento, tipo de accionamiento, las iniciales del nombre del equipo, entre otros.
- D. Este grupo de siglas serán de tipo numérico. Este número hace referencia al consecutivo del equipo. Se usara cuando el mismo activo se encuentre dos o más ocasiones.
- **Ejemplo de codificación de un activo.** Como ejemplo vamos a tomar la codificación de una bomba de desplazamiento positivo accionada mediante un motor de combustión interna diésel. El código será el siguiente:

HYT-B-DPD-01

Donde cada sigla que conforma el código hace referencia a lo siguiente:

- **HYT: Hydrostatic Testing.** Hace referencia a las siglas de la empresa a la que pertenece el activo.
- **B: BOMBA.** Hace referencia a la familia a la que pertenece el activo.
- **DPD: Desplazamiento Positivo Diesel.** Hace referencia al principio de funcionamiento de la bomba y al tipo de accionamiento.

En el caso específico de las bombas de desplazamiento positivo el diferencial del código será la sigla que indique el tipo de accionamiento, en este caso se usa una D por ser accionada a través de un motor Diesel. En los casos en que las bombas son accionadas por medio de energía eléctrica, el tercer grupo de siglas será, **DPE**, que indica Desplazamiento Positivo Eléctrica.

- **Número 01: Consecutivo.** Hace referencia al consecutivo del activo. Para el caso de Bombas de desplazamiento diésel hay siete equipos con estas características técnicas de diseño. Con lo cual el consecutivo llegará hasta el número siete.


6.3 EQUIPOS CODIFICADOS

La codificación fue aplicada para un total de 55 equipos, los cuales están involucrados en la ejecución de los servicios que realiza la empresa. En el siguiente listado mostramos el número de equipos codificados por familia de activos.

- ✓ **Bombas:** 23 equipos.
- ✓ **Equipos de adquisición y registro de datos (Data Logger):** 18 equipos.
- ✓ **Plantas eléctricas:** 2 equipos.
- ✓ **Bancos de prueba:** 2 equipos.
- ✓ **Equipo y herramienta especial:** 11 equipos.

En la siguiente tabla podremos observar la codificación realizada a algunos activos usando la metodología explicada en el numeral 5.2 de esta sección. La codificación de la totalidad de los activos se adjuntara en el Anexo E.

Tabla 3. Codificación activos Hydratica

			CODIFICACIÓN DE ACTIVOS HYDRATICA	
NÚMERO	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO		
1	HYTgg-B-DPN-03	Bomba de desplazamiento positivo neumática		
2	HYT-B-DPM-01	Bomba desplazamiento positivo manual		
3	HYT-DL-HT-04	Registrador de datos-Data Logger		
4	HYT-PE-D-02	Planta eléctrica diesel		
5	HYT-EHE-PG	Equipo y Herramienta especial-Puente Grúa		

Una vez realizado el proceso de codificación de activos se procede a realizar el proceso de identificación física de estos a través de su código. Para ello se diseñó un formato de placas metálicas que serán instalados en los activos que fueron sometidos al proceso de codificación. El formato de la placa metálica contiene el registro de los siguientes datos:

- Nombre de la empresa a la que pertenece.
- TAG o código.
- Tipo de equipo.

En las siguientes figuras podemos observar el formato de diseño de la placa, con la información comentada y siguiente a esta la placa metálica ya realizada con el registro de datos de un equipo.

Figura 15. Formato de placas de identificación de equipos


		soporte@hydratica.com Calle 144 # 47-21 313-2079930	
EQUIPMENT CERTIFICATION ID			
COMPANY			
TAG			
EQUIPMENT TYPE			

Figura 16. Placa de identificación con registro de datos de una bomba centrífuga diésel

		soporte@hydratica.com Calle 144 # 47 - 21 313-2079930	
EQUIPMENT CERTIFICATION ID			
COMPANY	HYDROSTATIC TESTING		
TAG	HYT-B-CD-02		
EQUIPMENT TYPE	DIESEL CENTRIFUGAL PUMP		

7. ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS

El análisis de criticidad de activos se realiza con el propósito de jerarquizar sistemas o equipos que están involucrados en el desarrollo operativo de las actividades realizadas por una empresa y con ello optimizar la gestión de mantenimiento. A través de este análisis se logra identificar los sistemas o equipos críticos y se enfocan los recursos económicos y humanos en ellos con el fin de maximizar su disponibilidad y su confiabilidad operativa.

Existen diversas formas de realizar un análisis de criticidad a activos, sistemas o procesos, entre las cuales se destacan el método Pareto o también conocido como análisis 80-20, la inspección basada en riesgo RBI (Risk Based Inspection), el análisis cuantitativo del riesgo QRA (Quality Risk Assessment), entre otros.

La optimización de la estrategia de mantenimiento de Hydratica, se inicia a través de una jerarquización de los activos físicos que conforman los sistemas para llevar a cabo los servicios que esta ofrece. Para realizar este análisis es necesario emplear metodologías de seguridad bajo el concepto del riesgo, ello debido a lo siguiente:

- Recomendación de la Norma ISO 14224:2006 Industrias de petróleo, petroquímicas y de gas natural-recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos. La cual soporta el análisis de seguridad bajo el concepto de riesgo para empresas de la industria del petróleo, petroquímicas y gas natural o empresas relacionadas o afines a estas, el cual es el caso de Hydratica, ya que la empresa desarrolla la gran mayoría de sus servicios a equipos que hacen parte de los procesos de producción y transporte de estas industrias.

- El análisis basado en riesgos se enfoca en reducir la probabilidad de fallas con consecuencias graves o extremas para la seguridad de las personas y el entorno o medio ambiente. En los sistemas que se someten a prueba hidrostática, como tuberías, tanques y mangueras entre otros, existe la probabilidad de que ocurra una falla con consecuencias catastróficas ya que el desarrollo de estas pruebas consiste en presurizar el sistema (manifold-equipos a prueba) hasta llegar a un valor de presión conocido como presión de prueba, la cual en algunos casos puede llegar a magnitudes de cuatro mil libras por pulgada cuadrada o superiores. Los activos de Hydratica son los encargados de realizar la presurización y despresurización de los sistemas, lo cual indica que un fallo de estos o una mala operación del equipo por parte de la persona encargada, puede desencadenar en una pérdida de control del proceso de presurización que a su vez puede provocar un fallo del activo presurizado con consecuencias lamentables. Por ello el análisis de criticidad para los activos de Hydratica se debe realizar bajo el concepto de riesgo.

7.1 MATRIZ DE CRITICIDAD POR RIESGO

El modelo de criticidad total por riesgo (CTR), es un proceso de análisis cuantitativo soportado en el concepto del riesgo, el cual calcula la criticidad de un activo a través del producto entre la frecuencia de falla y la consecuencia de este.

$$CTR = FF \times C$$

Dónde cada variable representa lo siguiente:

- **CTR:** Criticidad Total por Riesgo.
- **FF:** Frecuencia de Falla.
- **C:** Consecuencia de falla

El valor de la Consecuencia se obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$C = (IO \times FO) + CM + SHA$$

Dónde cada variable de la ecuación representa lo siguiente:

- **IO:** Impacto Operacional.
- **FO:** Flexibilidad Operacional.
- **CM:** Costo de Mantenimiento.
- **SHA:** Impacto en Seguridad, Ambiente e Higiene.

La magnitud de cada criterio (variable) que conforma la ecuación del CTR será determinada a partir de los siguientes factores ponderados:

Tabla 3. Tabla de los factores ponderados

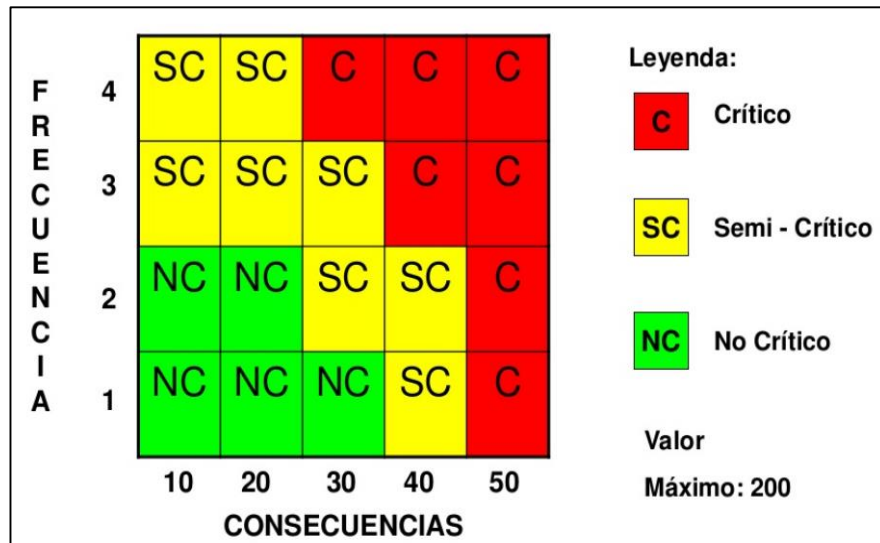
FACTORES PONDERADOS		
CRITERIO EVALUADO	DESCRIPCIÓN	PONDERADO
FRECUENCIA DE FALLA (FF)	MAYOR DE 4 EVENTOS AL AÑO	4
	ENTRE 2 Y 4 EVENTOS AL AÑO	3
	1 EVENTO AL AÑO	2
	MENOR A 1 EVENTO AL AÑO	1
IMPACTO OPERACIONAL (IO)	PERDIDA DE TODO EL SISTEMA OPERATIVO	10
	PARADA DE SISTEMA O SUBSISTEMA Y TIENE REPERCUSSION EN OTROS	7
	IMPACTA EN NIVELES DE INVENTARIO O CALIDAD	4
	NO GENERA NINGÚN EFECTO SIGNIFICATIVO SOBRE EL DESARROLLO DEL SERVICIO	1
FLEXIBILIDAD OPERACIONAL (FO)	NO EXISTE OPCIÓN DE DESARROLLO DEL SERVICIO Y NO HAY FUNCIÓN DE RESPALDO	4
	OPCIÓN DE RESPALDO COMPARTIDO / ALMACEN	2
	FUNCIÓN DE REPUESTO DISPONIBLE	1
COSTO DE MANTENIMIENTO (CO)	COSTO DE MANTENIMIENTO IGUAL O MAYOR AL 20% DEL COSTO DEL EQUIPO	2
	COSTO DE MANTENIMIENTO MENOR AL 20% DEL COSTO DEL EQUIPO	1
IMPACTO SEGURIDAD, AMBIENTE E HIGIENE	RIESGO ALTO DE PÉRDIDA DE VIDA, DAÑOS GRAVES A LA SALUD DEL PERSONAL Y/O INCIDENTE AMBIENTAL MAYOR (CATASTRÓFICO) QUE EXCEDEN LOS LÍMITES PERMITIDOS	8
	RIESGO MEDIO DE PÉRDIDA DE VIDA, DAÑOS IMPORTANTES A LA SALUD DEL PERSONAL Y/O INCIDENTE AMBIENTAL DE DIFÍCIL RESTAURACIÓN	6
	RIESGO MÍNIMO DE PÉRDIDA DE VIDA Y AFECCIÓN A LA SALUD (RECUPERABLE EN EL CORTO PLAZO) Y/O INCIDENTE AMBIENTAL MENOR (CONTROLABLE)	3
	NO EXISTE NINGÚN RIESGO DE PÉRDIDA DE VIDA, AFECCIÓN A LA SALUD NI DAÑOS AMBIENTALES	1

De acuerdo al valor ponderado otorgado a cada criterio evaluado para cada activo, se obtendrá un valor de criticidad y se conocerá el número y las características de los equipos críticos de la empresa.

Es relevante, para obtener resultados coherentes del análisis de criticidad de equipos, que el personal encargado de evaluar cada criterio tenga conocimiento acerca del estado actual de cada equipo y de su comportamiento operativo a lo largo del tiempo que ha sido usado en la empresa.

Una vez hecha la valoración de los criterios de evaluación para cada activo, podemos obtener el valor de la consecuencia. Seguido a esto realizamos el producto entre la frecuencia y la consecuencia y obtenemos el valor de criticidad del activo analizado. La matriz de criticidad representa este producto, en ella observamos en el cuadrante vertical el valor de frecuencia de falla y en el cuadrante horizontal el valor de la consecuencia como lo veremos a continuación:

Figura 17. Ejemplo de matriz de criticidad



✓ **Rangos de calificación**

- Equipos calificados con un puntaje menor o igual a 40 serán **no críticos**
- Equipos calificados entre 40 y 80 serán **medianamente críticos**
- Equipos con calificación mayor a 80 serán **críticos**

7.2 CRITICIDAD DE LOS ACTIVOS DE HYDRATICA

La jerarquización de los activos físicos de Hydratica a través de un análisis de criticidad total por riesgo se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4. Resultado análisis criticidad total por riesgo activos físicos Hydratica

NÚMERO	TAG	EQUIPO	CRITICIDAD
1	<i>HYT-B-DPN-01</i>	Bomba desplazamiento positivo neumática	148
2	<i>HYT-DL-ST-01</i>	Sensor temperatura	144
3	<i>HYT-DL-ST-02</i>	Sensor temperatura	144
4	<i>HYT-DL-ST-03</i>	Sensor temperatura	144
5	<i>HYT-DL-ST-04</i>	Sensor temperatura	144
6	<i>HYT-DL-ST-05</i>	Sensor temperatura	144
7	<i>HYT-DL-ST-06</i>	Sensor temperatura	144
8	<i>HYT-DL-HT1</i>	Data Logger	129
9	<i>HYT-DL-HT2</i>	Data Logger	129
10	<i>HYT-DL-HT3</i>	Data Logger	129
11	<i>HYT-DL-HT4</i>	Data Logger	129
12	<i>HYT-DL-HT5</i>	Data Logger	129
13	<i>HYT-B-CD-01</i>	Bomba centrífuga diésel	102
14	<i>HYT-B-CD-02</i>	Bomba centrífuga diésel	102
15	<i>HYT-B-CD-03</i>	Bomba centrífuga diésel	102
16	<i>HYT-B-DPD-01</i>	Bomba desplazamiento positivo diésel	96
17	<i>HYT-B-DPD-02</i>	Bomba desplazamiento positivo diésel	96
18	<i>HYT-B-DPD-03</i>	Bomba desplazamiento positivo diésel	96
19	<i>HYT-B-DPD-04</i>	Bomba desplazamiento positivo diésel	96
20	<i>HYT-B-DPD-05</i>	Bomba desplazamiento positivo diésel	96
21	<i>HYT-B-DPD-06</i>	Bomba desplazamiento positivo diésel	96
22	<i>HYT-B-DPD-07</i>	Bomba desplazamiento positivo diésel	96
23	<i>HYT-B-DPD-08</i>	Bomba desplazamiento positivo diésel	96
24	<i>HYT-DL-SP-01</i>	Sensor Transmisor de presión	84
25	<i>HYT-DL-SP-02</i>	Sensor Transmisor de presión	84
26	<i>HYT-DL-SP-03</i>	Sensor Transmisor de presión	84
27	<i>HYT-DL-SP-04</i>	Sensor Transmisor de presión	84
28	<i>HYT-DL-SP-05</i>	Sensor Transmisor de presión	84
29	<i>HYT-DL-SP-06</i>	Sensor Transmisor de presión	84
30	<i>HYT-DL-SP-07</i>	Sensor Transmisor de presión	84
31	<i>HYT-EHE-COM</i>	Compresor	64

32	HYT-B-DPM-01	Bomba desplazamiento positivo manual	54
33	HYT-B-DPM-02	Bomba desplazamiento positivo manual	54
34	HYT-B-CE-01	Bomba centrífuga eléctrica	54
35	HYT-B-CE-02	Bomba centrífuga eléctrica	54
36	HYT-B-CE-03	Bomba centrífuga eléctrica	54
37	HYT-B-CE-04	Bomba centrífuga eléctrica	54
38	HYT-B-CE-05	Bomba centrífuga eléctrica	54
39	HYT-B-CE-06	Bomba centrífuga eléctrica	54
40	HYT-B-CE-07	Bomba centrífuga eléctrica	54
41	HYT-B-CE-08	Bomba centrífuga eléctrica	54
42	HYT-EHE-MAP	Mangueras Alta Presión	54
43	HYT-PE-D-01	Planta eléctrica diésel	42
44	HYT-PE-D-02	Planta eléctrica diésel	42
45	HYT-B-DPE-01	Bomba desplazamiento positivo eléctrica	36
46	HYT-B-DPE-02	Bomba desplazamiento positivo eléctrica	36
47	HYT-B-DPE-03	Bomba desplazamiento positivo eléctrica	36
48	HYT-EHE-PG	Puente Grúa	24
49	HYT-EHE-JAC	Camión furgón JAC doble cabina	21
50	HYT-B-DPN-02	Bomba desplazamiento positivo neumática	18
51	HYT-B-DPN-03	Bomba desplazamiento positivo neumática	18
52	HTY-BP-PSV1	Banco de prueba válvulas de seguridad	10
53	HTY-BP-PSV2	Banco de prueba válvulas de seguridad	10
54	HYT-EHE-TM	Torquímetro	6
55	HYT-EHE-ESM	Esmeril	6

La matriz de criticidad de los activos queda configurada a partir de los valores mostrados en la tabla anterior, esta se puede observar en la siguiente figura.

Figura 18. Matriz de criticidad Frecuencia vs Consecuencia

4	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100	104	108	112	116	120	124	128	132	136	140	144	148	152	156	160	164	168	172	176	180	184	188	192	196	200
3	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135	138	141	144	147	150
2	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90	92	94	96	98	100
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50

7.3 CONCLUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Después de realizar el proceso de codificación y jerarquización de activos mediante el análisis de criticidad total por riesgos se establecieron el número y las características de los activos que resultan críticos en el desarrollo de los servicios

que ejecuta la empresa a través de estos. La experiencia y conocimiento de los ingenieros de campo y el personal administrativo, generan confiabilidad en los resultados obtenidos. De acuerdo a lo mencionado los equipos con calificación crítica son los siguientes:

- ✓ Bomba hidráulica de desplazamiento positivo con accionamiento neumático.
- ✓ Sensor de temperatura referencia PT 100.
- ✓ Equipo de Adquisición de Datos, Data Logger (Nomenclatura interna HT).
- ✓ Bomba centrífuga radial accionamiento motor diésel.
- ✓ Bomba de desplazamiento positivo de doble pistón accionamiento motor diésel.
- ✓ Transmisor de presión.

Estos equipos serán a los que se les realice el análisis AMFE y en general se les aplique la metodología RCM, con el fin de maximizar su disponibilidad y confiabilidad operativa al momento de entrar en servicio.

Los equipos con calificación medianamente crítica y no crítica no se tendrán en cuenta en la aplicación de la metodología RCM ya que no se hace necesario, puesto que las actividades pre-operacionales comentadas en el capítulo anterior han demostrado ser idóneas y suficientes para asegurar su confiabilidad operativa en servicio.

7.4 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS DENTRO DE SU CONTEXTO OPERACIONAL.

Los activos críticos juegan un papel relevante en la ejecución de los servicios que oferta la empresa. La relevancia se explica a través de varios aspectos que en conjunto conforman un contexto operacional. Los aspectos más preponderantes incluyen, la imposibilidad de llevar a cabo un servicio sin la presencia de uno de estos equipos, es decir, cuando se presenta una falla de estos y no hay

disponibilidad de equipo de respaldo, situación que se presenta a menudo cuando hay sobre demanda de servicios; otros aspectos que los hacen relevantes son la cantidad de veces que entran en servicio o carga de trabajo, su capacidad técnica de diseño, su buen comportamiento operativo en situaciones ambientales extremas, entre otros.

7.4.1 Bomba hidráulica de desplazamiento positivo con accionamiento neumático. Las bombas de desplazamiento positivo hacen parte del sistema de inyección de fluido a alta presión a los sistemas que están sometidos a prueba hidrostática. Esta bomba está compuesta por dos pistones, uno de mayor área llamado pistón neumático y otro de menor área llamado pistón hidráulico. Tiene en la parte superior de su cuerpo un puerto de entrada de aire comprimido y un puerto de salida de este. En la parte inferior tiene un puerto de entrada de fluido y un puerto de salida. La bomba envía paquetes de volumen de fluido a alta presión a través del movimiento del pistón neumático quien es accionado por el aire presurizado que entra al sistema. Al tener un área mayor que el pistón hidráulico la presión que se genera en la superficie del pistón neumático vence la resistencia que opone y se produce el movimiento descendente de ambos hasta llegar al final de carrera. Es allí donde se genera la reducción de volumen y por lo tanto el volumen de fluido presurizado que se expulsa por el puerto de salida de fluido, el cual tiene una válvula antirretorno para evitar contra flujo. Los pistones vuelven a su posición inicial cuando la válvula de alivio pilotada de la cámara de aire se acciona por medio de un resorte y despresuriza la cámara neumática.

Para cumplir con el desarrollo de los servicios en los tiempos establecidos, de manera eficiente, esta bomba tiene una configuración de dos pistones que tienen el mismo principio de funcionamiento que se explicó antes. La diferencia está en que uno tiene menor capacidad de inyección de presión hidráulica que el otro. El primero tiene capacidad hasta de 500 psig de presión (baja) y salida de alto caudal; el segundo tiene capacidad nominal de hasta 15.000 psig y salida de bajo caudal.

El proceso operativo de esta bomba consiste en los siguiente; primero se acciona el pistón de baja presión y alto caudal hasta que la presión del sistema llega a los 500 psig o a un valor cercano. Luego de esto se acciona el segundo pistón, de alta presión y bajo caudal y paulatinamente se deja de operar el primer pistón, de esta forma se logra presurizar el sistema hasta la magnitud de presión requerida.

Esta bomba es utilizada en servicios en los cuales la presión de prueba equivale a valores entre 3.000 psig y 12.000 psig. Su importancia en el desarrollo de servicios se produce al ser el único equipo que tiene la capacidad de cumplir estos requerimientos técnicos lo cual significa que no hay función de respaldo ante una eventual falla. El fluido utilizado para desarrollar la totalidad de las pruebas en las que es participe este equipo es agua. Generalmente los lugares en donde opera está bomba presentan condiciones de alta temperatura y humedad.

Figura 19. Bomba hidráulica de desplazamiento positivo con accionamiento neumático



Los Componentes de la bomba hidráulica de desplazamiento positivo con accionamiento neumático son los siguientes:

7.4.1.1 Bomba hidroneumática de baja presión y alto caudal. Realiza la fase inicial del proceso de presurización del sistema. Al ser de alto caudal realiza la fase inicial de presurización en menor tiempo, ya que ayuda a llenar del medio de prueba el recipiente. El proceso de presurización en variadas ocasiones presenta demoras en su fase inicial, esto generalmente ocurre porque el sistema sometido a prueba no está completamente lleno del medio prueba, que generalmente es agua. Al ser el agua un fluido incompresible el sistema no empezara a presurizarse hasta que no esté totalmente lleno. Por esta razón se usa la bomba que tiene la capacidad de enviar más caudal de salida para la fase inicial de presurización.

Figura 20. Bomba hidroneumática baja presión



7.4.1.2 Bomba hidroneumática de Alta presión y bajo caudal. Es la encargada de llevar los sistemas hasta su presión de prueba. Su capacidad nominal de presión hidráulica es de 15.000 psig.

Figura 21. Bomba hidroneumática alta presión bajo

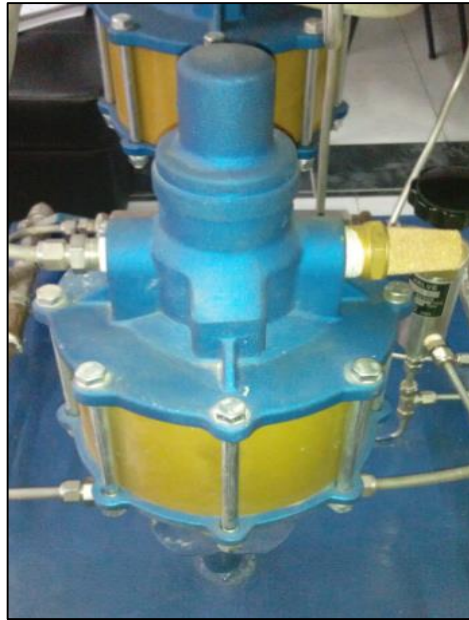
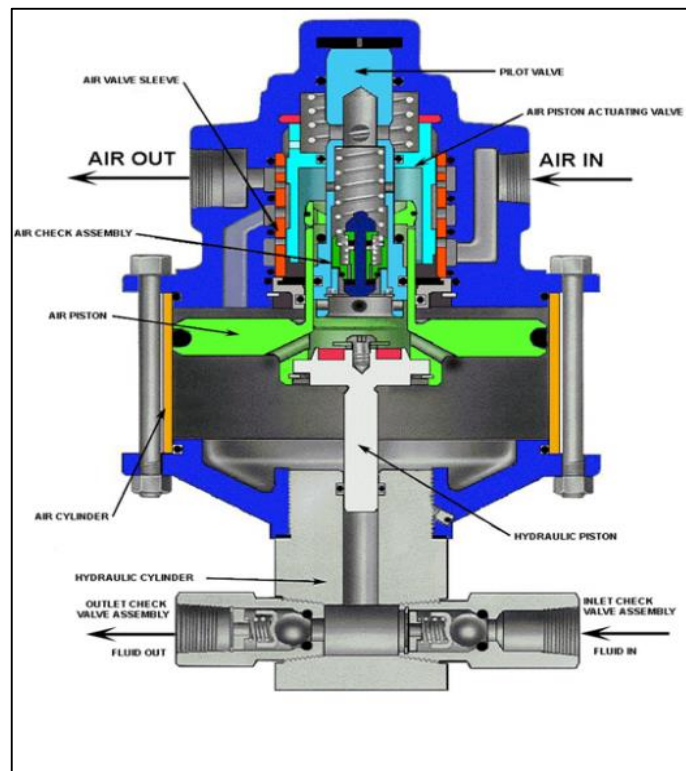


Figura 22. Vista sección transversal del cuerpo de la bomba



Fuente: Hydrostatic Testing S.A.S

7.4.1.3 Unidad de mantenimiento FRL (Filtro Regulador Lubricador). Esta unidad está ubicada a la entrada del aire comprimido al equipo. La unidad está conformada por un filtro que es el encargado de impedir el paso de material particulado que está presente en el aire comprimido que produce el accionamiento del mecanismo de bombeo.

El regulador es el encargado de reducir el valor de presión de entrada del aire a los valores requeridos. Para este caso específico la presión de trabajo de la línea neumática es de 120 psig.

El lubricador es necesario en este caso, ya que el mecanismo de la bomba no es auto lubricante. Se encarga de lubricar el sistema por donde transita el aire comprimido.

Figura 23. Unidad de mantenimiento FRL



7.4.1.4 Tanque hidráulico. La función natural de un tanque hidráulico es contener o almacenar fluido de un sistema hidráulico. El tanque contiene una línea de succión que la que alimenta a las bombas hidroneumáticas, la sección se genera a través de una válvula anti retorno que crea un diferencial de presión en la línea de tanque generando la succión del fluido. También tiene una línea de retorno a tanque, que es la línea de alivio del sistema. Cuando culmina la intervención operativa de la

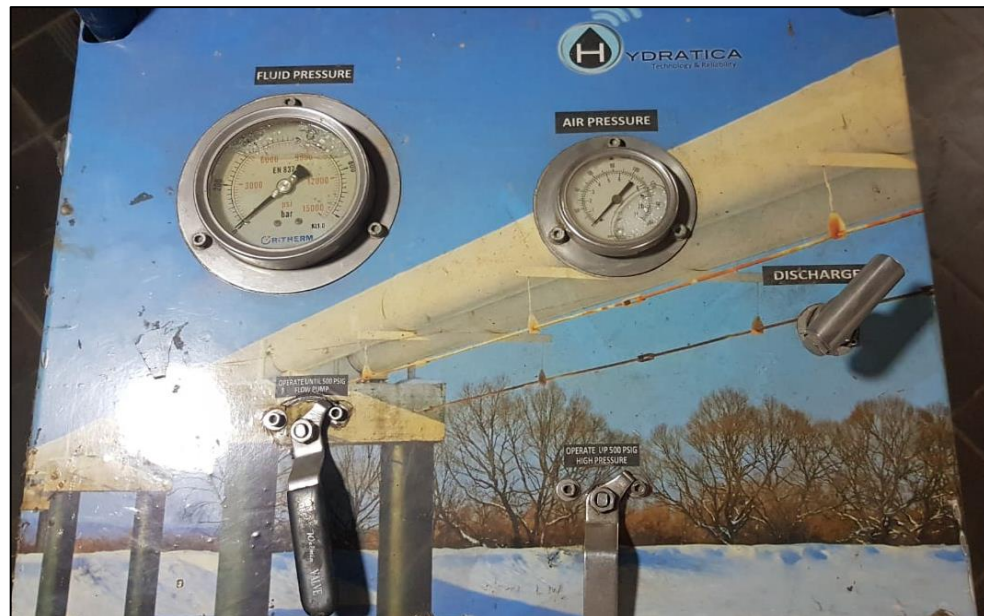
bomba, el sistema queda presurizado, para aliviarlo se abre una válvula de aguja que conecta el sistema a tanque provocando se despresurización. El tanque también cuenta con un tapón de drenaje, un medidor de nivel de fluido y temperatura de fluido y un tapón para llenado.

Figura 24. Tanque de almacenamiento de fluidos para alimentación y despresurización del sistema



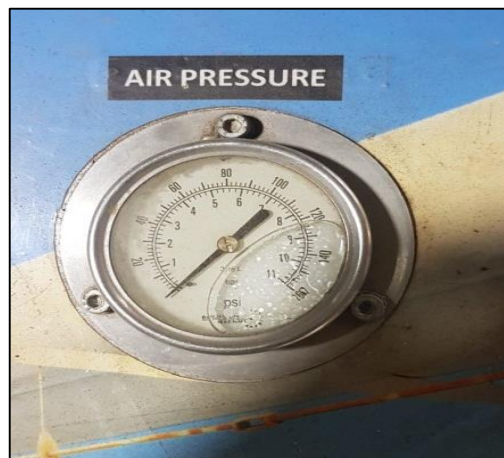
7.4.1.5 Panel de mando. Este panel está ubicado en la parte superior de la bomba. Desde allí podemos operar el equipo y controlar la presión neumática e hidráulica del sistema. Está conformada por tres perillas de las cuales, una cumple la función de abrir o cerrar una válvula de aguja para permitir o impedir el paso del aire comprimido al puerto de entrada de la bomba de baja presión. La siguiente perilla cumple la misma función que la anterior pero está conectada a línea de alimentación neumática de la bomba de alta presión. La última perilla es la encargada de abrir o cerrar la válvula de aguja que conecta la línea hidráulica de alta presión a tanque. Además de esto contiene dos manómetros que muestran la presión de la línea de entrada de aire comprimido y la presión de la línea de descarga de fluido a alta presión.

Figura 25. Panel de mando de la bomba



7.4.1.6 Manómetro línea neumática. Este manómetro está ubicado en el panel de mando del sistema. Es el encargado de mostrar la presión de la línea neumática. Su rango de medición es de 0-160 psig.

Figura 26. Manómetro línea de entrada de aire comprimido



7.4.1.7 Manómetro línea hidráulica de alta presión. Este manómetro está ubicado en el panel superior de mando del sistema. Es el encargado de medir la presión de la línea de salida de fluido a alta presión. Su rango es de 0-15.000 psig.

Figura 27. Manómetro de línea salida bomba alta presión



7.4.2 Sensor de temperatura. Este sensor de temperatura PT100 o termo resistencia PT100, tiene un principio de funcionamiento el cual consiste en convertir la magnitud de la temperatura medida en una señal de resistencia eléctrica. El valor de resistencia inicial para una temperatura de cero grados Celsius (0°C) es de cien ohmios ($100\ \Omega$), a medida que se produce un incremento en la temperatura del medio, el valor de la resistencia aumenta. Este sensor mide la variación de la temperatura a través de un cable de platino, que entra en contacto con el sistema por medio de un bulbo de acero inoxidable. El bulbo mide seis pulgadas de longitud y la temperatura que emite como medida es la promedio a lo largo de su longitud. En el extremo opuesto al bulbo se encuentra ubicado el terminal eléctrico de los cables, el cual está introducido en una caja redonda que lo protege.

Este sensor es pieza fundamental en la ejecución y desarrollo de pruebas hidrostáticas, hace parte del sistema de medición y registro de variables de prueba. Entra en contacto directo con el sistema intervenido a través del manifold de prueba. Como se ha mencionado anteriormente el medio de prueba siempre es agua. Su rango de medición va desde cero grados Celsius (0°C) hasta trescientos cincuenta grados Celsius (350°C). El rango de temperatura de fluido de prueba promedio, medido en pruebas ejecutadas en lugares ubicados al nivel del mar va desde treinta

grados Celsius (30°C) a cuarenta grados Celsius (40°C), medidas de temperatura que están dentro del rango de medición del equipo.

Figura 28. Sensor de temperatura PT100



Fuente: Hydrostatic Testing S.A.S

7.4.3 Equipo de adquisición y registro de datos HT. Este equipo tiene patente ante la Superintendencia de Industria y Comercio y patente PCT (Patent Cooperation Treaty). Por ello la información acerca de los componentes y el funcionamiento interno de este es confidencial de Hydrostatic Testing S.A.S.

Dentro del desarrollo de los servicios que ofrece la empresa, este equipo es el encargado de adquirir, registrar y graficar en tiempo real la información de las variables analizadas (Presión, Temperatura de fluido y Temperatura ambiental) en la prueba hidrostática.

Figura 29. Equipo HT data logger



7.4.4 Bomba centrífuga radial accionada por motor de combustión interna diésel. La bomba centrífuga diésel hace parte del sistema de llenado de equipos sometidos a prueba. Las bombas centrífugas son las encargadas de mover un volumen de fluido de un nivel generalmente inferior a otro nivel generalmente superior. Su principio de funcionamiento se basa en transformar un trabajo mecánico realizado por el motor y el eje para generar el movimiento rotativo del rodete, en un trabajo hidráulico que el rodete le transmite al fluido que entra en contacto con él.

Su accionamiento se realiza por medio de un motor de combustión interna diésel mono cilíndrico, pistón vertical, cuatro tiempos, refrigerado por aire, de inyección directa y velocidad nominal de 3600 rpm. El cuerpo de la bomba e impulsor son de hierro fundido, capacidad de hasta 110 metros de columna de agua, caudal máximo de 100 galones por minuto.

La bomba centrífuga diésel juega un papel relevante en la ejecución de pruebas hidrostáticas cuando estas son realizadas a sistemas que conforman un volumen grande; por ejemplo un tramo de tubería de 24 pulgadas de diámetro y 3.000 metros de longitud, para este caso en particular el volumen a ocupar por el medio de prueba equivale a 875,6 metros cúbicos o 875.590,5 litros. Para este caso puntual de servicio se dispuso de dos bombas centrífugas diésel en serie en un punto de conexión a la tubería y otra igual estas en otro punto de conexión. El tiempo de llenado fue equivalente a 8 horas. Sin este tipo de bombas de gran capacidad de caudal y altura de cabeza máxima el tiempo de llenado sería de días. Aparte de ello tiene función de respaldo reducida.

Su contexto operacional generalmente se da en condiciones de alta temperatura y humedad, en terrenos inestables (lodo, barro), el agua de alimentación generalmente contiene partículas sólidas (piedras, material aglomerado) que si entraran en contacto con el impulsor o la voluta generarían un gran daño a su

cuerpo, por ello en la línea de succión se instala una válvula de pie, que cumple con la labor de filtro y aumenta la succión de la línea. La bomba está instalada sobre una estructura metálica que a su vez está soportada por unas llantas macizas que facilitan su traslado. En las siguientes imágenes podemos observar la bomba centrífuga diésel y sus principales componentes.

Figura 30. Bomba centrífuga diésel



7.4.5 Bomba de desplazamiento positivo diésel. Las bombas de desplazamiento positivo hacen parte del sistema de inyección de fluido a alta presión a los sistemas que están sometidos a prueba hidrostática. Se utiliza en servicios donde la presión de prueba está en un rango de 1.000 psig a 3.000 psig. La bomba tiene una capacidad nominal de presión hidráulica de 3.600 psig. Su principio de funcionamiento de basa en enviar paquetes de fluido a alta presión al ocurrir una reducción de la cavidad en la que este se encuentra. El mecanismo de bombeo consta de dos pistones ubicados horizontalmente, que se mueven linealmente a través de la camisa del pistón generando la reducción del volumen que expulsa el fluido a alta presión. El movimiento lineal de los pistones es generado por un cigüeñal y un mecanismo biela- manivela. La unión del eje de salida del motor y el cigüeñal se hace a través de un sello mecánico conformado por un rodamiento de rodillos cónico, o ring y anillos y la cubierta del rodamiento. La transmisión de potencia entre el eje de salida del motor y el cigüeñal se realiza por medio de una chaveta.

Este equipo es participe de más del 80% de las pruebas hidrostáticas que ejecuta la empresa. Aunque cuenta con una gran función de respaldo (8 equipos) generalmente en el cuarto de herramientas y equipos se encuentra una o máximo dos bombas disponibles, las otras seis están o reparándose o en servicio. La gran cantidad de servicios en los que participa este equipo se debe a que el requerimiento técnico de presión de prueba de un gran número de estos se encuentra en el rango operativo de presión de la bomba. También presenta ventajas al momento de operarla, cuenta con encendido eléctrico y manual, tiene una válvula de seguridad en el manifold de la bomba para aliviar el sistema ante una posible sobre presión. El equipo está apoyado sobre una estructura metálica que está soportada sobre cuatro ruedas que facilitan su traslado.

La bomba generalmente opera en ambientes que presentan condiciones de alta temperatura y humedad, es alimentada por una bomba centrífuga de accionamiento eléctrico que se conecta por medio de una manguera de baja presión al puerto de alimentación de la bomba. El puerto de salida está conectado al manifold de prueba por medio de una manguera de alta presión, en las juntas realizadas en el puerto de salida de alta presión se usa por seguridad guayas anti látigo que previenen o disminuyen la probabilidad de un accidente ante un posible desacople. En la siguiente imagen podemos observar la bomba de desplazamiento positivo diésel.

Figura 31. Bomba de desplazamiento positivo diésel



7.4.6 Transmisor de presión. Los transmisores de presión son los encargados de convertir la magnitud de la presión que experimenta el sistema a prueba en una señal eléctrica, que al ser enviada al equipo registrador de datos aumenta o disminuye la resistencia eléctrica y transforma esta señal resistiva en un dato analógico de valor de presión en escala psig.

Este transmisor de presión está conformado por una caja o contenedor de acero, facilidad roscada de ¼ NPT (M) para ser acoplado al manifold de prueba y un conector tipo “pipa” que facilita la conexión del transmisor al cable de transporte de datos. Emite un rango de señal de salida estándar que va de 4 a 20 miliamperios (mA), su capacidad máxima de presión es de 400 Bar que equivale aproximadamente a 5.800 psig.

El transmisor de presión juega un papel relevante en el desarrollo de pruebas hidrostáticas ya que es el encargado de mostrar el comportamiento de la variable presión del sistema a prueba, a través de la conversión de la presión del sistema censada en una señal eléctrica. Debido a lo importante que es tener un control claro y exacto de la variable presión del sistema, este transmisor de presión es calibrado por la ONAC en periodos máximos de 6 meses. El contexto operacional del transmisor de presión es el mismo explicado para el sensor de temperatura. En la siguiente imagen podemos observar el transmisor de presión y sus componentes

Figura 32. Trasmisor de presión



Fuente: Hydrostatic Testing S.A.S

8. MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM II) APLICADO A LOS ACTIVOS CRÍTICOS DE HYDRATICA.

Después de haber realizado el proceso de codificación de los activos físicos de la empresa y hacer el análisis de criticidad de estos, el siguiente paso a realizar en el proceso de optimización de la estrategia de mantenimiento de la empresa, consiste en aplicar el sustento teórico del mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II a los activos mencionados en el capítulo anterior. Para ello se debe realizar en conjunto con los grupos involucrados en el desarrollo de la gestión de mantenimiento un análisis de los modos y efectos de falla (AMFE) que permita establecer los eventos o situaciones que al presentarse impiden que estos activos cumplan con sus funciones dentro del contexto operacional y a partir de ello establecer un plan de acción que esté enfocado en reducir a la mínima expresión la ocurrencia de estos eventos, conocidos como estado de falla o falla funcional.

8.1 ANÁLISIS DE LOS MODOS YG EFECTOS DE FALLA

Este análisis se realiza con el propósito de establecer la función principal, las fallas funcionales y los modos y efectos de estas, para cada uno de los activos críticos y a partir de esto elaborar la hoja de información del RCM II. Un paso importante previo a realizar el análisis y la elaboración de la hoja de información es establecer los sistemas y subsistemas a analizar.

8.1.1 Sistemas y subsistemas. Para la ejecución de pruebas hidrostáticas se debe conformar los siguientes sistemas:

8.1.1.1 Sistema de llenado. Este sistema desarrolla su actividad en la fase inicial de la prueba hidrostática, en el encargado como su nombre lo indica de llenar el equipo

del medio de prueba con el que se va a realizar el servicio. Los equipos que lo conforman son los siguientes.

- Bomba centrífuga diésel.
- Manguera línea de succión.
- Válvula de pie, en línea de succión.
- Manguera línea de descarga.
- Manifold en línea de descarga compuesto por válvula antirretorno, derivación aguas arriba a través de conexión T para línea bypass, controlada por válvula de bola.
- Tanque de suministro de fluido a la bomba.

8.1.1.2 Sistema de presurización. Este sistema es el encargado de enviar paquetes de fluido a alta presión al sistema en prueba, una vez este esté lleno del medio de prueba. Está conformado por los siguientes equipos.

- Bomba de desplazamiento positivo (Diésel, Neumática, eléctrica, manual).
- Bomba centrífuga eléctrica.
- Manguera baja presión, línea descarga bomba centrífuga eléctrica y línea de alimentación bomba desplazamiento positivo.
- Manguera baja presión línea succión bomba centrífuga diésel.
- Válvula de pie, línea succión bomba centrífuga diésel.
- Manguera alta presión línea de descarga bomba desplazamiento positivo.
- Manifold en línea de descarga conformado por línea de derivación by pass controlada por válvula de aguja, línea de alta presión que contiene válvula de bola, válvula antirretorno, sensor de temperatura PT100, transmisor de presión, válvula de seguridad y válvula de alivio.
- Guaya anti látigo en acople manguera alta presión-manifold de prueba.

8.1.1.3 Sistema de adquisición y registro de datos. Este sistema es el encargado de realizar la adquisición y registro de datos, además de ello permite visualizar gráficamente el comportamiento de las variables analizadas y tener un control sobre ellas. Está conformado por los siguientes subsistemas.


- Equipo de adquisición y registro de datos HT.
- Sensor de temperatura PT100 acoplado al manifold de prueba.
- Transmisor de presión acoplado al manifold de prueba.
- Cable de datos, que conecta los sensores de presión y temperatura con el equipo HT.
- Computador portátil.
- Sistema de alimentación ininterrumpida UPS.

8.1.2 Elaboración de la hoja de información del RCM II para equipos críticos.

La hoja de información del RCM II contiene el análisis de los modos y efectos de falla de los activos críticos. Este formato es uno de los dos documentos más importantes que derivan de la aplicación del proceso RCM, por ello en la elaboración de este deben estar involucradas las personas que más conocimiento tienen sobre los activos. De acuerdo a lo anterior para el caso específico de la elaboración de este documento en Hydratica participaron los ingenieros de campo que más tiempo llevan trabajando en la empresa, el departamento comercial y administrativo y se consultó e hizo partícipe de esto al personal del taller de confianza en donde se hacen las reparaciones de los equipos. Adicional a esto, los manuales de operación y funcionamiento aportaron información importante para la realización de este documento.

En la siguiente imagen podemos observar el documento hoja de información para una bomba centrífuga diésel.

Tabla 6. Hoja de información RCM II de una bomba centrífuga diésel

	HOJA DE INFORMACIÓN DEL RCM				
	SISTEMA Sistema de llenado	SISTEMA N° 1	Facilitador: Andrés Ariza	Fecha :	Hoja N° 1 De 2
EQUIPO Bomba centrífuga Diésel	TAG SUBSISTEMA HYT-B-CD-01	Auditor: Ing. Carlos Merchán	Fecha :		
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA		
Bombear agua al equipo o sistema sometido a prueba hidrostática hasta ocupar la totalidad de su volumen a una razón mínima de descarga de 40 gpm.	<p>A. Incapaz de bombear agua.</p> <p>B. Razón de descarga de fluido menor a 40 gpm.</p>	<p>1. El motor no enciende.</p> <p>2. Funcionamiento en seco</p> <p>3. Impulsor obstruido</p> <p>1. Perdida de contención de fluido.</p> <p>2. Impulsor desgastado.</p> <p>3. Anillo de desgaste averiado.</p> <p>1. 4. Rodamiento agarrotado</p>	<p>El motor de combustión interna diésel se analiza por separado.</p> <p>Línea de succión obstruida, revisar y limpiar válvula de pie y filtro.</p> <p>Ruido excesivo y anormal al momento de encender la bomba, desmontar impulsor, limpiar su superficie y volver a montarlo, revisar presencia de objetos solidos entre el impulsor y la voluta.</p> <p>La bomba presenta excesiva vibración cuando opera, los empaques y sellos deben ser inspeccionados, si presentan deformaciones o mal estado superficial deben ser cambiados.</p> <p>Baja descarga de fluido en puerto de salida.</p> <p>Desmontar impulsor y cambiarlo.</p> <p>Ruido y vibración excesivo al momento de operar la bomba, anillo de desgaste cumple su ciclo de vida y se empieza a generar contacto entre elementos estático y dinámicos de la bomba, desmontar y cambiar.</p> <p>Funcionamiento de la bomba a baja revolución, revisar estado de sello mecánico desmontando su parte dinámica (rodamiento) y su parte estática (o rings, anillos) limpiar y cambiar piezas en mal estado.</p>		

Como podemos observar en la figura, La hoja de información de la bomba centrífuga diésel, analiza los modos y efectos de falla que se presentan en este activo. El motor de combustión interna diésel es el subconjunto del equipo que más fallas funcionales presenta por ello tiene bastantes modos y efectos de falla. Por ello el motor se analiza por separado, esto se hace siguiendo la recomendación de John Moubray en su libro Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II, en la página 92, capítulo nivel de análisis. Allí el autor expresa lo siguiente “listar la falla del

subconjunto como un modo de falla simple en la hoja de información para empezar, luego confeccionar una nueva hoja de información para analizar las funciones, fallas funcionales, modos de falla y efectos del subconjunto como un ejercicio por separado”.

Tabla 7. Hoja de información subconjunto motor diésel

	HOJA DE INFORMACIÓN DEL RCM				
	SISTEMA Sistema de llenado	SISTEMA N°2	Facilitador: Andrés Ariza	Fecha :	Hoja N°2 de 2
EQUIPO Bomba centrífuga Diesel	SUBCONJUNTO Motor diésel	TAG SUBSISTEMA A HYT-B-CD-01	Auditor: Ing. Carlos Merchán	Fecha :	
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA		
Transmitir hasta 10 HP de potencia a 3600 rpm al eje de la bomba centrífuga.	<p>A. Incapaz de transmitir potencia</p> <p>B. Transmite baja potencia a bajas revoluciones.</p>	<p>1. Arranque manual averiado</p> <p>2. Combustión incompleta.</p> <p>3. Presencia de aire o agua en el tanque de combustible.</p> <p>1. Bomba de distribución de combustible con bajo desempeño operativo.</p> <p>2. Filtro de aire sucio.</p> <p>3. filtro de combustible obstruido.</p> <p>4. Motor desacelerado.</p>	<p>No se puede encender el motor. motor trabajando a baja revolución, revisar sistema de combustible, sistemas de entrada de aire para combustión. estado de inyectores y anillos de pistón.</p> <p>Dificultad al encender el motor, se enciende y se apaga en cualquier momento.</p> <p>Al momento de operar el motor se ahoga, da la sensación que se va apagar, gases de combustión de color negro. Desmonte la bomba de combustible, verifique el estado de sus componentes internos, si alguno está averiado reemplacelo.</p> <p>Gases de combustión de color negro, baja eficiencia de combustión.</p> <p>Baja eficiencia en la combustión, gases de escape color oscuro.</p> <p>Motor trabaja a bajas revoluciones por minuto. Verificar si el sistema está acelerado. La palanca de aceleración debe estar en posición de arranque. mueva la palanca de descompresión hacia abajo. encienda el motor.</p>		

La hojas de información mostradas contienen las fallas funcionales más conocidas por los ingenieros de campos y las que se presentan habitualmente en los equipos, no obstante, estos documentos pueden ser complementados con nuevas fallas funcionales que se presenten en los servicios futuros, de esta forma se logrará abarcar la totalidad de las posibles fallas y se podrá tomar un plan de acción para reducir la probabilidad de que se produzcan. En el anexo F podremos observar las hojas de información de los activos críticos.

8.2 HOJA DE DECISIÓN DEL RCM

Este es el segundo documento que deriva de la aplicación de la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II. Este documento es un complemento de la hoja de información del RCM, en él se plantean el tipo de tarea de mantenimiento a realizar para cada modo de falla de una falla funcional. También se establece la frecuencia de ejecución de la tarea y el personal encargado de realizarla.

Para elaborar la hoja de decisión del RCM se sigue el procedimiento que se establece en el diagrama de decisión del RCM II mostrado en el marco teórico. En la hoja de decisión se citan la falla funcional y el modo de falla por medio de los numerales que se les adjudicó en la hoja de información. La divulgación de este formato al personal que va a desarrollar las actividades de mantenimiento, y en general a todas las personas que están involucradas en la optimización de la gestión del mantenimiento será clave para lograr los objetivos planteados.

En la siguiente figura se muestra la hoja de decisión para el equipo bomba centrífuga diésel, en él se puede observar las letras H, S, E y O. Estas hacen referencia a la consecuencia del modo de falla. La letra H hace referencia a consecuencia de falla oculta, la letra S a consecuencias para la seguridad, E consecuencias ambientales y la letra O hace referencia a fallas con consecuencias

operacionales. Estas mismas letras aparecen en la columna siguiente con un sub índice del 1 al 5, estos indican la tarea o acción a tomar para minimizar la probabilidad de ocurrencia de la falla.

Tabla 8. Hoja de decisión RDM II de bomba centrífuga diésel

		HOJA DE DECISIÓN DEL RCM															
		SISTEMA Sistema de llenado						SISTEMA N° 1			Facilitador Andrés Ariza		Fecha		Hoja N°1 de 2		
		EQUIPO Bomba centrífuga diésel						TAG EQUIPO HYT-B-CD-01			Auditor Ing. Carlos Merchán		Fecha				
Referencia de información		Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de			TAREA PROPUESTA		INTERVALO INICIAL		PERSONAL ENCARGADO	
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4					
1	A	1	S	N	N	S							Referenciado página N°2				
1	A	2	S	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Desmontar tapa filtro de válvula de pie, realizar limpieza a la malla del filtro. Retirar resorte y inspeccionar visualmente la condición superficial y su estado operativo comprimiendolo. Retira empaque tipo o ring, revisar que no esté deformado, si este es el caso se debe remplazar.		MENSUAL TÉCNICO DE CAMPO		
1	A	3	S	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Desmontar impulsor, realizar limpieza de la parte interior de la voluta y a la superficie del impulsor. Asegurarse que no haya presencia de partículas sólidas en la voluta al momento de montar el impulsor.		MENSUAL TÉCNICO DE CAMPO		
1	B	1	N	N	N	N	N	N	N	S	N	N	Desmontar sello mecánico, retirar los empaques blandos. Realizar inspección visual del estado superficial de los empaque blandos. Según		TRIMES TÉCNICO DE CAMPO		

														sea su condición cambiar o realizar limpieza y lubricación. Verificar estado de la junta entre el cuerpo de la bomba y el cuerpo del motor.	T R A L	
1	B	2	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	N	Desmontar impulsor y remplazarlo por uno nuevo.	A N U A L	TÉCNICO DE CAMPO/OUTS OURCING
1	B	3	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	N	Desmontar anillo de compresión del sello mecánico, remplazarlo por uno nuevo.	S E M E S T R A L	TÉCNICO DE CAMPO/OUTS OURCING
1	B	4	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	N	Cambiar rodamiento del sello mecánico.	A N U A L	TÉCNICO DE CAMPO/OUTS OURCING

La totalidad de las hojas de decisión de los equipos críticos, se pueden observar en el anexo G.

9. PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE HYDRATICA.

El plan de mantenimiento se desarrolla una vez se han completado los procedimientos establecidos para implementar la metodología RCM. Este cumple la tarea de agrupar la información establecida en la hoja de información y la hoja de decisión de acuerdo al criterio de tareas programas y el intervalo o frecuencia de ejecución de estas, todo ello buscando facilitar el entendimiento y secuencia de ejecución de estas por parte del personal a cargo. De acuerdo con lo planteado por John Moubray en el libro Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II un plan de mantenimiento se puede agrupar de dos formas:

- Los procedimientos de mantenimiento de alta frecuencia que serán hechos por los operadores pueden incorporarse directamente a los procedimientos operativos del equipo.
- El resto de las rutinas de mantenimiento son agrupadas en planes y listados por separado.


9.1 FORMATOS PREOPERACIONALES COMO LISTAS DE CHEQUEO

Como se mencionó en el capítulo diagnóstico de la gestión del mantenimiento, en la empresa se desarrollan actividades preoperacionales que buscan conocer el estado o condición operativa de los equipos que van a ser puestos en servicio. En el contexto del mantenimiento los preoperacionales son considerados actividades preventivas porque su ejecución busca prevenir fallas funcionales de los equipos cuando estos estén operando en el desarrollo de un servicio; por otro lado las actividades preoperacionales en su desarrollo incluyen actividades de mantenimiento correctivo, el cual sucede cuando se encuentra una parte o pieza del equipo en mal estado y se reemplaza. Estas actividades se han desarrollado a lo

largo del tiempo en que la empresa ha ofertado y ejecutado sus servicios. No obstante esta actividad no tiene establecido un procedimiento que establezca las actividades que se realizan en ella, tampoco tiene un formato que registre datos de la ejecución de esta, como puede ser fecha, persona que la ejecuta u observaciones del actividad.

Las actividades preoperacionales no tienen establecida una frecuencia fija de ejecución, los intervalos de tiempo entre cada actividad preoperacional para un equipo puede variar entre días o semanas depende de la cantidad de servicios que se ejecuten, sin embargo, estas actividades requieren de un control y registro a través de un formato lista de chequeo, que establezca actividades preventivas y permita el registro de actividades correctivas a modo de observación. El registro de las actividades preoperacionales generaran un gran aporte de información de las actividades de mantenimiento ejecutadas a los equipos críticas, que permitirá establecer indicadores de gestión del mantenimiento referentes a costos y actividades ejecutadas. En la siguiente figura podemos observar el formato preoperacional para la bomba centrífuga diésel.

Tabla 9. Formato preoperacional bomba de centrífuga diésel.

		PREOPERACIONAL DE COMPONENTE			
		ELABORADO O	02/05/2018	Versión: 1	
FECHA	HORA	LUGAR			
PROYECTO		CLIENTE			
NOMBRE DEL EJECUTOR		CARGO			
COMPONENTE	Bomba Diésel - Centrífuga			TAG	
EQUIPO DE SEGURIDAD OBLIGATORIO		ESTADO			
		Buen estado	Mal estado	Regular estado	No aplica
		✓	✗	R	N/A
N°	ACTIVIDAD	ESTADO	OBSERVACIONES		

1	Revisar el nivel aceite de la máquina		
2	Realizar inspección visual de componentes externos (llantas, estructura, componentes propios de la bomba)		
3	Revisar el nivel de combustible, de ser necesario suministrar la cantidad necesaria para el encendido (menos de 1/2 tanque)		
4	Verificar que no se presenten fugas de aceite ni combustible.		
5	Instalar accesorios 2" para el acople de las mangueras (Acoples rápidos, cheque, tee, tapón)		
6	Inspección visual e instalación de mangueras de succión y descarga (Se debe realizar inspección detallada a los acoples de las mangueras)		
7	Verificar el suministro de agua a la bomba (llenar la cámara por la parte superior hasta llenarla totalmente, esta tarea se realiza con la máquina apagada)		
8	Encender la máquina y verificar el flujo de descarga, mantener la máquina encendida durante 1 minuto y apagarla.		
OBSERVACIONES O COMENTARIOS			
EJECUTOR		MAINTENANCE LEADER	
FIRMA		FIRMA	


9.2 FORMATO PLAN DE MANTENIMIENTO EQUIPOS CRÍTICOS

En este formato se listan las actividades establecidas en la hoja de decisión las cuales tienen intervalos de tiempo de ejecución mayor. La descripción de la tarea a

realizar contiene términos técnicos que hace necesario que la persona que esté encargada del desarrollo de la tarea tenga conocimientos sobre estos. Por ello es de gran importancia seleccionar personal capacitado técnicamente y que tenga conocimientos teóricos acerca del funcionamiento de los equipos, todo esto facilitará lograr un desarrollo idóneo de la tarea propuesta.

Para este caso las tareas propuestas estarán a cargo de los técnicos de campo, los cuales tienen conocimientos en áreas eléctricas y mecánicas, además de ello estas personas hacen parte del equipo que ejecuta las pruebas hidrostáticas y los demás servicios, lo que supone que conocen el contexto operacional de los activos analizados. El anexo H muestra los planes de mantenimiento estándar para los equipos críticos.

Tabla 10. Formato de mantenimiento estándar para una bomba centrífuga diésel

	PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO ESTÁNDAR	
	GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO	Versión: 1
BOMBA CENTRÍFUGA DIÉSEL		
INTERVALO	TAG	
MENSUAL	REALIZADO POR	
	TÉCNICO DE CAMPO	
<p>1. Desmontar válvula de pie de la línea de succión, retirar la canastilla o filtro retirando la tuerca y el tornillo que las sujetan al cuerpo de la válvula, inspeccionar estado de malla, limpiar.</p> <p>2. Desmontar Resorte, vástago y tapón retirando tuerca de seguro, realizar inspección y limpieza.</p> <p>3. Retirar O ring incrustado en el plato o tapón de la válvula. Verificar condición superficial del o ring. Ante cualquier deformación o picadura en su superficie que reduzca la calidad del sello, se debe reemplazar por uno nuevo.</p>		
INTERVALO		
INTERVALO	REALIZADO POR	
MENSUAL	TÉCNICO DE CAMPO	
<p>1. realizar desacople de tapa de la bomba donde se encuentra ubicado el puerto de succión, retirando los pernos con llave mixta.</p> <p>2. Retirar perno de ajuste del impulsor. Llave mixta y destornillador.</p> <p>3. Retirar impulsor y realizar inspección de la superficie de los alabes al detalle, verificando si hay presencia de desgaste por abrasión, corrosión o si hay daños en la integridad del impulsor por cavitación. Si se presenta abrasión o corrosión que disminuya notablemente la calidad y forma de la superficie de los alabes, el impulsor debe ser reemplazado.</p> <p>4. De lo contrario realizar limpieza de impulsor con grata industrial, luego aplicar anticorrosivo a impulsor y tornillos. Montar nuevamente.</p>		

INTERVALO	REALIZADO POR
TRIMESTRAL	TÉCNICO DE CAMPO
1. Desmontar sello mecánico del eje del impulsor. 2. Realizar limpieza general de cada una de las partes del sello, con trapo industrial y desengrasante, removiendo residuos o material particulado presente en las superficies de este. 3. Verificar el estado de empaques blandos, asegurándose de que no se hayan deformado plásticamente. Cambiar empaque en mal estado. 4. Montar Sello mecánico asegurándose el correcto orden de ubicación de sus piezas.	
INTERVALO	REALIZADO POR
ANUAL	TÉCNICO DE CAMPO
1. Retirar tapa de cuerpo de la bomba en donde se encuentra ubicado el puerto de succión, soltando los pernos que realizan el acople. 2. Retirar pin de ajuste del impulsor. Desmontar impulsor. Cambiarlo por uno nuevo. 3. Montar impulsor nuevo. Ajustarlo con el pin de ajuste. Montar tapa de cuerpo de bomba.	
INTERVALO	REALIZADO POR
SEMESTRAL	TÉCNICO DE CAMPO
1. Retirar anillo de desgaste, reemplazarlo por uno nuevo.	
INTERVALO	REALIZADO POR
ANUAL	TÉCNICO DE CAMPO
1. Cambiar rodamiento de sello mecánico entre acople eje de la bomba y eje de motor.	

9.3 SISTEMA DE INFORMACIÓN DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO.

El proceso de optimización de la estrategia de mantenimiento de la empresa Hydratica, finaliza con la implementación de un software de mantenimiento, que agrupe toda la información establecida en el proceso de implementación de la metodología RCM y permita el registro fácil y confiable de las acciones y actividades futuras de mantenimiento.

9.3.1 Ventajas que proporciona un software de mantenimiento. La implementación de un software computacional como base de información y datos de la gestión del mantenimiento genera grandes ventajas entre las cuales se destacan las siguientes:

- Reducción de costos de reparación de equipos al reducir las actividades de mantenimiento correctivo, lo cual se genera por llevar un control de actividades

de mantenimiento con fechas establecidas de ejecución, que conlleva a minimizar la probabilidad de fallos imprevistos en los equipos mantenidos.

- Aumento de la confiabilidad operativa y vida útil de los equipos críticos. El software de mantenimiento genera un calendario con fechas establecidas de intervenciones, permite programar repuestos para actividades de sustitución cíclica minimizando tiempos de intervenciones y disminuye niveles de inventario al establecer a priori el número de repuestos y material necesario para llevar a cabo las actividades programadas.
- Permite generar indicadores económicos de mantenimiento, al llevar un registro confiable de actividades, evitando pérdida de información como sucede cuando se hace registro de información en físico.

9.3.2 Software computacional para administrar y controlar las actividades de mantenimiento en Hydratica. El software propuesto implementado para el manejo y registro de información referente al mantenimiento de los activos físicos en Hydratica fue el MP Software en su versión empresarial. Este software permite la administración y control de actividades de toda la información referente al mantenimiento de los activos de una empresa. La versión empresarial tiene una amplia gama de posibilidades de registro y control de datos entre ellos se destacan, formulación y control de órdenes de trabajo, planes de mantenimiento estándar para equipos, repuestos y proveedores, entre otros. Todo lo mencionado acerca del software sirve como plataforma para exponer lo establecido en el desarrollo del RCM y llevarlo a cabo siguiendo la metodología propuesta de forma organizada.

A continuación se muestran algunas imágenes del registro de datos de los activos físicos de Hydratica en el software computacional MP Software.

Figura 33. Registro de equipo bomba de desplazamiento positivo diésel en la base de datos del software.

Tipo	Descripción	Prioridad	Tipo de Equipo	Clasificación 1	Centro de Costo
	BOMBA CENTRIFUGA DIESEL 100 GPM-10 HP-110 MCA. BARNES SH 186FA P1 EQUIPMENT CERTIFICATION ID (HYT-B-CD-01)	Alta	BOMBAS	SISTEMA DE LLENADO	Dirección C&O
	BOMBA CENTRIFUGA DIESEL 95 GPM-10 HP-106 MCA BARNES SH 186FAP EQUIPMENT CERTIFICATION ID (HYT-B-CD-02)	Alta	BOMBAS	SISTEMA DE LLENADO	Dirección C&O
	BOMBA CENTRIFUGA DIESEL 95 GPM-10 HP-106 MCA BARNES SH 186FAP EQUIPMENT CERTIFICATION ID (HYT-B-CD-03)	Alta	BOMBAS	SISTEMA DE LLENADO	Dirección C&O
	BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO DIESEL 3500 PSIG BEAVER 18D35-10C EQUIPMENT CERTIFICATION ID (HYT-B-DPD-05)	Alta	BOMBAS	SISTEMA DE PRESURIZACIÓN	Dirección C&O
	BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO DIESEL 3500 PSIG BEAVER 18D35-10C EQ EQUIPMENT CERTIFICATION ID (HYT-B-DPD-06)	Alta	BOMBAS	SISTEMA DE PRESURIZACIÓN	Dirección C&O
	BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO DIESEL 3500 PSIG BEAVER 18D35-10C EQUIPMENT IDENTIFICATION ID (HYT-B-DPD-07)	Alta	BOMBAS	SISTEMA DE PRESURIZACIÓN	Dirección C&O
	BOMBA DESPLAZAMIENTO POSITIVO DIESEL 3500 PSIG BEAVER 18D35-10C EQUIPMENT IDENTIFICATION ID (HYT-B-DPD-08)	Alta	BOMBAS	SISTEMA DE PRESURIZACIÓN	Dirección C&O
	BOMBA DESPLAZAMIENTO POSITIVO DIESEL 3500 PSIG DPW 446-DPW/3500 EQUIPMENT CERTIFICATION ID (HYT-B-DPD-01)	Alta	BOMBAS	SISTEMA DE PRESURIZACIÓN	Dirección C&O
	BOMBA DESPLAZAMIENTO POSITIVO DIESEL 3600 PSIG BARNES HPW 3600DPE EQUIPMENT CERTIFICATION ID (HYT-B-DPD-03)	Alta	BOMBAS	SISTEMA DE PRESURIZACIÓN	Dirección C&O

Descripción: **BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO DIESEL 3500 PSIG BEAVER 18D35-10C EQUIPMENT CERTIFICATION ID (HYT-B-DPD-06)**
Localización: \BOGOTÁ

Datos Generales | Campos Personalizados | Proveedor | Notas | Imágenes | Archivos Adjuntos

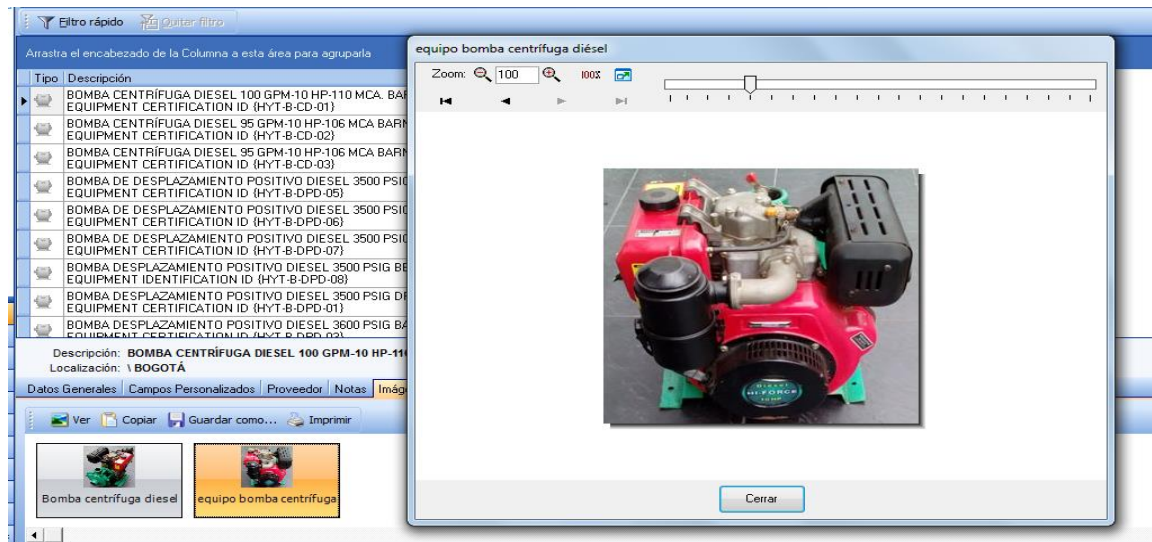
Producto: BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO DIESEL	Capacidad: 3500 PSIG
Marca: BEAVER	Modelo: 18D35-10C
Identificador, Serie, Placas: EQUIPMENT CERTIFICATION ID	Otro 1:
Otro 2:	Código: HYT-B-DPD-06
Prioridad: Alta	Clasificación 1: SISTEMA DE PRESURIZACIÓN
Tipo de Equipo: BOMBAS	Clasificación 2: ACCIONAMIENTO MOTOR DIESEL
Equipo Padre:	
Centro de Costo: Dirección C&O	Recursos para el mantenimiento

El software permite registrar información del equipo importante como la marca, capacidad de desempeño, código o TAG asignado, sistema al que pertenece. Además de ello permite establecer a que nivel de criticidad pertenece el equipo en la casilla de registro prioridad, siendo los equipos críticos los de prioridad alta, los medianamente críticos los de prioridad media y los no críticos los de prioridad baja. El software solicita al usuario está información de prioridad para mostrar en la pantalla inicial, toda la información técnica registrada de estos equipos así como las actividades pendientes a realizar de mantenimiento preventivo, sus órdenes de trabajo abiertas entre otros.

Por último, MP software en su versión empresarial permite anexar al registro del equipo archivos que contengan información del mantenimiento de este como sus hojas de vida, hoja de información del RCM, hoja de decisión del RCM, plan de mantenimiento estándar, entre otros. Todo ello permite almacenar de forma organizada toda la información existente referente al mantenimiento del equipo, lo cual tiene como ventaja, el acceso rápido y seguro a la información en el momento que se requiera agilizando los procesos.

En la siguiente imagen observamos el registro fotográfico de la bomba centrífuga diésel anexo como complemento de la información de este.

Figura 34. Registro de imagen de equipo bomba centrífuga diésel.



En la siguiente imagen observamos la lista de actividades programadas de mantenimiento para la bomba centrífuga diésel.

Figura 35. Plan de mantenimiento estándar de bomba centrífuga diésel.

Plan: **BOMBA CENTRÍFUGA DIESEL** Régimen: Fechas Unidad: meses

Despliegue | Notas | Archivos Adjuntos

Modificar Actividad | Imprimir | Exportar | Buscar | Grupos | Ver Columnas | Guardar Columnas | Restaurar Columnas

Arrastra el encabezado de la Columna a esta área para agruparla

Parte	Actividad	Frecuencia	Duración	Prioridad	Tipo	Clasificación 1
\IMPULSOR	Aplicar anticorrosivo a superficie de impulsor	1 Mes(es)	0 h 20 m	Alta	Preventivo	Plan de mantenimiento estandar.
	Desacoplar impulsor de eje y realizar inspección.	1 Mes(es)	0 h 20 m	Alta	Preventivo	Plan de mantenimiento estandar.
	Limpiar superficie con desengrasante	1 Mes(es)	0 h 10 m	Alta	Preventivo	Plan de mantenimiento estandar.
	Montar impulsor	1 Mes(es)	0 h 20 m	Alta	Preventivo	Plan de mantenimiento estandar.
	Retirar perno de ajuste de impulsor.	1 Mes(es)	0 h 10 m	Alta	Preventivo	Plan de mantenimiento estandar.
	Retirar tapa puerto de succión	1 Mes(es)	0 h 20 m	Alta	Preventivo	Plan de mantenimiento estandar.
\VÁLVULA DE PIE	Desacoplar mecanismo de sello de la válvula,	1 Mes(es)	0 h 30 m	Alta	Preventivo	Plan de mantenimiento estandar.

9.4 INDICADORES DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO.

Un indicador es la expresión cuantitativa del comportamiento y desempeño de un proceso que se compara con un valor de referencia preestablecido y según el criterio de desviación se realiza una toma de decisión acerca de este.

Los indicadores de la gestión del mantenimiento están enfocados en emitir un concepto sobre los procesos desarrollados en esta a través de un valor calculado, que genera una constante evaluación del proceso de gestión en un intervalo de tiempo establecido. Todo ello finalmente sirve como referencia a la alta gerencia para tomar decisiones sobre los activo basándose en los indicadores, lo cual sustentan y estructuran el nivel de severidad de la decisión.

La gestión del mantenimiento de los activos físicos de Hydratica generará dos indicadores de gestión para su evaluación, los cuales los nombramos a continuación:

9.4.1 Costo de mantenimiento anual del activo versus Costo de reposición vigente anual del activo. El objetivo de este indicador es facilitar la toma de decisiones de la alta gerencia con respecto al costo de mantenimiento anual de cada activo crítico. La meta propuesta anual del indicador es que el costo de mantenimiento anual del activo sea menor al 50% del costo del reposición del activo en el año vigente. Si la meta del indicador no se logra, se debe realizar una reunión del personal administrativo y operativo que son los encargados del mantenimiento y evaluar las posibles formas de reducir los costos de mantenimiento de ese equipo, las cuales pueden ser disminuir frecuencias de ejecución de tareas en el plan de mantenimiento preventivo, evaluar la eficacia y relevancia de cada actividad propuesta en el plan de mantenimiento estándar. Si no se logra encontrar factibilidad en ninguna de estas soluciones la alta gerencia puede determinar la reposición anual del activo ya que esto representaría un menor costo. No obstante, uno de los

objetivos implícitos de este indicador es el de generar una mejora constante del plan de mantenimiento establecido, para que con el paso del tiempo este logre sus objetivos. En la siguiente ecuación observamos la forma de cálculo del indicador.

$$\frac{A}{B} \times 100$$

Dónde:

- La variable A hace referencia al costo de mantenimiento anual del activo.
- La variable B hace referencia al costo de reposición vigente anual del activo.

Cabe resaltar que la formulación de este indicador fue realizada por la dirección comercial y de operaciones, la cual busca tener un control de los recursos demandados por la gestión del mantenimiento de los activos físicos y que este permita elegir anualmente la alternativa económica más eficaz. En el anexo I se puede observar el formato hoja de vida diseñado para este indicador.

9.4.2 Actividades programas de mantenimiento versus actividades ejecutadas de mantenimiento. El objetivo de este indicador es asegurar la disponibilidad del 100% de los activos críticos de la empresa durante la prestación de los servicios en campo, mediante el cumplimiento de la estrategia de mantenimiento a los equipos.

El valor referencia de este indicador será 80 y su unidad viene dada en porcentaje. El indicador establece que el resultado del cociente entre el número de actividades ejecutadas y el número de actividades programadas debe ser mayor o igual a 0,8 de esta forma se cumplirá con la meta anual de este indicador de gestión. De lo contrario, si el resultado del cociente está muy alejado, por debajo, de este valor, se deben evaluar factores como el compromiso del personal encargado de la ejecución de las tareas programadas de mantenimiento, el conocimiento de las responsabilidades adquiridas por parte del personal de mantenimiento y el tiempo empleado o disponible para la ejecución de estas.

El cumplimiento de este indicador tiene un valor agregado el cual es el de crear una cultura organizacional entorno al mantenimiento de los activos físicos de la empresa. El compromiso del personal por mantener los activos físicos disponibles y confiables para operar en el desarrollo de los servicios, trae múltiples beneficios para la empresa y por lo tanto para las personas que hacen parte de esta, por ello el reconocimiento de estos beneficios comprometerá al personal a cumplir con este indicador. En el anexo J podemos observar el formato hoja de vida diseñado para este indicador.

10. CONCLUSIONES

- Se emitió un diagnóstico de la gestión del mantenimiento de la empresa, a través de la información obtenida por medio del relato referente a esta del personal operativo y administrativo. Además de ello fue de gran importancia el conocimiento adquirido durante el periodo de práctica de los procesos operativos llevados a cabo dentro de la empresa. Todo ello permitió identificar la estructura de la gestión del mantenimiento, las actividades realizadas para mantener los equipos y la documentación existente de ello.
- Se realizó una auditoría de la gestión del mantenimiento la cual evidenció, a través de su resultado, las áreas más débiles de la gestión del mantenimiento. En estas áreas se enfocó el recurso humano y económico de la empresa para realizar un plan de mejora que incluyó los procesos de codificación de activos, análisis de criticidad de activos físicos, plan de mantenimiento RCM e implementación del software computacional.
- Se elaboró un código alfa-numérico que permite identificar los activos físicos involucrados en la ejecución de los servicios de la empresa. La codificación de los activos permitió individualizar a cada uno de los equipos que presentan las mismas características físicas y funcionales, lo cual facilita el registro de información referente al mantenimiento de cada uno de ellos sin la posibilidad que un equipo sea confundido con otro, además de ello, la carga de trabajo para estos equipos podrá ser distribuida de forma equitativa, lo cual se vera reflejado en un aumento de la utilidad del recurso de la empresa.
- El análisis de criticidad total por riesgo permitió identificar los equipos de alta criticidad para el desarrollo de los servicios que ejecuta la empresa. En el desarrollo de este fue participe el personal operativo que aportó información valiosa del comportamiento operativo de los equipos cuando entran en servicio y a su vez evaluó los factores ponderados para cada equipo, lo cual permitió

obtener un resultado que se ajusta a la realidad operacional de los activos físicos de la empresa.

- El análisis de modos y efectos de falla fue aplicado únicamente a los activos críticos de la empresa. Para cada uno de ellos se elaboró el formato hoja de información y hoja de decisión del RCM. Además de ello se establecieron los formatos preoperacional de equipo y plan de mantenimiento estándar en donde se registra de forma ordenada la información establecida en la hoja de decisión, con el fin de facilitar al personal encargado la comprensión de las tareas y el proceso de ejecución de estas. A través de los documentos elaborados y las actividades establecidas se busca maximizar la confiabilidad y disponibilidad de los activos críticos cuando entren en servicio.
- Se realizó la implementación del software de mantenimiento MP Software versión empresarial, el cual permitió organizar la información generada en los formatos elaborados en la fase de aplicación del RCM. Desde allí se puede controlar y administrar toda la base de datos del mantenimiento de los equipos, además de ello se plantearon los indicadores de la gestión del mantenimiento y se realizó un diseño de formato hoja de vida para estos, los cuales serán los encargados de evaluar el nivel de aplicación del plan de mantenimiento realizado.

BIBLIOGRAFÍA

BAUTISTA Sierra, Nestor. VERA Muñoz, Hernando. Trabajo de grado como requisito para optar al título de Especialista en gerencia de mantenimiento. Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Optimización del plan de mantenimiento mediante la metodología “RCM II” al sistema de compresión de los compresores AJAX DPC-600, ubicados en la planta compresora “Yarigui” campo de producción Cantagallo. Bucaramanga 2016.

GARCIA Garrido, Santiago. Organización y gestión integral de mantenimiento. España. Ediciones Díaz Santos S.A, 2003. 304 P.

GONZALES Fernández, Francisco Javier. Auditoría del mantenimiento e indicadores de gestión. España. Artegraf S.A, 2014.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARIZATION. INTERNATIONAL STANDART, Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries- Collection and Exchange of Reliability and Maintenance Data for Equipment. ISO 14224:2006.

MATAIX, Claudio. Turbomáquinas hidráulicas. Madrid, Editorial ICAI, 1975. 1371 P. ISBN. 84-600-662-2.

MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad (Reliability-centred Maintenance). Edición en Español. Traducido por Ellman, Sueiro y Asociados, Madrid, España, 2004. 433 P.



REY Sacristan, Francisco. Manual del mantenimiento integral de la empresa. Madrid. FC editorial, 2001. 461 P.

SAE, The Engineering Society for Advancing Mobility Land Sea, Air and Space. JA 1011. [S.I.], 1999. 12 P.


VALENCIA Jaimes, Jeffert. Trabajo de grado como requisito para optar al título de Especialista en gerencia de mantenimiento. Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Análisis de la gestión de mantenimiento basado en la norma ISO 14224:2006 y los pilares de la confiabilidad de la SMRP para la industria manufacturera; enfocado en el sector metalmecánico. Bucaramanga, 2015.

ANEXOS


Anexo A. Ficha Técnica de Equipos Críticos


		FICHA TÉCNICA DE COMPONENTE	
		GESTIÓN ADMINISTRATIVA	
HYT-GA-F-001		Elaborado	Versión: 3
		24/11/2015	
INFORMACIÓN GENERAL		DESCRIPCIÓN	FUNCIÓN
NOMBRE	BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO NEUMÁTICA	Este tipo de intensificadores de presión funcionan por medio de una línea neumática que mueve un pequeño cilindro que genera presión hidráulica sobre cualquier tubería o válvula que se desee probar o dentro de la cual se busque generar una gran cantidad de presión.	Controlan que el movimiento del fluido se realice de la zona de menor presión a la de mayor presión. La acción de estas bombas es neumática, o sea que se aprovecha la presión del aire comprimido
TAG	HYT-B-DPN-01		
FECHA DE ADQUISICIÓN	2014		
MARCA	SC Hydraulic		
MODELO	Sc 1040-080		
RANGO	0-15000 PSI		
COLOR	Azul		
TIPO	Desplazamiento positivo		
COMPONENTES		INFORMACIÓN TÉCNICA	
1- Intensificador de presión de alta presión	PESO	Tanque vacío 100 Kg	
2- Intensificador de presión de baja presión	TIPO DE ACEITE	ISO VG32	
3- Tanque de reserva	CONEXIÓN	carga 1/4 in - descarga 1/2 in	
4- Spool			
5- Estructura			
6- Medidor de nivel y temperatura del tanque de reserva			
7- Manómetro de alta presión			
8- Manómetro de baja presión			
9- Unidad de mantenimiento FRL			
		REGISTRO FOTOGRÁFICO	
			


MAINTENANCE LEADER	APROBADO POR
NOMBRE:	NOMBRE:
CARGO:	CARGO:
FIRMA	FIRMA



	FICHA TÉCNICA DE COMPONENTE		
	GESTIÓN ADMINISTRATIVA		
	HYT-GA-F-001	Elaborado 11/24/15	Versión: 3
INFORMACIÓN GENERAL			
NOMBRE	BOMBA CENTRIFUGA DIESEL	<p>DESCRIPCIÓN</p> <p>Las bombas centrífugas son siempre rotativas y son un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor en energía cinética o de presión de un fluido incompresible. El fluido entra por el centro del rodete, que dispone de unos álabes para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba.</p>	<p>FUNCIÓN</p> <p>Las bombas se necesitan para transportar líquidos y vencer las pérdidas de carga en el sistema de tuberías. En instalaciones de bombas con niveles de líquido diferentes es preciso superar además la diferencia de altura geodésica.</p>
TAG	HYT-B-CD-01		
FECHA DE ADQUISICIÓN	2014		
MARCA	BARNES		
MODELO	SH186FAP		
RANGO	0 -120 PSI		
COLOR	ROJA Y VERDE		
TIPO	CENTRIFUGA		
COMPONENTES			
1- impulsor (doble)	PESO	60 kg	
2- Manguera de succión de 2 in	TIPO DE ACEITE	SAE 15W-40	
3- Motor	CAUDAL	100 lts/min	
4- tanque de combustible	VELOCIDAD RPM	3000	
5- Filtro de aire	POTENCIA DEL MOTOR	10 HP	
	CONEXIÓN	2 in	
	N° DE FILTROS	1	
ELABORADO POR			APROBADO POR
NOMBRE:			NOMBRE:


CARGO:	CARGO:
FIRMA	FIRMA


	FICHA TECNICA MANTENIMIENTO			
	HYT-M-F-001	Elaborado	Versión: 2	
		06/02/2015		
INFORMACION GENERAL				
NOMBRE	BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO DIESEL	DESCRIPCION El principio de desplazamiento positivo consiste en el movimiento de un fluido causado por la disminución del volumen de una cámara.		FUNCION Esta bomba guía al fluido que se desplaza a lo largo de toda su trayectoria, el cual siempre está contenido entre el elemento impulsor. Su funcionamiento es por combustión interna y su combustible es ACPM
TAG	HYT-B-DPD-03			
FECHA DE ADQUISICION	FEBRERO 2016			
DATOS DEL FABRICANTE	DIESEL ACPM			
MARCA	BARNES			
MODELO	HPW-3600DE			
RANGO	0 - 3600 Psig			
COLOR	Estructura negra			
TIPO	Desplazamiento positivo			
COMPONENTES				
		INFORMACION TECNICA		REGISTRO FOTOGRAFICO
		PESO	53 Kg	
1- Bomba de alta	TIPO DE ACEITE	14W-50 ; 10W-30		
2- Motor de combustión interna	CAUDAL	20.7 lts/min		
3- Filtro de aire	VOLTAJE	12 V		
4- Tanque de combustible	VELOCIDAD MAX RPM	3600		
5- Batería	POTENCIA MAX DEL MOTOR	10 PH		
6- Filtro de aceite	CILINDRADA	406 cc		
7- Interruptor de ignición eléctrico	MAXIMO TORQUE	18 Nm/2000 min (RPM)		
8- Guaya de arranque				

9- Exosto			
ELABORADO POR		APROBADO POR	
NOMBRE:		NOMBRE:	
CARGO:		CARGO:	
FIRMA		FIRMA	

	FICHA TÉCNICA DE COMPONENTE		
	GESTIÓN ADMINISTRATIVA		
	HYT-GA-F-001	Elaborado 24/11/2015	Versión: 3
INFORMACIÓN GENERAL		DESCRIPCIÓN	FUNCIÓN
NOMBRE	SENSOR TEMPERATURA PT 100	Un PT100 es un sensor de temperatura hecho con un alambre de platino que a 0 °C tiene 100 ohms y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica. Además la PT100 puede ser colocada a cierta distancia del medidor sin mayor problema (hasta unos 30 metros) utilizando cable de cobre convencional para hacer la extensión.	El sensor PT-100 basa su funcionamiento en la variación de resistencia a cambios de temperaturas del medio.
TAG	HYT-DL-ST-01		
N° DE SERIE	5714		
FECHA DE ADQUISICIÓN	2014		
MARCA	EBC HQ		
RANGO	0°C - 350°C		
COLOR	PLATEADO		
TIPO	PT-100 TEMPERATURA		



COMPONENTES		INFORMACIÓN TÉCNICA		REGISTRO FOTOGRÁFICO	
	CABEZOTE	66 X 64 mm			
	MATERIAL	Acero inoxidable			
	DIAMETRO BULBO	6,4 mm			
	CONEXIÓN	1/2 IN NPT			
ELABORADO POR			APROBADO POR		
NOMBRE:			NOMBRE:		
CARGO:			CARGO:		
FIRMA			FIRMA		


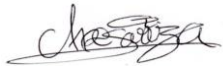
FICHA TÉCNICA DE COMPONENTE			
GESTIÓN ADMINISTRATIVA			
	HYT-GA-F-001	Elaborado	Versión: 3
		24/11/2015	
INFORMACIÓN GENERAL		DESCRIPCIÓN	FUNCIÓN
NOMBRE	SENSOR TRANSMISOR DE PRESIÓN	La presión aplicada al transductor de presión produce una deflexión del diafragma que introduce tensión en los calibradores. La tensión producirá un cambio en la resistencia eléctrica proporcional a la presión.	Convierte la presión en una señal eléctrica analógica.
TAG	HYT-DL-SP-06		
N° DE SERIE	589358-001		
FECHA DE ADQUISICIÓN	2017		
MARCA	PIXSYS		
RANGO	0 - 5800 PSIG		
COLOR	PLATEADO		
TIPO	PRESIÓN		


COMPONENTES	INFORMACIÓN TÉCNICA		REGISTRO FOTOGRÁFICO
	SALIDA SEÑAL	4-20mA	
	POWER	24 VDC	
	ERROR	0.5% F.S	
	CONEXIÓN	1/4 IN NPT	
ELABORADO POR		APROBADO POR	
NOMBRE:		NOMBRE:	
CARGO:		CARGO:	
FIRMA		FIRMA	


Anexo A. Hoja de Vida Equipos Críticos

HOJA DE VIDA DE COMPONENTE								
GESTIÓN ADMINISTRATIVA								
HYT-GA-F-002		Elaborado 03/02/2018			Versión: 3			
NOMBRE	Bomba neumática de desplazamiento positivo	TAG	HYT-B-DPN-01	FECHA DE ADQUISICIÓN	2015	COSTO DE ADQUISICIÓN		
RESPONSABLE DEL COMPONENTE	Director de operaciones & comercial	Nº DE SERIAL	No tiene	COD. DE INVENTARIO	No tiene	COD. TRABAJO ESTANDAR		
DESCRIPCIÓN		CALIBRACION			MANUAL			
Controlan que el movimiento del fluido se realice de la zona de menor presión a la de mayor presión. La acción de estas bombas es neumática, o sea que se aprovecha la presión del aire comprimido. Este tipo de intensificadores de presión funcionan por medio de una línea neumática que mueve un pequeño cilindro que genera presión hidráulica sobre cualquier tubería o válvula que se desee probar o dentro de la cual se busque generar una gran cantidad de presión.		SI NECESITA		PERIODICIDAD	N / A	SI TIENE	X	COD.
		NO NECESITA	X			NO TIENE		
DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO NECESARIO								
ACTIVIDAD		PERIODICIDAD		MATERIALES A UTILIZAR				
LUBRICACIÓN				Aceite lubricante según manual, lubricante de aire, agua-jabon, trapo industrial.				
LIMPIEZA E INSPECCIÓN				Grata, trapo industrial, desengrasante, líquido anticorrosivo.				
PREOPERACIONAL								
HISTORIAL DE MANTENIMIENTOS REALIZADOS								
FECHA	TIPO DE MANTENIMIENTO	AVERÍA O DAÑO ENCONTRADO	DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO	REPUESTOS	NOM. RESPONSABLE DEL MTTO	HORAS HOMBRE	COSTO MTTO	
15/01/2015	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	N / A	Pintado y adición de logos con imagen e información de HYDRATICA	N / A	Oscar Ramirez	2,5	\$ 45.000,00	
27/2/2015	MANTENIMIENTO CORRECTIVO	FUGA	Reparación de fugas en las conexiones neumáticas del sistema	N/R	Oscar Ramirez	1	\$ 18.000,00	
30/05/2015	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	N / A	Llenado de aceite lubricante, Limpieza e inspección general del equipo.	N / A	Oscar Ramirez	2,25	\$ 40.500,00	
06/09/2015	MANTENIMIENTO CORRECTIVO	FUGA	Repuesto del medidor del nivel del tanque de reseva	MEDIDOR DE NIVEL DE TANQUE	Oscar Merchán	1,5	\$ 27.000,00	
30/09/2015	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	N / A	Llenado de aceite lubricante, Limpieza e inspección general del equipo.	N / A	Oscar Merchán	2	\$ 36.000,00	
15/01/2016	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	N / A	Llenado de aceite lubricante, Limpieza e inspección general del equipo.	N / A	Ivan Reina	2	\$ 40.000,00	
16/05/2016	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	N / A	Llenado de aceite lubricante, Limpieza e inspección general del equipo.	N / A	Samuel Almanza	2,25	\$ 45.000,00	
05/07/2016	MANTENIMIENTO CORRECTIVO	RUPTURA ACOPLA DE LA BOMBA	Reposición acople dañado de bomba	ACOPLE	Ivan Reina	1	\$ 20.000,00	
25/09/2016	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	N / A	Llenado de aceite lubricante, Limpieza e inspección general del equipo.	N / A	Samuel Almanza	2,25	\$ 45.000,00	
14/01/2017	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	N / A	Llenado de aceite lubricante, Limpieza e inspección general del equipo.	N / A	German Vega	2,5	\$ 55.000,00	
15/05/2017	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	N / A	Llenado de aceite lubricante, Limpieza e inspección general del equipo.	N / A	German Vega	2,25	\$ 49.500,00	
20/07/2017	MANTENIMIENTO CORRECTIVO	AIRE DE ALIMENTACIÓN INSUFICIENTE, LO CUAL ACELERA LA BOMBA Y NO LA DEJA SUBIR PRESIÓN	Piezas de la válvula de aspiración desgastadas.	VÁLVULA DE ASPIRACIÓN	Richard Bustos	2	\$ 44.000,00	
12/09/2017	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	N / A	Llenado de aceite lubricante, Limpieza e inspección general del equipo.	N / A	Richard Bustos	2,25	\$ 49.500,00	
14/01/2018	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	N / A	Llenado de aceite lubricante, Limpieza e inspección general del equipo.	N / A	Richard Bustos	2,25	\$ 54.000,00	
					TOTAL	28	\$ 568.500,00	
FECHA	NOMBRE DEL RESPONSABLE DEL MANTENIMIENTO							

	HOJA DE VIDA DE COMPONENTE							
	GESTIÓN ADMINISTRATIVA							
	HYT-GA-F-002	Elaborado 03/02/2018				Versión: 3		
NOMBRE	Bomba desplazamiento positivo diesel de alta presión	TAG	HYT-B-DPD-05	FECHA DE ADQUISICIÓN	2017	COSTO DE ADQUISICIÓN	\$ 4.000.000	
RESPONSABLE DEL COMPONENTE	Director de Operaciones & Comercial	Nº DE SERIAL	No tiene	COD. DE INVENTARIO	No tiene	COD. TRABAJO ESTANDAR	Pendiente	
DESCRIPCIÓN		CALIBRACION			MANUAL			
Esta bomba guía al fluido que se desplaza a lo largo de toda su trayectoria, el cual siempre está contenido entre el elemento impulsor. Su funcionamiento es por combustión interna y su combustible es acpm. El principio de desplazamiento positivo consiste en el movimiento de un fluido causado por la disminución del volumen de una cámara.		SI NECESITA		PERIODICIDAD	N/A	SI TIENE	X	COD.
		NO NECESITA	X			NO TIENE		
DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO NECESARIO								
ACTIVIDAD		PERIODICIDAD		MATERIALES A UTILIZAR				
LUBRICACIÓN		4 MESES		Aceite multigrado 15w-40, 10w-30, embudos.				
LIMPIEZA E INSPECCIÓN		4 MESES		Trapo industrial, desengrasante, grata.				
PREOPERACIONAL		4 MESES (puede disminuir, si la frecuencia de pruebas aumenta)		ACPM, herramienta y racorería general.				
HISTORIAL DE MANTENIMIENTOS REALIZADOS								
FECHA	TIPO DE MANTENIMIENTO	AVERIA O DAÑO ENCONTRADO	DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO	REPUESTOS	RESPONSABLE DEL MTTTO	HORAS HOMBRE	COSTO MTTTO	
12/01/2017	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	N/A	cambio de aceite, limpieza de filtros de aceite, aire e inspección del estado de la batería y conexiones eléctricas.	N / A	Alí León	2,50	\$ 55.000	
18/05/2017	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	N/A	cambio de aceite, limpieza de filtros de aceite, aire e inspección del estado de la batería y conexiones eléctricas.	N / A	Alí León	2,25	\$ 49.500	
07/09/2017	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	N/A	cambio de aceite, limpieza de filtros de aceite, aire e inspección del estado de la batería y conexiones eléctricas.	N / A	Alexander Orozco	2,25	\$ 49.500	
13/01/2018	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	N/A	cambio de aceite, limpieza de filtros de aceite, aire e inspección del estado de la batería y conexiones eléctricas.	N / A	Richard Bustos	2,50	\$ 60.000	
13/02/2018	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	N/A	Preoperacional prueba BUZPAC S.A.S	N / A	Richard Bustos	1,33	\$ 32.000	
19/06/2018	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	N/A	cambio de aceite, limpieza de filtros de aceite, aire e inspección del estado de la batería y conexiones eléctricas.	N / A	Luis penagos	1,50	\$ 36.000	
TOTAL						12,33	\$ 282.000	
FECHA					NOMBRE DEL RESPONSABLE DEL MANTENIMIENTO			
					Edgar Andrés Ariza B.			
					FIRMA			

HOJA DE VIDA DE COMPONENTE									
GESTIÓN ADMINISTRATIVA									
		HYT-GA-F-002	Elaborado 03/02/2018			Versión: 3			
NOMBRE	Bomba centrífuga diesel	TAG	HYT-B-CD-02	FECHA DE ADQUISICIÓN	2017	COSTO DE ADQUISICIÓN	\$ 4.500.000		
RESPONSABLE DEL COMPONENTE	Gerente de operaciones & comercial	Nº DE SERIAL		COD. DE INVENTARIO	No tiene	COD. TRABAJO ESTANDAR	No tiene		
DESCRIPCION		CALIBRACION			MANUAL				
<p>Las bombas centrífugas son siempre rotativas y son un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor en energía cinética o de presión de un fluido incompresible. El fluido entra por el centro del rodete, que dispone de unos álabes para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba. Las bombas se necesitan para transportar líquidos y vencer las pérdidas de carga en el sistema de tuberías. En instalaciones de bombas con niveles de líquido diferentes es preciso superar además la diferencia de altura geodésica.</p>		SI NECESITA		PERIODICIDAD	N / A	SI TIENE	X	COD.	
		NO NECESITA	X			NO TIENE			
DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO NECESARIO									
ACTIVIDAD		PERIODICIDAD		MATERIALES A UTILIZAR					
LUBRICACIÓN		4 meses		Aceite multigrado 15w-40, 10w-30.					
LIMPIEZA E INSPECCIÓN		4 meses		Grata, trapo industrial, desengrasante, anticorrosivo.					
PREOPERACIONAL		4 meses (puede disminuir, si aumenta la frecuencia de pruebas)		ACPM, mangueras, racorería y herramienta en general.					
HISTORIAL DE MANTENIMIENTOS REALIZADOS									
FECHA	TIPO DE MANTENIMIENTO	AVERIA O DAÑO ENCONTRADO	DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO	REPUESTOS	NOM. RESPONSABLE DEL MTTTO	HORAS HOMBRE	COSTO MTTTO		
12/01/2017	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	N/A	Cambio de aceite, inspección y limpieza de filtros, verificación del estado del sistema de arranque.	N/A	German Vega	3,00	\$ 66.000		
16/05/2017	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	N/A	Cambio de aceite, inspección y limpieza de filtros, verificación del estado del sistema de arranque.	N/A	German Vega	3,00	\$ 66.000		
07/09/2017	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	N/A	Cambio de aceite, inspección y limpieza de filtros, verificación del estado del sistema de arranque.	N/A	Juan Parra	2,50	\$ 55.000		
13/01/2018	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	N/A	Cambio de aceite, inspección y limpieza de filtros, verificación del estado del sistema de arranque.	N/A	Juan Parra	3,00	\$ 72.000		
13/02/2018	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	N/A	Preoperacional prueba 26 mangueras 12" BUZPAC S.A.S, Tumaco, Nariño.	N/A	Faber Arbelaez	0,50	\$ 12.000		
18/06/2018	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	N/A	Cambio de aceite, inspección y limpieza de filtros, verificación del estado del sistema de arranque.	N/A	Fabio Gomez	3,00	\$ 72.000		
TOTAL						15,00	\$ 343.000		
FECHA					NOMBRE DEL RESPONSABLE DEL MANTENIMIENTO				
					Edgar Andrés Ariza B.				
					Firma:				

HOJA DE VIDA DE COMPONENTE										
GESTIÓN ADMINISTRATIVA										
		Elaborado 03/02/2018				Versión: 3				
NOMBRE	Transductor de presión	TAG	HYT-S-TP-06	FECHA DE ADQUISICIÓN	2017	COSTO DE ADQUISICIÓN	\$ 500.000			
RESPONSABLE DEL COMPONENTE	Director de operaciones & comercial	Nº DE SERIAL	RB28-000195	COD. DE INVENTARIO	Sin asignar	COD. TRABAJO ESTANDAR	Pendiente			
DESCRIPCIÓN		CALIBRACION				MANUAL				
El transductor de presión es el encargado de transformar el valor de la presión del sistema en una señal eléctrica analógica, que despues es leida y mostrada a través del data logger.		SI NECESITA	X	PERIODICIDAD	6 meses	SI TIENE	X	CÓDIGO	Pendiente	
		NO NECESITA				NO TIENE				
DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO NECESARIO										
ACTIVIDAD		PERIODICIDAD		MATERIALES A UTILIZAR						
CALIBRACIÓN		6 meses		N / A						
LIMPIEZA E INSPECCIÓN		6 meses		Trapo industrial, desengrasante, multímetro, cables, herramienta.						
PREOPERACIONAL		6 meses		Racorería y herramienta en general.						
HISTORIAL DE MANTENIMIENTOS REALIZADOS										
FECHA	TIPO DE MANTENIMIENTO	AVERIA O DAÑO ENCONTRADO	DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO	REPUESTOS	NOM. RESPONSABLE DEL MTO	HORAS HOMBRE	COSTO HORAS HOMBRE	COSTO CALIBRACIÓN	COSTO MTO SENSOR	
15/05/2017	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	N / A	Calibración ONAC, limpieza e inspección del circuito eléctrico.	N / A	German Vega	2,75	\$ 60.500	\$ 500.000	\$ 560.500	
01/11/2017	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	N / A	Calibración ONAC, limpieza e inspección del circuito eléctrico.	N / A	Richard Bustos	3	\$ 66.000	\$ 500.000	\$ 566.000	
						TOTAL	5,75	\$ 126.500	\$ 1.000.000	\$ 1.126.500
FECHA					NOMBRE DEL RESPONSABLE DEL MANTENIMIENTO					

HOJA DE VIDA DE COMPONENTE										
GESTIÓN ADMINISTRATIVA										
		Elaborado 02/02/2018			Versión: 3					
NOMBRE	Sensor de temperatura tipo PT-100	TAG	HYT-S-T-05	FECHA DE ADQUISICIÓN	2016	COSTO DE ADQUISICIÓN	\$ 250.000			
RESPONSABLE DEL COMPONENTE	Director de operaciones & comercial	Nº DE SERIAL	5718	COD. DE INVENTARIO	HYT-S-T-05-HT5	COD. TRABAJO ESTANDAR	Pendiente			
DESCRIPCIÓN		CALIBRACION			MANUAL					
El sensor de temperatura tipo PT-100 tiene como base de funcionamiento una resistencia de 100 ohms a 0° Celsius, a medida que aumenta la temperatura el valor de su resistencia eléctrica aumenta de una forma no lineal, por ello esta resistencia es leída por el data logger y transformado en un valor de temperatura que se muestra, de forma digital, a través de los TKs.		SI NECESITA	X	PERIODICIDAD	6 meses	SI TIENE	X	CÓDIGO		
		NO NECESITA				NO TIENE				
DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO NECESARIO										
ACTIVIDAD		PERIODICIDAD		MATERIALES A UTILIZAR						
LIMPIEZA E INSPECCIÓN				Grata, brocha de limpieza.						
PREOPERACIONAL				Teflón, racorería y herramienta general.						
CALIBRACIÓN		6 meses		N / A						
HISTORIAL DE MANTENIMIENTOS REALIZADOS										
FECHA	TIPO DE MANTENIMIENTO	AVERIA O DAÑO ENCONTRADO	DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO	REPUESTOS	NOM. RESPONSABLE DEL MTO	HORAS HOMBRE	COSTO HORAS HOMBRE	COSTO CALIBRACIÓN	COSTO MTO SENSOR	
28/04/2017	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	N / A	Calibración ONAC, inspección y limpieza general.	N / A	Richard Bustos	3,0	\$ 66.000	\$ 500.000	\$ 566.000	
01/11/2017	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	N / A	Calibración ONAC, inspección y limpieza general.	N / A	Richard Bustos	2,125	\$ 46.750	\$ 500.000	\$ 546.750	
						TOTAL HORAS HOMBRE Y COSTO MTO HOMBRE	5,125	\$ 112.750	\$ 1.000.000	\$ 1.112.750
FECHA	NOMBRE DEL RESPONSABLE DEL MANTENIMIENTO									

Anexo C. Auditoría del Mantenimiento

		no	más bien no	ni sí ni no	más bien sí	sí	
A. ORGANIZACIÓN GENERAL							
1.	¿Está definida por escrito y aprobada, la organización y responsabilidades del Departamento de Mantenimiento?	0	-	-	-	30	
2.	¿Se comprueban las responsabilidades y las tareas definidas en la organización de forma periódica para su adaptación?	0	-	-	-	10	
3.	¿Están las responsabilidades y las tareas de los capataces o encargados y de los contra maestros claramente definidos?	0	-	-	-	20	
4.	¿Está suficientemente dimensionada la estructura de la dirección de mantenimiento y su equipo técnico para abordar nuevos procesos de mejora?	0	10	-	20	30	
5.	¿Tiene cada sección y/o actividad un presupuesto de funcionamiento y hay seguimientos periódicos de su adecuación a la realidad?	0	-	-	-	10	
6.	¿Existe un área para la planificación y coordinación de trabajos y para realizar estudios de mejora y formación?	0	5	-	15	20	
7.	¿Existen descripciones de las funciones (en el terreno de responsabilidades y en el de iniciativa) para cada uno de los puestos de ejecución?	0	5	10	15	20	
8.	¿El personal de Explotación u Operación tienen instrucciones para llevar a cabo operaciones de mantenimiento de primer nivel y las ejecutan?	0	10	-	20	30	
9.	¿Todas las operaciones preventivas y correctivas se ejecutan con órdenes de trabajo y se imputan adecuadamente las actividades y repuestos?	0	-	-	-	20	
10.	¿Tienen objetivos claros e indicadores de funcionamiento que sirvan de pauta como resultados del servicio prestado?	0	5	-	20	30	
11.	¿Los Departamentos de compras, ingeniería o explotación tienen en cuenta de forma activa a Mantenimiento en nuevos estudios o instalaciones?	0	10	-	20	30	
12.	¿Hay reuniones periódicas y se realizan seguimiento de niveles de calidad de servicio percibidos por nuestros clientes?	0	10	-	20	30	
					A - 280 puntos posibles	Subtotal:	90

		no	más bien no	ni sí ni no	más bien sí	sí	
B. METODOS Y SISTEMAS DE TRABAJO							
1.	¿Disponen de sistema de planificación y preparación de trabajo para intervenciones importantes?	0	10	-	20	30	
2.	¿Tienen procedimientos para preparar trabajos, establecer presupuestos y justificar nuevas adquisiciones o proponer nuevas actividades?	0	-	10	-	20	
3.	¿Disponen Uds. de métodos operativos escritos para los trabajos complejos o delicados?	0	-	10	-	20	
4.	¿Tienen Uds. un procedimiento por escrito (y aplicado) que defina las autorizaciones de trabajo (consignación, desconsignación) para los trabajos que conlleven riesgos?	0	-	-	-	25	
5.	¿Se archivan en los expedientes o historiales de equipos y sistemas, los trabajos de preparación y planificación de grandes intervenciones?	0	5	-	10	15	
6.	¿Hay acciones que lleven a normalizar los órganos y las unidades?	0	5	-	20	30	
7.	¿Tienen Uds. métodos para estimación de tiempos distintos de la estimación global? (trabajos tipos, bloques de tiempo)	0	-	5	-	10	
8.	¿Utilizan Uds. El método PERT (u otra gestión parecida) para la preparación de trabajos largos, importantes, o que necesiten mucha coordinación?	0	5	-	10	20	
9.	¿Tienen métodos formalizados para hacer las reparaciones y protocolos de pruebas?	0	10	-	20	30	
10.	¿Guardan Uds., las unidades en almacén, hacen preparar kits (piezas, herramientas) antes de sus intervenciones?	0	10	-	20	30	
11.	¿Está el conjunto de la documentación debidamente clasificada y fácilmente accesible?	0	5	-	10	20	
12.	¿Tienen sistemas de priorización de actividades, con base en su criticidad, repercusiones secundarias, etc.?	0	10	-	-	20	
					B - 270 puntos posibles	Subtotal:	105

		no	más bien no	ni sí ni no	más bien sí	Sí
C. CONTROL TECNICO DE INSTALACIONES Y EQUIPOS						
1.	¿Disponen Uds., de una lista recapitulativa (inventario) de ubicación de los equipamientos de su unidad?	0	10	-	20	30
2.	¿Tiene cada equipamiento un número de identificación único diferente del número cronológico de inmovilización?	0	5	-	10	20

3.	¿En su emplazamiento, tiene todo el equipamiento un número de identificación claramente señalado?	0	5	-	10	15
4.	¿Se registran sistemáticamente las modificaciones, instalaciones nuevas o la supresión de equipamientos?	0	5	-	10	15
5.	¿Hay un archivo informático o en papel de cada equipo o instalación, y de sus subgrupos funcionales, con reseñas históricas de todos los trabajos llevados a cabo en cada uno de ellos y su coste?	0	10	-	20	30
6.	¿Tienen efectuado análisis de criticidad de equipos y estudios de averías y modos de fallo (AMFE, RCM, etc.?)	0	10	-	20	30
7.	¿Disponen Uds., de información sobre las horas pasadas, las piezas consumidas y los costes, equipamiento por equipamiento)	0	10	-	25	40
8.	¿Hay uno (o varios) responsable/s del cuidado de las reseñas históricas de los trabajos?	0	5	-	15	20
9.	¿Está asegurado el seguimiento y control formal de las operaciones reglamentarias y de seguridad llevadas a cabo?	0	-	15	-	30
10.	¿Se audita periódicamente la situación de inventario y documentación?	0	5	-	15	20
11.	¿Tiene constancia formal de la adecuación de su parque de maquinaria y equipos a la Directiva y su documentación?	0		-	-	20
12.	¿Tiene posibilidad de analizar, sistema a sistema, el coste real de sus ciclos de vida - LCC?	0	10	-	20	30
					C - 300 puntos posibles	Subtotal: 140

		no	más bien no	ni sí ni no	más bien sí	sí
D. GESTION DE LA CARGA DE TRABAJO						
1.	¿Tiene Uds., un programa establecido de mantenimiento preventivo? (Acciones preventivas, periodicidad, carga de trabajo)	0	10	-	25	40
2.	¿Disponen Uds., de fichas (o check-list) escritas de mantenimiento preventivo?	0	5	-	10	20
3.	¿Existe algún responsable del conjunto de las acciones de mantenimiento preventivo (en términos de control y de actualización)?	0	-	-	-	10
4.	¿Tienen los usuarios (u operadores) de los equipamientos responsabilidades en materia de reglaje o ajuste y mantenimiento de rutina?	0	5	-	15	20
5.	¿Tienen Uds., un sistema de registro de las demandas o solicitudes de trabajo?	0	10	-	25	30
6.	¿Hay alguna persona más específicamente responsable de la planificación de los trabajos?	0	5	-	10	20

7.	¿Tienen Uds., reglas definidas que permitan asignar los trabajos según las prioridades?	0	10	-	15	30	
8.	¿Conocen Uds., permanentemente la carga de trabajo en cartera y tienen un balance de capacidad?	0	5	-	15	20	
9.	¿Existe algún documento (bono o solicitud de trabajo) que permita informar y seguir toda intervención que se utilice sistemáticamente para todo trabajo?	0	5	-	15	30	
10.	¿Se reúnen periódicamente los contraмаestres para debatir las prioridades, problemas de planing, personal, etc.,?	0	10	-	20	30	
11.	¿Disponen Uds., de un planing semanal (o periódico) de distribución de trabajos?	0	-	15	-	30	
12.	Cuándo un trabajo no puede ser abordado con la celeridad que les exige Producción o Explotación. ¿tienen un procedimiento para informar de ello y proponer medidas correctivas y preventivas?	0	-	-	-	20	
D - 300 puntos posibles						Subtotal:	75

		no	más bien no	ni sí ni no	más bien sí	Sí
E. COMPRA Y LOGÍSTICA DE REPUESTOS Y EQUIPOS						
1.	¿Tienen un almacén específico o diferenciado para Mantenimiento y un sistema de lanzamiento y seguimiento de pedidos a su medida?	0	-	-	-	20
2.	¿Disponen de un sistema de "libre servicio" para artículos y piezas de consumo habitual?	0	-	5	-	10
3.	¿El stock de repuestos está al día, accesible a su personal de forma informatizada y disponible el valor, número de artículos, plazo, etc.?	0	10	-	20	30
4.	¿Están todas las piezas de repuestos identificadas y codificadas?	0	-	-	-	10
5.	¿Están definidos los sistemas de aprovisionamiento y de lanzamiento de compras por demandas, puntos de pedido, etc.?	0	-	5	-	10
6.	¿Hay un procedimiento formalizado de solicitud de ofertas, con pliegos adaptados a sus necesidades y adjudicación de pedidos?	0	-	-	-	20
7.	¿Los procedimientos de aprovisionamientos son rápidos y flexibles?	0	-	-	-	20
8.	¿Tienen proveedores concertados que almacenen en sus dependencias los materiales y repuestos de su suministro?	0	5	-	15	20
9.	¿Tienen facilidad y homologados suministradores distintos al propio fabricante del equipamiento o instalación?	0	5	10	15	30
10.	¿Tienen un sistema rápido y eficaz de reparación de equipos y sistemas de inventario?	0	8	-	20	30
11.	¿Hay gran cohesión entre el servicio de compras y de mantenimiento para las decisiones de compra y negociación con los suministradores?	0	10	-	20	30

12.	¿Los procedimientos administrativos y operativos para solicitar un repuesto o un traslado ágiles y "amigables"?	0	5	-	15	20
					E - 240 puntos posibles	Subtotal: 153

		no	más bien no	ni sí ni no	más bien sí	sí
F. SISTEMAS INFORMÁTICOS						
1.	¿Ha participado activamente el Departamento de Mantenimiento en la especificación técnica y definición de requisitos de su sistema informático?	0	10	-	15	20
2.	¿El sistema es "amigable" a la hora de lanzar órdenes, planificar actividad, controlar recursos, emitir informes, etc.?	0	5	10	15	20
3.	¿Se ha ajustado la aplicación informática implementada a los procedimientos organizativos eficaces ya implantados?	0	-	-	-	30
4.	¿Los operarios, a pie de obra, interactúan con el sistema recogiendo órdenes, cerrando las finalizadas, imputando recursos, etc.?	0	10	15	20	30
5.	¿Su sistema informático "dialoga" adecuadamente con otras aplicaciones corporativas como costes, nóminas, etc.?	0	10	-	20	30
6.	¿Desde la implantación de su aplicación informática ha reducido significativamente la carga administrativa de su Departamento?	0	-	-	-	30
7.	¿La información que ahora obtiene de su aplicación le ayuda realmente a una más fácil y rigurosa toma de decisiones?	0	5	-	10	20
8.	¿Ha ahorrado personal u optimizado recursos, mejorando su eficiencia de forma contrastada, desde la puesta en marcha de la aplicación informática?	0	5	-	10	20
9.	¿El "hardware" de que dispone en su Departamento está suficientemente dimensionado en cuanto a capacidad de proceso, memoria, periféricos, etc.?	0	10	-	20	30
10.	¿La red de comunicaciones de su Empresa y otros servicios asociados de voz y datos funciona con la fiabilidad, disponibilidad y prestaciones adecuadas?	0	5	-	10	20
					F - 250 puntos posibles	Subtotal: 75

		no	más bien no	ni sí ni no	más bien sí	sí	
G. ORGANIZACIÓN DEL TALLER DE MANTENIMIENTO							
1.	¿El espacio que tiene asignado su Departamento para actividades de banco, oficina de planificación e ingeniería, almacén, etc., es suficiente?	0	10	-	15	30	
2.	¿Dispone a pie de obra de las instrucciones operativas y protocolos para ser consultados por sus mandos y operarios directamente?	0	10	-	30	40	
3.	¿Las oficinas de los Mandos intermedios y supervisores se encuentran a pie de obra?	0	-	10	-	10	
4.	¿Se encuentra bien ubicado el almacén de herramientas y repuestos?	0	-	5	-	10	
5.	¿Disponen de suficiente utillaje y medios de manutención y transporte adecuados a sus trabajos preventivos y correctivos?	0	5	-	15	20	
6.	¿Las órdenes de trabajo se abren y cierran a pie de obra, con terminales ubicados en la planta o con terminales portátiles?	0	-	5	-	10	
7.	¿Las zonas destinadas a materiales útiles, a averiados y de envío o recepción exterior están correctamente identificadas y delimitadas?	0	-	10	-	20	
8.	¿Hay un responsable de logística, de la custodia de herramientas y útiles y de la verificación y calibración periódica de ellas?	0	-	10	-	20	
					G - 160 puntos posibles	Subtotal:	75

		no	más bien no	ni sí ni no	más bien sí	Sí
H. HERRAMIENTAS Y MEDIOS DE PRUEBA						
1.	¿Dispone de un inventario documentado y actualizado de herramientas y equipos de pruebas?	0	5	-	10	20
2.	¿Dispone su Departamento, en propiedad o con accesibilidad inmediata, de las herramientas especiales y equipamientos que precisan?	0	5	-	10	15
3.	¿Está correctamente definido el procedimiento de verificación y calibración de herramientas especiales y útiles?	0	10	-	20	30
4.	¿Dispone de proceso de puesta a disposición o bono de responsabilización de herramientas para el caso de que éstas se utilicen por contratistas?	0	5	-	15	25
5.	¿Cada operario dispone de una caja de herramientas personal?	0	5	-	15	25
6.	¿Existen verificaciones periódicas de puesta en conformidad de máquinas y herramientas, nuevas, usadas o modificadas por ustedes?	0	-	5	-	15

7.	¿cuándo necesitan un medio extraordinario de manutención o transporte, lo disponen con las características y celeridad precisa?	0	-	5	-	10
8.	¿La logística, contratación y gestión de nuevas herramientas y medios, es realizada directamente por ustedes?	0	5	15	20	30
					H - 170 puntos posibles	Subtotal: 150

		no	más bien no	ni sí ni no	más bien sí	Sí
I. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA						
1.	¿Disponen ustedes de documentación técnica general suficiente: mecánica de construcción, electricidad, código de entorno y nocividad, regulaciones?	0	5	-	15	20
2.	¿Disponen ustedes de planos de conjunto y los esquemas necesarios?	0	15	-	30	40
3.	¿Están disponibles las instrucciones técnicas de utilización y mantenimiento, así como las listas de las piezas sueltas para equipamientos de mayor envergadura?	0	5	-	15	20
4.	¿Son fácilmente obtenibles y utilizables (en español) los planos de las instalaciones?	0	10	-	20	30
5.	¿Se ponen al día los planos y los esquemas a medida que se aportan las modificaciones?	0	10	-	20	30
6.	¿Se registran los trabajos de modificación de los equipamientos y se archivan los expedientes de preparación correspondientes (preparación, puesta al día de la documentación)?	0	5	-	15	20
7.	¿Son fácilmente obtenibles los contratos de mantenimiento (constructores o contratistas)?	0	5	-	15	20
8.	¿Son suficientes los medios de reprografía?	0	-	5	-	10
					I - 190 puntos posibles	Subtotal: 85

		no	más bien no	ni sí ni no	más bien sí	sí
J. PERSONAL Y FORMACIÓN						
1.	¿El ambiente de trabajo es en general positivo?	0	10	-	25	40
2.	¿Dirigen y supervisan correctamente los mandos intermedios los trabajos efectuados por los operarios bajo su responsabilidad?	0	10	-	20	30
3.	¿Se examinan en grupo los problemas a menudo, incluyendo también a los operarios (círculos de calidad, grupos de progreso)?	0	10	-	20	30
4.	¿Se llevan a cabo encuentros periódicos de apreciación entre el personal directivo y el operativo?	0	5	-	15	20


5.	¿Los mandos intermedios y los operarios están lo suficientemente disponibles? (Alargamiento de jornada laborar para acabar un trabajo, trabajar los sábados...)	0	10	-	20	30
6.	¿Consideran ustedes en general que la formación técnica de su personal es satisfactoria?	0	15	-	35	50
7.	En el trabajo diario ¿estiman ustedes que el personal tiene la iniciativa necesaria?	0	10	-	20	30
8.	¿Sus mandos intermedios aseguran de forma regular el perfeccionamiento del personal en materias técnicas?	0	-	15	-	30
9.	¿Reciben sus mandos intermedios formación en nuevas tecnologías gracias a estancias, visitas a constructores, a exposiciones, etc.?	0	-	15	-	30
10.	¿Recibe su personal formación en seguridad y prevención de accidentes de forma regular?	0	5	-	20	30
11.	¿Programa y domina la formación del personal el servicio de mantenimiento?	0	5	-	15	20
12.	¿Se sigue rigurosamente la cualificación y la habilitación del personal?	0	5	-	15	20
13.	¿Tienen ustedes pérdidas importantes de tiempo productivo debido a retrasos, ausencias?	0	20	-	10	-
14.	¿Son buenas las relaciones de su personal con los agentes de Producción o Explotación?	0	-	5	-	10
		J - 370 puntos posibles			Subtotal:	300

		no	más bien no	ni sí ni no	más bien sí	sí
K. CONTRATACIÓN						
1.	¿Tienen ustedes un proceso de evaluación formal de los contratistas?	0	-	-	-	10
2.	¿Se elaboran cuidadosamente los documentos descriptivos de los trabajos y los pliegos de condiciones?	0	15	-	30	40
3.	¿La selección de los contratistas se lleva a cabo según criterios de técnica y de competencia?	0	5	-	15	20
4.	Desde el punto de vista de ubicación ¿tienen ustedes acceso a muchas empresas de contratación para las áreas que les interesan?	0	5	-	15	20
5.	¿Contratan ustedes las tareas para las que consideran no disponen de suficientes técnicos?	0	10	-	20	30
6.	¿Incluyen en sus contratos con las empresas contratistas cláusulas de resultados?	0	5	-	15	20
7.	¿Desarrollan ustedes una garantía de calidad y la colaboración con los contratistas?	0	10	-	20	30
8.	¿Crean ustedes y ponen al día un expediente por asunto, según un procedimiento de constitución predeterminado?	0	5	-	15	20
9.	El control de los trabajos de los contratistas y la recepción de éstos ¿las lleva a cabo una persona de su servicio, especialmente designada y según procedimientos rigurosos?	0	10	-	20	30


10.	¿Disponen ustedes de documentación específica para que empresas externas lleven a cabo el mantenimiento de sus equipamientos?	0	10	-	20	30
		K - 280 puntos posibles			Subtotal:	180


		no	más bien no	ni sí ni no	más bien sí	sí
L. CONTROL DE LA ACTIVIDAD						
1.	¿Disponen de un cuadro de mando integral (CMI) y de un balance continuo correctivo-preventivo que le permita decidir qué acciones acometer y asignar o cambiar prioridades?	0	-	-	-	20
2.	¿Se dan informes regulares del control de las horas, los costos de mano de obra y repuestos?	0	15	-	20	30
3.	¿Se siguen las especificaciones técnicas del servicio (beneficio previsto no obtenido, seguridad de la explotación disponibilidad de los equipamientos y plazos de respuesta)?	0	15	-	30	40
4.	¿Se controla la eficacia, grado de saturación y tiempos muertos del potencial de mantenimiento?	0	15	-	30	40
5.	¿Dominan Uds. su carga de trabajo?	0	10	-	20	30
6.	¿Disponen Uds. de los costes de mantenimiento, equipamiento por equipamiento?	0	10	-	20	30
7.	¿Tienen posibilidades de cruzar costes por tipo de mantenimiento, por equipamiento o sistema y por secciones?	0	5	15	20	30
8.	¿Disponen Uds. de informes de síntesis en un plazo suficientemente corto?	0	10	-	15	20
9.	¿Emiten Uds. de forma regular un informe de la actividad (todos los meses y anualmente)?	0	10	-	15	20
10.	¿Tienen autonomía a la hora de negociar nuevas actividades, mejorar rendimientos, cambiar procesos y periodicidades, etc.?	0	-	-	-	20
		L - 280 puntos posibles			Subtotal:	85


Anexo D. Codificación Activos de Hydratica

 CODIFICACIÓN ACTIVOS HYDRATICA		
NÚMERO	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
1	HYT-B-DPD-01	Bomba de desplazamiento positivo diesel
9	HYT-B-DPE-01	Bomba de desplazamiento positivo eléctrica
12	HYT-B-DPM-01	Bomba desplazamiento positivo manual
14	HYT-B-DPN-01	Bomba desplazamiento positivo neumática
15	HYT-B-DPN-02	Bomba desplazamiento positivo neumática
16	HYT-B-DPN-03	Bomba desplazamiento positivo neumática
17	HYT-B-CD-01	Bomba centrífuga diesel
20	HYT-B-CE-01	Bomba centrífuga eléctrica
28	HYT-DL-HT1	Equipo registrador de datos Data Logger
33	HYT-DL-ST-01	Sensor de temperatura
39	HYT-DL-SP-01	Sensor Transmisor de presión
46	HYT-PE-D-01	Planta eléctrica diésel
48	HTY-BP-PSV1	Banco de prueba PSV
50	HYT-EHE-PG	Puente Grúa
51	HYT-EHE-COM	Compresor
52	HYT-EHE-TM	Torquímetro
54	HYT-EHE-ESM	Esmeril
55	HYT-EHE-JAC	Camión furgón Jac
56	HYT-EHE-MAP	Mangueras alta presión

Anexo E. Hoja de Información de Equipos Críticos

HOJA DE INFORMACIÓN DEL RCM				
	SISTEMA		SISTEMA N° 2	Facilitador:
	Sistema de presurización			Andrés Ariza
EQUIPO		TAG SUBSISTEMA	Auditor:	Fecha:
Bomba desplazamiento positivo neumática		HYT-B-DPN-01	Ing. Carlos Merchán	de
				1
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	
<p>1. Inyectar fluido a alta presión al equipo o sistemas sometido a prueba hidrostática una vez este se haya llenado en su totalidad del medio de prueba, a valor máximo de presión hidráulica de 12.000 psig.</p>	<p>A. No hay descarga de fluido a alta presión</p>	<p>1. baja presión de aire de accionamiento.</p> <p>2. No hay succión de fluido de tanque a cámara hidráulica de la bomba.</p>	<p>El pistón de aire no es accionado por lo tanto no hay descarga de fluido a alta presión. verificar presión en línea neumática a través del manómetro. revisar estado de línea que no presente fuga de aire. abrir válvula de paso a puerto de entrada de bomba. El valor de presión debe ser equivalente a 100 psig.</p> <p>No hay descarga de fluido a alta presión aún cuando la bomba está accionada por el aire comprimido. Revisar nivel de fluido en tanque y estado de línea de succión.</p>	


HOJA DE INFORMACIÓN DEL RCM				
	SISTEMA		SISTEMA N° 3	Facilitador:
	Sistema de adquisición y registro de datos.			Andrés Ariza
EQUIPO		TAG SUBSISTEMA	Auditor:	Fecha:
Sensor transmisor de presión		HYT-S-TP-01	Ing. Carlos Merchán	de
				1
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	
<p>1. Convertir la magnitud de la presión interna del sistema sometido a prueba hidrostática en una señal eléctrica que va de un rango de 4 a 20 mA y presión máxima de 5.800 psig</p>	<p>A. No convierte la magnitud de presión sensada en señal eléctrica.</p> <p>B. Porcentaje de error en la medición por encima de los límites permitidos.</p>	<p>1. cables desconectados a los puertos en bornera o cortados.</p> <p>2. circuito electrónico en mal estado.</p> <p>1. Sensor de presión descalibrado.</p>	<p>Los tableros digitales no muestran valor de presión.</p> <p>No hay transmisión de señal eléctrica.</p> <p>Presión mostrada en tablero digitales, distante de presión real del sistema mostrada en manómetro.</p>	


HOJA DE INFORMACIÓN DEL RCM				
	SISTEMA		SISTEMA N° 3	Facilitador:
	Sistema de adquisición y registro de datos.			Andrés Ariza
	EQUIPO		TAG SUBSISTEMA	Auditor:
	Sensor de temperatura PT100		HVT-S-T-01	Ing. Carlos Merchán
	Fecha:		Fecha:	Hoja N° 1
				de
				1
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	
<p>1. Convertir el valor de temperatura del fluido de prueba en una señal resistiva, partiendo de una señal de 100 ohms a 0°C</p>	<p>A. No convierte la magnitud de presión sensada en señal resistiva.</p>	<p>1. cables desconectados a los puertos en bornera o cortados.</p>	<p>Los tableros digitales no muestran valor de presión.</p>	
			<p>2. circuito electrónico en mal estado.</p>	<p>No hay transmisión de señal resistiva.</p>
	<p>B. Porcentaje de error en la medición por encima de los límites permitidos.</p>	<p>1. Sensor de temperatura descalibrado.</p>	<p>Temperatura mostrada en tablero digital, distante de temperatura real del sistema.</p>	

Anexo F. Hoja de Decisión de Equipos Críticos


HOJA DE DECISIÓN DEL RCM																
 YDRATICA <small>Technology & Reliability</small>		SISTEMA Sistema de llenado										TAG EQUIPO HYT-B-CD-01		Facilitador Andrés Ariza	Fecha	Hoja N°2
		EQUIPO Bomba centrífuga diésel										SUBCONJUNTO Motor diésel		Auditor Ing. Carlos Merchán	Fecha	de 2
Referencia de información	FF	FM	Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de				TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	PERSONAL ENCARGADO
			H	S	E	O	S1	S2	S3	O1	O2	O3	H4			
F									N1	N2	N3					
1	A	1	S	N	N	S	N	S	N	N	N	N	N	Desmontar el arranque reretractil. Verificar estado de sus componentes, cambiar piezas en mal estado. ajustar el apriete de los tornillos que acoplan el mecanismo de arranque al volante de inercia. Volver a montar. Comprobar su funcionalidad.	MENSUAL	Técnico de campo
1	A	2	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	N	Verificar que la línea de distribución de combustible no esté obstruida, estrangulada o rota. Cambiar si está rota. Verificar Operatividad de los inyectores. reajustar el ángulo de inyección si es necesario. Verificar estado de anillos y empaques de pistón. Cambiar los que presenten deformaciones o juego .	TRIMESTRAL	Técnico de campo
1	A	3	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	N	Drenar el tanque de combustible totalmente, volver a llenar de combustible el tanque, verifique el estado de los acoples de las líneas que entran y salen del tanque, si están en mal estado corrijalas.	SEMESTRAL	Técnico de campo
1	B	1	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	N	Desmontar la bomba de combustible, verificar el estado de sus componentes internos, realizar limpieza.	SEMESTRAL	Técnico de campo
1	B	2	S	N	N	S	N	S	N	N	N	N	N	Desmontar el filtro de aire, realizar limpieza , volver a montar.	MENSUAL	Técnico de campo.
1	B	3	S	N	N	S	N	S	N	N	N	N	N	Desmontar el filtro de combustible,		
1	B	4	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N			


HOJA DE DECISIÓN DEL RCM																
 YDRATICA <small>Technology & Reliability</small>		SISTEMA Sistema de presurización										SISTEMA N° 2		Facilitador Andrés Ariza	Fecha	Hoja N°1
		EQUIPO Bomba desplazamiento positivo neumática										TAG EQUIPO HYT-B-DPN-01		Auditor Ing. Carlos Merchán	Fecha	de 1
Referencia de información	FF	FM	Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de				TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	PERSONAL ENCARGADO
			H	S	E	O	S1	S2	S3	O1	O2	O3	H4			
F									N1	N2	N3					
1	A	1	S	N	N	S	N	S	N	N	N	N	N	Desconectar tubería línea neumática, realizar limpieza interna de la misma. Verificar estado de accionamientos de válvulas de paso de aire comprimido. corregir si el estado es irregular.	TRIMESTRAL	Técnico de campo
1	A	2	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	Debido a que la presión de succión no es lo suficientemente grande para vencer la resistencia que le opone al paso del fluido la válvula antirretorno presente en el puerto de entrada de fluido a la camara hidráulica de la bomba y que este suceso se presenta siempre que el equipo se pone en servicio, se decide eliminar la característica autocebante de este equipo y cebarla o alimentarla de fluido por medio de una bomba centrífuga eléctrica.		


		HOJA DE DECISIÓN DEL RCM														
		SISTEMA						SISTEMA N° 3			Facilitador		Fecha	Hoja N°1		
		Sistema de adquisición y registro de datos									Andrés Ariza					
Referencia de información		Evaluación de las consecuencias						EQUIPO			TAG EQUIPO		Auditor		Fecha	de
								Sensor de temperatura			HYT-S-T-01		Ing. Carlos Merchán			1
F	FF	FM	H	S	E	O	H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción a falta de				TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	PERSONAL ENCARGADO
							O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4				
1	A	1	S	N	N	S	N	S	N	N	N	N	N	Reajustar conexiones de cables en bornera. Verificar con multímetro polaridad de puertos.	preoperacional	Técnico de campo
1	A	2	S	N	N	S	N	S	N	N	N	N	N	Realizar calibración de sensor.	Semestral	Personal externo.


		HOJA DE DECISIÓN DEL RCM														
		SISTEMA						SISTEMA N° 3			Facilitador		Fecha	Hoja N°1		
		Sistema de adquisición y registro de datos									Andrés Ariza					
Referencia de información		Evaluación de las consecuencias						EQUIPO			TAG EQUIPO		Auditor		Fecha	de
								Sensor transmisor de presión			HYT-S-TP-01		Ing. Carlos Merchán			1
F	FF	FM	H	S	E	O	H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción a falta de				TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	PERSONAL ENCARGADO
							O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4				
1	A	1	S	N	N	S	N	S	N	N	N	N	N	Reajustar conexiones de cables en bornera. Verificar con multímetro polaridad de puertos.	Preoperacional	Técnico de campo
1	A	2	S	N	N	S	N	S	N	N	N	N	N	Realizar calibración de sensor.	Semestral	Personal externo.


Anexo G. Plan de Mantenimiento Estándar para Equipos Críticos

	PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO ESTANDAR	
	GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO	Versión: 1
BOMBA DESPLAZAMIENTO POSITIVO DIESEL		
INTERVALO	REALIZADO POR	
DOS SEMANAS	TÉCNICO DE CAMPO	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Retirar con llave mixta o expansiva bushing para acople manguera de alimentación, del puerto de entrada de fluido. 2. Limpiar filtro de entrada de agua de alimentación con trapo industrial y agua limpia. 3. Montar acople nuevamente, conectar manguera de alimentación de fluido y bomba centrífuga diesel de cebado. 4. Encender la bomba de desplazamiento positivo diesel y verificar la cantidad de fluido expulsado por el puerto de salida de la bomba. 		
BOMBA DESPLAZAMIENTO POSITIVO DIESEL		
INTERVALO	REALIZADO POR	
MENSUAL	TÉCNICO DE CAMPO	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Revisar nivel de aceite en la bomba por medio de la mirilla ubicada en un lado de la carcasa. El nivel óptimo de aceite debe ser en la ubicación del punto rojo de mirilla. 2. Según el nivel de aceite, agregar o drenar. 3. Verificar que no haya presencia de fugas de lubricante en cuerpo de bomba, especialmente en el la junta eje motor-eje hueco cigüeñal, si existe esta desmontar y cambiar anillo reten cigüeñal. 		
BOMBA DESPLAZAMIENTO POSITIVO DIESEL		
INTERVALO	REALIZADO POR	
TRIMESTRAL	TÉCNICO DE CAMPO	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Desmontar cabezal de bronce de la bomba. 2. Desmontar empaquetadura de pistones. 3. Según condición superficial de sellos blandos de alta presión, de baja presión, Anillo RESTOP, o rings y anillos de bronce cambiarlos o mantenerlos. 4. Montar empaquetadura en su orden correcto en el pistón. 5. Montar cabezal de bronce. 		


	PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO ESTANDAR	
	GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO	Versión: 1
BOMBA DESPLAZAMIENTO POSITIVO NEUMÁTICA	TAG	
INTERVALO	REALIZADO POR	
TRIMESTRAL	TÉCNICO DE CAMPO	
<p>1. Desmontar tubería línea neumática usando llave mixta para realizar desacoples de válvulas de paso y tuercas de ajuste.</p> <p>2. Realizar inspección visual a línea de tubería asegurándose que no existan huecos u obstrucciones que generen fugas u impidan el paso del aire comprimido.</p> <p>3. Desmontar válvulas de bola ubicadas en la línea neumática para controlar el paso de aire comprimido.</p> <p>4. Realizar limpieza de su superficie interna con trapo industrial.</p> <p>5. Realizar montaje de línea neumática.</p>		
REDISEÑO		
Línea de succión de fluido para alimentación de la bomba.		
<p>FALLA: NULA O BAJA DESCARGA DE FLUIDO A ALTA PRESIÓN EN PUERTO DE SALIDA DE LA BOMBA.</p> <p>Debido a que la presión con que se realiza la succión no es lo suficientemente grande para vencer la resistencia que le opone, la válvula antirretorno presente en el puerto de entrada a la cámara hidráulica de la bomba al paso del fluido, y que este suceso se presenta siempre que el equipo se pone en servicio, se decide eliminar la característica autocebante de este equipo y alimentarla por medio de una bomba centrífuga eléctrica, la cual es capaz de vencer la resistencia que opone la válvula antirretorno y por ello alimenta eficientemente la bomba para que ella cumpla su función principal que es descargar cierto volumen de fluido a alta presión.</p>		

	PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO ESTANDAR	
	GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO	Versión: 1
MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DIESEL		TAG
INTERVALO	REALIZADO POR	
MENSUAL	TÉCNICO DE CAMPO	
<p>1. Desmontar el arranque del motor llamado arranque de retroceso retractil (YOYO), retirando los tornillos que lo ajustan al cuerpo del motor.</p> <p>2. Retirar campana que transmite el movimiento rotativo al volante de inercia, soltando la tuerca y el tornillo de fijación.</p> <p>3. Verificar estado de sus componentes internos, cuerda de encendido, campana de acople al volante de inercia del motor.</p> <p>4. Cambiar piezas que se encuentren en mal estado. Ajustar el apriete de los tornillos que acoplan el mecanismo de arranque al volante de inercia. Volver a montar. Comprobar su funcionalidad, encendiendo el motor.</p>		
INTERVALO	REALIZADO POR	
TRIMESTRAL	TÉCNICO DE CAMPO	
<p>1. Desmontar tanque de combustible, desacoplando mangueras de distribución de combustible y soltando tornillos de ajuste.</p> <p>2. Verificar que la línea de distribución de combustible no esté obstruida, estrangulada o rota. Si se presenta cualquier situación de las nombradas las mangueras se deben cambiar. Verificar estado del grafado o conexión.</p> <p>3. Montar tanque nuevamente realizando las conexiones de las mangueras de distribución.</p> <p>4. Retirar culata del motor soltando los tornillos que lo acoplan al cuerpo del motor.</p> <p>5. Desconectar inyector de combustible, verificar estado de sus partes internas. Si hay presencia de contaminación o residuos solidos, realizar limpieza. Si encontramos alguna parte interna dañada o quemada, el inyector debe ser reemplazado por uno nuevo.</p> <p>6. Montar inyectores asegurandose que su conexión y posición sea la correcta.</p> <p>7. Encender equipo y verificar su correcto desempeño operativo.</p>		
INTERVALO	REALIZADO POR	
SEMESTRAL	TÉCNICO DE CAMPO	
<p>1. Retirar tapón de drenaje de combustible.</p> <p>2. Drenar la totalidad del combustible que contiene el tanque de combustible.</p> <p>3. Contener combustible drenado en tasa o balde.</p> <p>4. Verificar si hay presencia de agua u otro liquido en el combustible.</p> <p>5. Si el combustible no contiene agua u otro líquido, volver a llenar el tanque con es mismo combustible. de lo contrario llenar el tanque con combustible limpio.</p>		
INTERVALO	REALIZADO POR	
SEMESTRAL	TÉCNICO DE CAMPO	
<p>1. Desmontar bomba de combustible.</p> <p>2. Revisar partes internas y estado operativo de la misma.</p> <p>3. De acuerdo al diganostico anterior, se decidira reemplazarla o mantenerla.</p>		
INTERVALO	REALIZADO POR	
MENSUAL	TÉCNICO DE CAMPO	
<p>1. Retirar tapa de protección filtro de aire.</p> <p>2. Realizar limpieza general.</p>		
INTERVALO	REALIZADO POR	
MENSUAL	TÉCNICO DE CAMPO	
<p>1. Desmontar filtro de combustible.</p> <p>2. Realizar limpieza general.</p> <p>3. Volver a instalar.</p>		

	PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO ESTANDAR	
	GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO	Versión: 1
SENSOR TRANSMISOR DE PRESIÓN		
		TAG
INTERVALO	REALIZADO POR	
PREOPERACIONAL	TÉCNICO DE CAMPO	
<p>1. Revisar conexión cable de datos a circuito interno del sensor. Usar multímetro y destornillador.</p> <p>2. Realizar inspección visual a cuerpo del transmisor, verificar buen estado de facilidad roscada NPT (M).</p>		
INTERVALO		
		TAG
INTERVALO	REALIZADO POR	
SEMESTRAL	OUTSOURCING	
<p>1. Calibración del transmisor de presión certificada por la ONAC.</p>		

	PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO ESTANDAR	
	GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO	Versión: 1
SENSOR DE TEMPERATURA		
		TAG
INTERVALO	REALIZADO POR	
PREOPERACIONAL	TÉCNICO DE CAMPO	
<p>1. Retirar tapa de protección de conexiones eléctricas. Revisar conexión cable de datos a bornera. Usar multímetro y destornillador.</p> <p>2. Realizar inspección visual a cuerpo del sensor verificar buen estado de facilidad roscada NPT (M) y del bulbo se acero inoxidable.</p>		
INTERVALO		
		TAG
INTERVALO	REALIZADO POR	
SEMESTRAL	OUTSOURCING	
<p>1. Calibración del sensor de temperatura certificada por la ONAC.</p>		

Anexo H. Hoja de Vida Indicador de Gestión del Mantenimiento Costo de Mantenimiento Anual Versus Costo de Reposición Anual

		HOJA DE VIDA INDICADOR					
		GESTIÓN GERENCIAL Y ESTRATÉGICA					
		HYT-GGE-F-004	Elaborado 18/07/2018	Versión: 1			
PROCESO		GESTIÓN ADMINISTRATIVA					
OBJETIVO DEL PROCESO.		Permitir la toma de decisiones anual sobre la reposición o continuidad de la mantenibilidad de los activos críticos.					
NATURALEZA DEL FACTOR CRÍTICO DE ÉXITO.		Eficacia					
NOMBRE DEL INDICADOR.		Costo de Mantenimiento versus de Reposición					
FÓRMULA DEL INDICADOR							
DESCRIPCIÓN VARIABLE A.	FÓRMULA DE CÁLCULO		META ANUAL DEL INDICADOR	UNIDAD DEL INDICADOR			
Costo de Mantenimiento Anual del Activo	$\frac{A}{B} \times 100$		<50%	%			
DESCRIPCIÓN VARIABLE B.			META DEL PERIODO	PERIODICIDAD DEL INDICADOR			
Costo de Reposición del Activo para la Vigencia			<50%	Anual			
RESULTADOS							
ACTIVO	ACCIONAMIENTO	TAG INTERNO	Costo de Activo Vigencia 2018	Costo de Mantenimiento 2018	Costo de Mantenimiento versus Costo de Reposición		
BOMBAS	DESPLAZAMIENTO POSITIVO	ELÉCTRICA	HYT-B-DPE-01		-		
			HYT-B-DPE-02	4.000.000	-		
			HYT-B-DPE-03		-		
		DIESEL	HYT-B-DPD-01		4.200.000		
			HYT-B-DPD-02				
			HYT-B-DPD-03				
			HYT-B-DPD-04				
			HYT-B-DPD-05				
		MANUAL	HYT-B-DPM-01		3.500.000		
			HYT-B-DPM-02				
		NEUMÁTICA	HYT-B-DPN-01		25.000.000		
			HYT-B-DPN-02				
	CENTRÍFUGA	ELÉCTRICA	HYT-B-CE-01		800.000	-	
			HYT-B-CE-02			-	
			HYT-B-CE-03			-	
			HYT-B-CE-04			-	
			HYT-B-CE-05			-	
			HYT-B-CE-06			-	
DIESEL		HYT-B-CD-01		4.500.000			
		HYT-B-CD-02					
Equipo de Adquisición de Datos	ELÉCTRICA	HYT-DL-HT 1	28.000.000				
		HYT-DL-HT 2					
		HYT-DL-HT 3					
		HYT-DL-HT 4					
		HYT-DL-HT 5					
Planta Eléctrica	DIESEL	HYT-PE-D-01	4.200.000				
		HYT-PE-D-02					
ANÁLISIS							
<p>Este indicador aplica para los siguientes activos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Bombas de desplazamiento positivo. 2. Bombas Centrífugas. 3. Equipos Data Logger. 4. Generadores Eléctricos. 							

Anexo I. Hoja de Vida Indicador de Gestión del Mantenimiento Actividades Programadas Versus Actividades Ejecutadas.

HOJA DE VIDA INDICADOR													
GESTIÓN GERENCIAL Y ESTRATÉGICA													
HYT-GGE-F-004	Elaborado 18/07/2018												
Versión: 1													
PROCESO	GESTIÓN ADMINISTRATIVA												
OBJETIVO DEL PROCESO.	Asegurar la disponibilidad del 100% de los activos críticos de la empresa durante la prestación de los servicios en campo, mediante el cumplimiento de la estrategia de mantenimiento a los equipos.												
NATURALEZA DEL FACTOR CRÍTICO DE ÉXITO.	Eficacia												
NOMBRE DEL INDICADOR.	Cumplimiento al Programa de Mantenimiento												
FÓRMULA DEL INDICADOR													
DESCRIPCIÓN VARIABLE A.	FÓRMULA DE CÁLCULO	META ANUAL DEL INDICADOR	UNIDAD DEL INDICADOR										
Número de actividades de mantenimiento ejecutadas.	$\frac{A}{B} \times 100$	80%	%										
DESCRIPCIÓN VARIABLE B.		META DEL PERIODO	PERIODICIDAD DEL INDICADOR										
Número de actividades de mantenimiento programadas.		80%	Trimestral										
RESULTADOS													
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
A													
B													
RESULTADO													
GRAFICA							ANÁLISIS						
<p style="text-align: center;">Mantenimiento Preventivo</p>													