

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO UTILIZANDO LA ESTRATEGIA
RCM PARA LAS UNIDADES DE BOMBEO DE LA PLANTA SANTA ROSA DE
ECOPETROL S.A.

JUAN CARLOS MURILLO HIGUERA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DESNATANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2020

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO UTILIZANDO LA ESTRATEGIA
RCM PARA LAS UNIDADES DE BOMBEO DE LA PLANTA SANTA ROSA DE
ECOPETROL S.A.

JUAN CARLOS MURILLO HIGUERA

Monografía presentada como requisito para optar por el título de: Especialista en
Gerencia de Mantenimiento

DIRECTOR

DANIEL ALEJANDRO GALLO JARA
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DESNATANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2020

DEDICATORIA

A Dios: por permitir el cumplimiento en las circunstancias globales actuales un objetivo, que representa el esfuerzo y dedicación, ese ser que merece toda la gloria. Tú mi Dios que todo lo permites, y entregaste todas las oportunidades para culminar esta meta.

A mi esposa Leyla, mi hija María Paula Murillo, que son el motor que impulsa mi vida, por sus enseñanzas y ejemplo de nobleza y resistencia, por su apoyo y dedicación para lograr cumplir objetivos y metas para desarrollarme como profesional. Y así ofrecer estabilidad y un futuro pleno de oportunidades para todos.

Juan Carlos

AGRADECIMIENTOS

A Dios por guiarme en el desarrollo de este proyecto. También a todos los docentes, compañeros y profesionales que me aportaron para el desarrollo de este proceso.

A la Universidad Industrial de Santander por su disposición y gestión para el desarrollo de la Especialización en la situación actual de salud en el mundo.

A ECOPETROL S.A.: Por el apoyo a sus trabajadores para que logren y realicen sus metas, sueños y objetivos.

A la USO: Porque años de lucha de sacrificio y de gestión han logrado que para los trabajadores se otorguen becas para estudios superiores, especializaciones y maestrías.

Al personal de operaciones de la planta Santa Rosa por su disposición, su interés en el proyecto y sus aportes.

Juan Carlos Murillo Higuera

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	13
1. OBJETIVOS.....	15
1.1 OBJETIVO GENERAL	15
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	15
2. CONCEPTOS TEORICOS.....	16
2.1 MARCO CONCEPTUAL	16
2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE.....	16
2.2.1 Recursos materiales.	18
2.2.2 Esquema del sistema por sectores	18
2.2.3 Perfil de línea sistema Poliandino.	18
2.2.4 Esquema del sistema por sectores	19
2.2.5 Llenado de línea del sistema	19
2.2.6 Planta Santa Rosa	20
2.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DE EQUIPO DE BOMBEO.....	20
2.3.1 Sistema general de bombeo	20
2.3.2 Descripción del motor.	20
2.3.3 Acople del motor.	21
2.3.4 Variador de velocidad.	22
2.3.5 Sello mecánico.....	23
2.3.6 Descripción de la bomba.....	24
2.3.7 Ventiladores, enfriadores de aceite.....	24
2.4 MODELO DE MANTENIMIENTO Y ESTRUCTURA DE SAP.....	25
2.4.1 Mantenimiento Preventivo.....	25
2.4.2 Mantenimiento Predictivo.....	27

2.4.3 Mantenimiento por condición.	27
2.4.4 Sostenimiento del Desempeño de los activos.....	28
2.4.5 Ingeniería de Mantenimiento.....	28
2.4.6 Sistema de Gestión de mantenimiento (CMMS-SAP).....	28
2.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	31
2.6 JUSTIFICACION DEL PLAN PROPUESTO	31
3. MARCO TEORICO	33
3.1 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM	33
3.1.1 Antecedentes históricos en algunos sectores.	33
3.1.2 Historia reciente del mantenimiento industrial.....	34
3.1.3 Evolución del mantenimiento.	35
3.1.4 Confiabilidad.	36
3.1.5 Mantenibilidad.....	36
3.1.6 Disponibilidad.....	37
3.1.7 La norma UNE 20812 y el RCM.....	37
3.1.8 Metas y objetivos a cumplir con RCM.....	37
3.1.9 Definición de RCM y su tecnología.	38
3.1.10 Fases de la implementación real del RCM.....	40
3.1.11 Proceso de implementación del RCM	40
3.1.12 Confiabilidad operacional.....	40
3.2 ANÁLISIS DE CRITICIDAD SOBRE LAS UNIDADES DE BOMBEO	41
3.2.1 Condiciones generales.....	41
3.2.2 Distribución de cargos en el direccionamiento de la gestión de activos.....	42
3.2.3 Proceso de gestión de los activos según criticidad	44
3.2.4 Clasificar Activos por Criticidad.....	44
3.2.5 Clasificación de Activos por criticidad.	46
3.2.6 Recursos e Insumos.	47
3.2.7 Documentación requerida para talleres de Criticidad	47
3.2.8 Clasificación de Activos por Disponibilidad operacional.	48

4. PREPARACION DE LA INFORMACION.....	50
4.1 CRITICIDAD = FRECUENCIA DE FALLA *CONSECUENCIAS.....	50
4.2 ESTUDIO DE CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO.....	55
5. MODELO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO.....	57
6. CONCLUSIONES	62
BIBLIOGRAFIA.....	63
ANEXOS.....	65

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Productos transportados	18
Tabla 2. Llenos de línea del sistema.....	19
Tabla 3. Beneficios como metas en un mtto. Centrado en confiabilidad.....	38
Tabla 4. Distribución de cargos en el direccionamiento de la gestión de activos ..	43
Tabla 5. Frecuencia de Fallas.....	51
Tabla 6. Consecuencias en las personas	52
Tabla 7. Consecuencias al ambiente	52
Tabla 8. Efectos en costos operativos	53
Tabla 9. Consecuencias sobre la operación	53
Tabla 10. Efectos en la imagen de la empresa	53
Tabla 11. Consecuencias clientes	54
Tabla 12. Impacto en el tiempo medio para reparar	54
Tabla 13. Estudio de criticidad de los equipos de bombeo principales	55
Tabla 14. Subdivisión de equipo motor.....	57
Tabla 15. Modos de falla motor.....	57
Tabla 16. Tareas de mantenimiento motor BPC 8410-20-30.....	58
Tabla 17. Subdivisión del equipo bomba	59
Tabla 18. Modos de falla bomba BPC 8410-20-30	59
Tabla 19. Tareas de mantenimiento bomba principal BPC 8410-20-30.....	59
Tabla 20. Modos de falla variador unidad BPC 8410-20-30	60
Tabla 21. Tareas de mantenimiento variador principal BPC 8410-20-30.....	60

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Infraestructura de poliductos.....	17
Figura 2. Esquema del sistema por sectores	18
Figura 3. Perfil de línea del sistema Poliandino	19
Figura 4. Mímico sistema de bombeo planta Santa Rosa.....	20
Figura 5. Disposición motores y bombas Planta Santa Rosa	20
Figura 6. Motor eléctrico Loher, 3000 HP-2240 KW	21
Figura 7. Acople del motor	21
Figura 8. Variador Voith	22
Figura 9. Operación del variador de velocidad Turbo Voith	23
Figura 10. Sello Mecánico Burgmann	23
Figura 11. Sulzer Bingham Pump 6X8X13.5B	24
Figura 12. Ventilador enfriador aceite lubricante.....	24
Figura 13. Categoría de mantenimiento SAP	29
Figura 14. Gestión de órdenes de Mantenimiento SAP	29
Figura 15. Estructura de ubicaciones SAP	30
Figura 16. Nivel 2 Negocio SAP.....	30
Figura 17. Nivel 6 Subproceso SAP.....	30
Figura 18. Evolución del mantenimiento	36
Figura 19. Etapas del proceso de gestión de Activos Según Criticidad	44
Figura 20. Esquema de clasificación de Activos Industriales por criticidad	45
Figura 21. Fases modelo administración de Criticidad de Activos	46
Figura 22. Clasificar activos por criticidad.....	47
Figura 23. Árbol de decisión de clasificación de activos por disponibilidad	49
Figura 24. Matriz RAM ECOPETROL-CENIT	51
Figura 25. Jerarquía de equipos Planta Santa Rosa	57

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Divulgación metodología RCM a personal de operaciones	65

RESUMEN

TITULO: DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO UTILIZANDO LA ESTRATEGIA RCM PARA LAS UNIDADES DE BOMBEO DE LA PLANTA SANTA ROSA DE ECOPETROL S.A.

AUTOR: JUAN CARLOS MURILLO HIGUERA

PALABRAS CLAVES: Refinados, Bombas centrifugas, Planta de rebombeo, RCM, Presión, variador hidrodinámico, Mantenimiento, Confiabilidad.

DESCRIPCION

El Mantenimiento Basado en Confiabilidad es una estrategia sistemática, estructurada, lógica y razonada para el análisis de sistemas, equipos y elementos, que permite mitigar la materialización de fallas, y prevenir las consecuencias que generan paradas no programadas, pérdidas de producción, impactos ambientales, operacionales, imagen de los clientes y costos por reparaciones; diseñando un plan de mantenimiento, que contemple las tareas adecuadas para anticiparse a los eventos generados por los equipos críticos del sistema o del equipo.

La generación de valor agregado en los procesos y operaciones representa un activo para las organizaciones. Reconocer y actuar alineado con las estrategias y las políticas corporativas (Misión, Visión, principios y valores) y el cumplimiento de los objetivos; motivó a que se realizara un escaneo del estado, de la estrategia implementada, reconociendo aquellas oportunidades de mejora que se pueden implementar utilizando la filosofía RCM.

Integrando en el proceso un elemento importante conexo a la operación y que presta de primera mano la atención, este es el grupo de operaciones; quienes en su día a día se enfrentan a los procesos, sistemas y equipos, los conocen, desde su función, sus modos de falla, sus características hasta sus sonidos, temperatura y demás variables. Este grupo es el foco de interés del proyecto.

Es así como se desarrolló a lo largo de este proyecto un estudio de los conceptos del mantenimiento basado en confiabilidad y el análisis de los equipos de rebombeo principales de la planta Santa Rosa de CENIT, con foco en RCM.

*Trabajo de grado

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Daniel Alejandro Gallo Jara Especialista en Gerencia de Mantenimiento.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN OF A MAINTENANCE PLAN USING THE RCM STRATEGY FOR THE PUMPING UNITS OF THE SANTA ROSA DE ECOPETROL S.A. PLANT

AUTHOR: JUAN CARLOS MURILLO HIGUERA

KEY WORDS: Refined, Centrifugal pumps, Pumping plant, RCM, Pressure, hydrodynamic variator, Maintenance, Reliability.

DESCRIPTION

Reliability-Based Maintenance is a systematic, structured, logical and reasoned strategy for the analysis of systems, equipment and elements, which allows to mitigate the materialization of failures, and prevent the consequences that generate unscheduled stops, production losses, environmental impacts, operational, image of clients and costs for repairs; designing a maintenance plan, which includes the adequate tasks to anticipate the events generated by the critical equipment of the system or the equipment.

The generation of added value in processes and operations represents an asset for organizations. Recognize and act in line with corporate strategies and policies (Mission, Vision, principles and values) and the fulfillment of objectives; It motivated a scan of the status of the implemented strategy, recognizing those improvement opportunities that can be implemented using the RCM philosophy.

Integrating in the process an important element related to the operation and that pays first-hand attention, this is the group of operations; Those who in their day-to-day deal with processes, systems and equipment, know them, from their function, their failure modes, their characteristics to their sounds, temperature and other variables. This group is the focus of interest of the project.

This is how a study of the concepts of maintenance based on reliability and the analysis of the main pumping equipment of CENIT's Santa Rosa plant was developed throughout this project, with a focus on RCM.

*Degree work

** Faculty of Physico-Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Director: Daniel Alejandro Gallo Jara. Specialization in Maintenance Management.

INTRODUCCION

La transformación de una organización es siempre el pilar más importante para la sostenibilidad y la continuidad de un negocio, el sistema de transporte de Ecopetrol (VIT) no debe ser la excepción, por esta razón a todos los niveles, se observan cambios sustanciales.

Para la distribución equitativa de los productos refinados del hidrocarburo (Gasolina, GLP, Biodiesel, Gasolina extra, Jet A), y ya que se evidenció que los clientes presentaban quejas y reclamos por la poca atención en sus pedidos y la gran diferencia de volúmenes solicitados y gestionados o entregados, Ecopetrol determinó, crear una filial especializada (CENIT SAS), para la correcta y equitativa distribución de sus productos entre sus clientes.

Una vez creada la filial CENIT, todos los activos fueron entregados por Ecopetrol a la filial, para su administración. Entre otros cambios, la estrategia de mantenimiento que era desarrollada por trabajadores directos de Ecopetrol, migro inicialmente a un tercero que en este caso no estaba preparado para asumir tal rol, durante la transición se crearon nuevos cargos asumidos por el contratista y reubicados los técnicos directos que estaban encargados del mantenimiento, esto generó la pérdida de la continuidad de la estrategia y por consiguiente el descuido de la gestión en el proceso durante la estabilización. A la fecha es asumido por un tercero Masa-Stork, multinacional que ganó la licitación; a partir de este momento inicia una nueva etapa, con muchos alti-bajos en la gestión, por la forma como se viene desarrollando, y debido a la pandemia derivada del (COVID19), los equipos han sufrido los efectos de estos dos nuevos escenarios.

Optimizar el recurso de mantenimiento es el objetivo de la filial, sin embargo, todo cambio tiene sus ventajas y desventajas. En el momento actual continúa la

coyuntura sin lograrse la estabilización, se han cometido errores y se ha descuidado la gestión, evidenciado en las fallas no atendidas y llevando los equipos a paradas no programadas, pérdida de disponibilidad, baja eficiencia.

Este proyecto está enfocado en revisar y analizar la estrategia de mantenimiento actual, su estructura, el estado general de los equipos críticos como las bombas principales, y como las han impactado los cambios, el rol que ha desempeñado el grupo de operaciones para sostener la estrategia y mejorar aportando el diseño de un plan de mantenimiento basado en la filosofía RCM. Aumentar la disponibilidad y la confiabilidad del proceso.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Realizar un estudio de criticidad de los equipos en referencia.
- Analizar el estado actual de los equipos de acuerdo con las fallas presentadas.
- Reconocer los efectos y modos de falla de los equipos para poder evaluar los métodos de reducción mediante técnicas de análisis de confiabilidad.
- Diseñar un plan de mantenimiento basado en RCM para las unidades principales de bombeo de la planta.
- Divulgación del estado actual del mantenimiento y las ventajas de conocer y aplicar la filosofía.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Validar la criticidad de las unidades de bombeo de la planta Santa Rosa.
- Aplicar la metodología RCM a los equipos de bombeo principales de la planta Santa Rosa.
- Obtener un plan de mantenimiento a las unidades de bombeo principales de la planta Santa Rosa.

2. CONCEPTOS TEORICOS

2.1 MARCO CONCEPTUAL

Para este estudio de caso, diseño de un plan de mantenimiento para las unidades de bombeo principales, de la planta Santa Rosa, perteneciente a la filial Cenit S.A.S., y de los cuales depende los resultados del sistema, para aplicar la metodología RCM, se hará abordando toda la filosofía y el proceso de implementación para identificar inicialmente las implicaciones que se tendrán sobre los equipos, conociendo a fondo las características técnicas, funciones, modos de fallo, consecuencias, etc. realizando de forma concreta un estudio de las tres unidades principales de bombeo de la planta, revisando el histórico de las fallas, cuáles son las recurrentes, qué se ha hecho para evitarlas o superarlas; luego de ejecutado el análisis preparar el plan de mantenimiento adecuado para los equipos, sin dejar de lado la estrategia utilizada por los grupos de mantenimiento hasta el momento, ya que el director del proyecto es conocedor del comportamiento y del histórico del mantenimiento aplicado. Igualmente divulgar socializar con el equipo de operaciones esta estrategia, lo que lleva a un conocimiento y empoderamiento de los equipos más sensibles de su operación. Iniciando por la descripción del sistema.

2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE.

Según, “el anexo 1. ESPECIFICACIONES TÉCNICASN GENERALES .2”¹. CENIT cuenta con una red de oleoductos de 4543 km y una capacidad de evacuación de 1.215 kilo barriles por día (KBPD), una red de poliductos de 3.635 km y una capacidad de transporte de 335KBD, seis descargaderos: Monterrey Araguaey,

¹ Especificaciones técnicas generales del contrato de Servicio Integral para el mantenimiento de estaciones del sistema de transporte y logística de hidrocarburos.

Vasconia, Ayacucho, rubiales, Jagüey, dos cargaderos en Pozos Colorados y Tocancipá y tres terminales marítimas, uno de importación de productos refinados y dos de exportación de crudos, Terminal Coveñas y Terminal Tumaco, ver figura (1).

Figura 1. Infraestructura de poliductos



Fuente: Ecopetrol. Planta Santa Rosa (2020)

2.2.1 Recursos materiales. En este apartado se presentan los recursos, variables y parámetros que hacen parte del escenario de estudio.

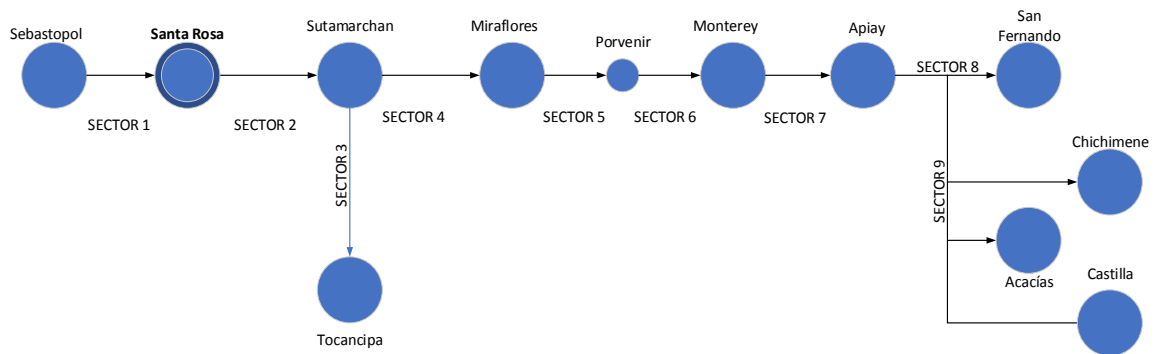
Tabla 1. Productos transportados

Producto	Sigla	Código
Biodiesel B2 Extra	B2E	6
Gasolina Regular	GMR	7
Queroseno Hidrotratado	KHDT	9
Nafta Virgen	NAT	14
Biodiesel B4 Extra	B4E	42

Fuente: Instructivo Operacional para el transporte de hidrocarburos por ducto del sistema.

2.2.2 Esquema del sistema por sectores

Figura 2. Esquema del sistema por sectores



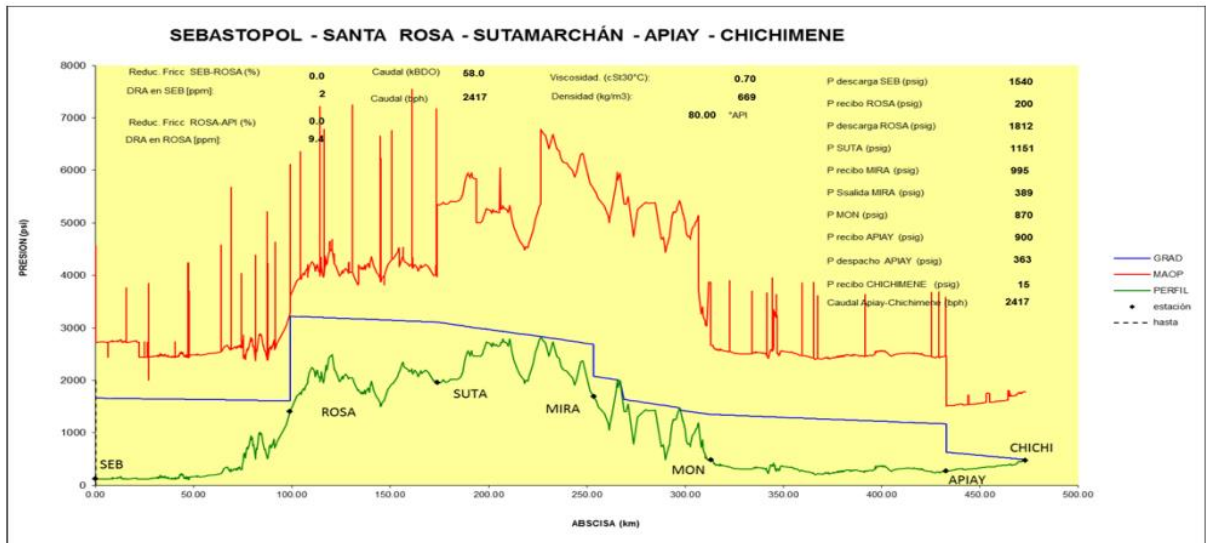
Fuente: Instructivo Operacional para el transporte de hidrocarburos por ducto del sistema

2.2.3 Perfil de línea sistema Poliandino. Sistema compuesto por línea de tubería de diámetro 20” entre Sebastopol y Santa Rosa, 16” entre Santa Rosa-Sutamarchán-Tocancipá, 12” entre Sutamarchan – Miraflores-Monterrey, 16” entre Monterrey – Apiay y termina en 10” entre Apiay-San Fernando y el triángulo

(Chichimene, Acacias y Castila) el sistema permita asegurar suministro de Nafta para la dilución de crudos pesados producidos en los Llanos Orientales y combustibles G. Motor y B2E a Tocancipá para soportar el abastecimiento del centro y Oriente del país.

2.2.4 Esquema del sistema por sectores

Figura 3. Perfil de línea del sistema Poliandino



Fuente: Instructivo Operacional para el transporte de hidrocarburos por ducto del sistema

2.2.5 Llenado de línea del sistema

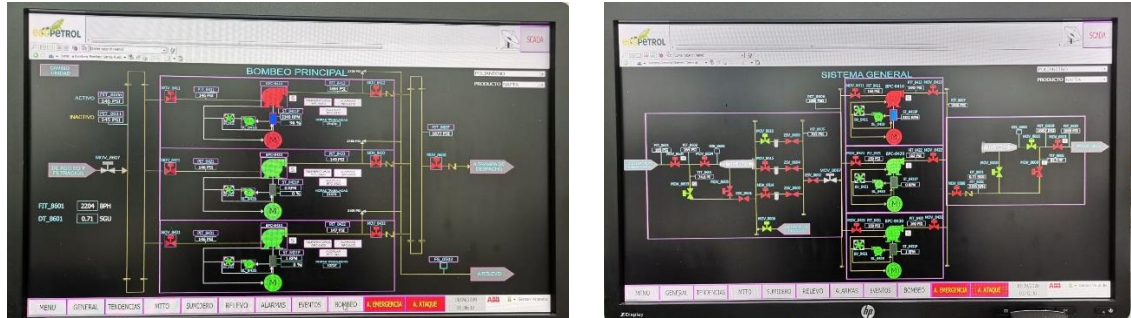
Tabla 2. Llenos de línea del sistema

Sector	Inicia	termina	Diámetro	Llenado bls.
1	Sebastopol	Santa Rosa	20"	116.096
2	Santa Rosa	Sutamarchan	16"	57.697
3	Sutamarchan	Tocancipá	16"	74.673
			Total	246.453
4	Sutamarchán	Miraflores	12"	35.672
5	Miraflores	Porvenir	12"	23.011
6	Porvenir	Monterrey	12"	3.268
7	Monterrey	Apiay	16"	88.731
8	Apiay	San Fernando	10"	13.680
			Total	334.140
9	San Fernando	Chichimene	10"	2.242

Fuente: Instructivo Operacional para el transporte de hidrocarburos por ducto del sistema

2.2.6 Planta Santa Rosa

Figura 4. Mímico sistema de bombeo planta Santa Rosa



2.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DE EQUIPO DE BOMBEO.

El sistema de estudio es tres (3) unidades de bombeo tipo centrifugas multietapas, compuestas por motor-variador de velocidad – bomba, (ver fig. 3)

2.3.1 Sistema general de bombeo

Figura 5. Disposición motores y bombas Planta Santa Rosa



2.3.2 Descripción del motor. Motor tipo AHQK-630LA-02A, marca **LOHER**, Montaje tipo DIN IEC 34-7, disposición horizontal refrigeración de tubos o huecos donde un ventilador externo atrae el aire de refrigeración a través de las aberturas

del ventilador y presiona el aire a través de los tubos de refrigeración de la carcasa del estator dentro del motor.

Voltaje: 6000V, Velocidad: 3585rpm, Torque: 5968 Nm, Potencia 3000 HP. Frecuencia 60Hz.

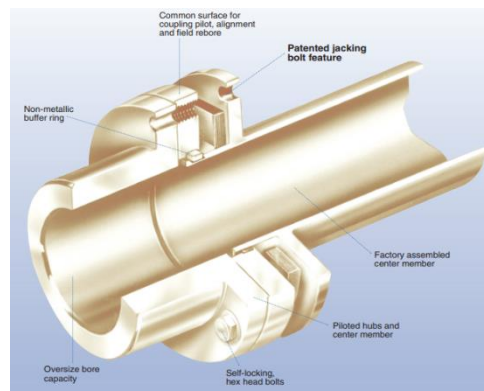
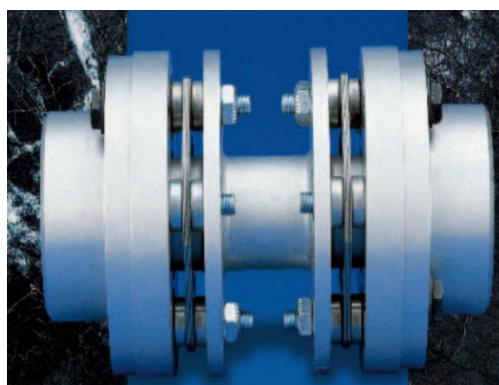
Figura 5. Motor eléctrico Loher, 3000 HP-2240 KW



Fuente: Siemens. Catalogo Motor Edición 2015.

2.3.3 Acople del motor. El acople es un diseño de 3 piezas, con un elemento central y dos centros de ajuste piloto.

Figura 6. Acople del motor



Fuente: Tomas 20 Couplin%2071

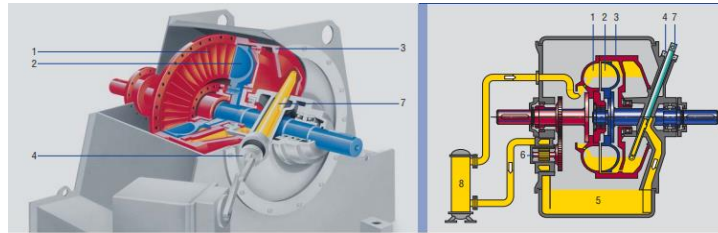
2.3.4 Variador de velocidad. Los variadores Voith turbo, de velocidad variable son acoplamientos de fluido que conectan el motor principal eléctrico y la bomba. El acoplamiento transmite potencia por medio de la energía cinética del fluido (aceite), circulando en una cámara de trabajo cerrada entre la rueda de la bomba en el eje de entrada y una rueda de turbina igual conectada en el eje de salida. El nivel de aceite del fluido de operación puede variar durante el funcionamiento entre “lleno” y “drenado”, permitiendo así el control exacto y dinámico de la velocidad de la máquina a través de un amplio rango cuando el acoplamiento opera contra diferentes características de carga. Este rango de operación depende de las características de la carga y la precisión de control requerida.

La fotografía 4 muestra el variador de velocidad que opera en la planta y hace parte de la unidad BPC 8430 del sistema de bombeo principal.

Figura 8. Variador Voith



Figura 7. Operación del variador de velocidad Turbo Voith



Voith variable-speed turbo couplings are fluid couplings, connecting the prime mover – in most cases an electric motor – with the driven machine. The coupling transmits the power by means of the kinetic energy of the fluid, mostly oil, circulating in a closed working chamber between the pump wheel on the input shaft and an identical turbine wheel, connected to the output shaft.

The fill level of operating fluid can be varied during operation between "full" and "drained", thus enabling exact and dynamic speed control of the driven machine across a wide range when the coupling operates against different load characteristics. This operating range depends on the load characteristics (torque relative to speed) and the required control accuracy.

Simplified cross section:

- 1 Pump wheel
- 2 Turbine wheel
- 3 Housing
- 4 Scoop tube housing
- 5 Oil sump
- 6 Oil circulation pump
- 7 Scoop tube
- 8 Working oil cooler

Fuente: Voith Turbo. Variable-Speed Turbo Couplings. Publicado 2017.

Video²: <https://www.youtube.com/watch?v=9pE94nz2gxQ>

2.3.5 Sello mecánico

Figura 8. Sello Mecánico Burgmann



Fuente: Eagle Burgmann. H75VK.

² Video final. Henfel's HFPM Variable Speed Hydrodynamic Coupling Animation and Application. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=9pE94nz2gxQ>

2.3.6 Descripción de la bomba. La bomba MSD Sulzer multietapas, cortada horizontalmente y montada en el centro, con una caja de doble voluta y un diseño de impeler opuesto que minimiza la carga axial y radial.

Figura 9. Sulzer Bingham Pump 6X8X13.5B



Fuente: Sulzer. MSD Bomba multietapa partida axialmente.

2.3.7 Ventiladores, enfriadores de aceite

Figura 12. Ventilador enfriador aceite lubricante



Fuente: Manual del fabricante, SULZER PUMPS, anexo 12.

2.4 MODELO DE MANTENIMIENTO Y ESTRUCTURA DE SAP

La organización ofrece soluciones de transporte y logística de hidrocarburos que aseguren una gestión responsable y sostenible hacia sus stakeholders. Se encarga de la gestión comercial, la planeación y desarrollo de nuevos negocios, control de pérdidas de hidrocarburos, planes de contingencias, la planeación de la operación y el mantenimiento y el abastecimiento estratégico.

Entendiendo la gestión estratégica como el proceso continuo de creación, implementación, evaluación y ajuste de las decisiones utilizadas para gestionar y alinear de forma sistemática los recursos y las acciones con la visión, la misión y la estrategia en toda la organización. Cuenta con un modelo de Gestión de activos en la cual la integridad Mecánica y optimización del activo son dos de los principales elementos de los que se deriva la Estrategia de Mantenimiento para sus activos enfocada en los pilares:

- Registro adecuado de activos, (Datos técnicos, criticidad y desempeño)
- Análisis de criticidad.
- Análisis de Fallas.
- Plan de Mantenimiento que habilite la ejecución de la estrategia.

Para el mejoramiento continuo de la estrategia de Mantenimiento, así como para la Ejecución del Mantenimiento direcciona el logro de resultados medibles en valor en términos de Confiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad, cumplimiento y óptimo Costo de Ciclo de Vida, de acuerdo con los grupos de actividades principales.

2.4.1 Mantenimiento Preventivo. Se ejecutan las actividades clasificadas en estas disciplinas técnicas de mantenimiento de electricidad, mecánica, instrumentación, control y medición piping y tanques, dentro de una periodicidad establecida y de lanzamiento en el CMMS.

Mecánica: Se realizan las actividades requeridas de mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos mantenibles, Para garantizar y maximizar la seguridad, disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad.

Equipos rotativos: Como motores de combustión interna (Crudo, gas, Diesel y duales), compresores, embragues, bombas, variadores, cajas reductoras de velocidad, agitadores, entre otros.

Equipos estáticos: Válvulas de proceso y de seguridad, hidrantes, monitores de red sistema CI.

Equipos auxiliares: Puente-grúa, manlift, montacargas, planta estadio compresores.

- Electricidad: Se realizan las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo de equipos mantenibles o reparables, dentro de un programa de ejecución eficiente, orientado hacia el objetivo de maximizar la seguridad, disponibilidad mantenibilidad y confiabilidad de los equipos y sistema eléctricos, a todos los niveles de tensión. 115kV, 44.5kv, 34.5kV, 6.3kV, 4160V, 48V, 240V y 110V. De acuerdo con la EASA standard AR-100. Y cumpliendo los lineamientos que exige el Reglamento Técnico de instalaciones Eléctricas RETIE, el código eléctrico colombiano NTC2050.
- Instrumentación, Control y Medición: dentro del programa efectivo de actividades de mantenimiento preventivo y correctivo, elementos que se encargan de medir, indicar, registrar y transmitir las magnitudes de las variables operacionales.
- Sistemas de medición: Sistemas que determinan la cantidad de los productos recibidos.
 - Medidores de flujo
 - Instrumentos de presión, temperatura y densidad.
 - Elementos terciarios. Computador de flujo
 - Probadores de flujo

- Sistemas de protección CI: Siguiendo las recomendaciones de mantenimiento del fabricante de los equipos, las mejores práctica de la industria y la normativa NFPA.
- Pipping y tanques: Como acumuladores, arrestallama, tanque almacenamiento agua, tanques de baja presión API 620, tanques de almacenamiento de hidrocarburo, relevos, trampas de recibo/despacho, cámaras de espuma de tanques de almacenamiento. La estrategia de gestión de integridad de la infraestructura contempla el control de diferentes procesos como son: gestión de corrosión interna y externa, gestión de geoamenzas, gestión de daño mecánico y análisis estructural de equipo estático.

2.4.2 Mantenimiento Predictivo. Se ejecutan las actividades para las disciplinas técnicas Mecánica, Electricidad e instrumentación, estas actividades corresponden a las técnicas de (CM), monitoreo por condición.

Ajuste de planes de Mantenimiento

Eliminación de fallas de catastróficas en equipos principales

Disminución de fallas inesperadas en equipo rotativo y eléctrico.

Ahorro y disminución de inventario de repuestos.

Ahorro en consumo energético de equipos.

Aumento de disponibilidad, confiabilidad y seguridad de equipos y sistemas de bombeo.

Análisis de vibraciones, (Desbalanceo-Desalineamiento, Soltura-desgaste, deterioro de rodamientos, Cavitación-recirculación, Eje flectado-Resonancia, Fenómenos eléctricos, deficiente lubricación).

2.4.3 Mantenimiento por condición. Actividades complementarias a las de mantenimiento Preventivo, Predictivo y Correctivo para las familias de equipos de todas las disciplinas técnicas. Mecánicas, Equipos rotativos.

2.4.4 Sostenimiento del Desempeño de los activos

- Novedades de jerarquías y registro de equipos
- Reporte de fallas
- Documentación de fallas
- Investigación y gestión de Fallas, Averías e incidentes
- Identificación y gestión de malos Actores
- Identificación y justificación de inversiones en activos.
- Evaluación y clasificación de activos según criticidad
- Metodología LEAN (mejora continua)
- Optimización de Planes de Mantenimiento
- Planeación de repuestos y materiales con base en riesgo
- Seguimiento planes de acción para la mejora de la seguridad, confiabilidad e integridad
- Seguimiento y cierre de hallazgos de monitoreo de condición CBM del activo
- Análisis y Gestión de indicadores
- Soporte a la mejora CMMS
- Promoción y aseguramiento de la Gestión de los Activos

2.4.5 Ingeniería de Mantenimiento. Comprende el estudio y desarrollo de técnicas que faciliten o mejoren el mantenimiento u operación de la infraestructura de transporte de hidrocarburos. Su gestión se enfoca principalmente disponibilidad, la confiabilidad, la vida útil y el costo de los activos a lo largo de toda su vida.

2.4.6 Sistema de Gestión de mantenimiento (CMMS-SAP). Herramienta empleada para documentar la información de los equipos, historia, trabajos de mantenimiento, horas hombre, materiales, compra y almacenamiento de materiales.

Figura 10. Categoría de mantenimiento SAP

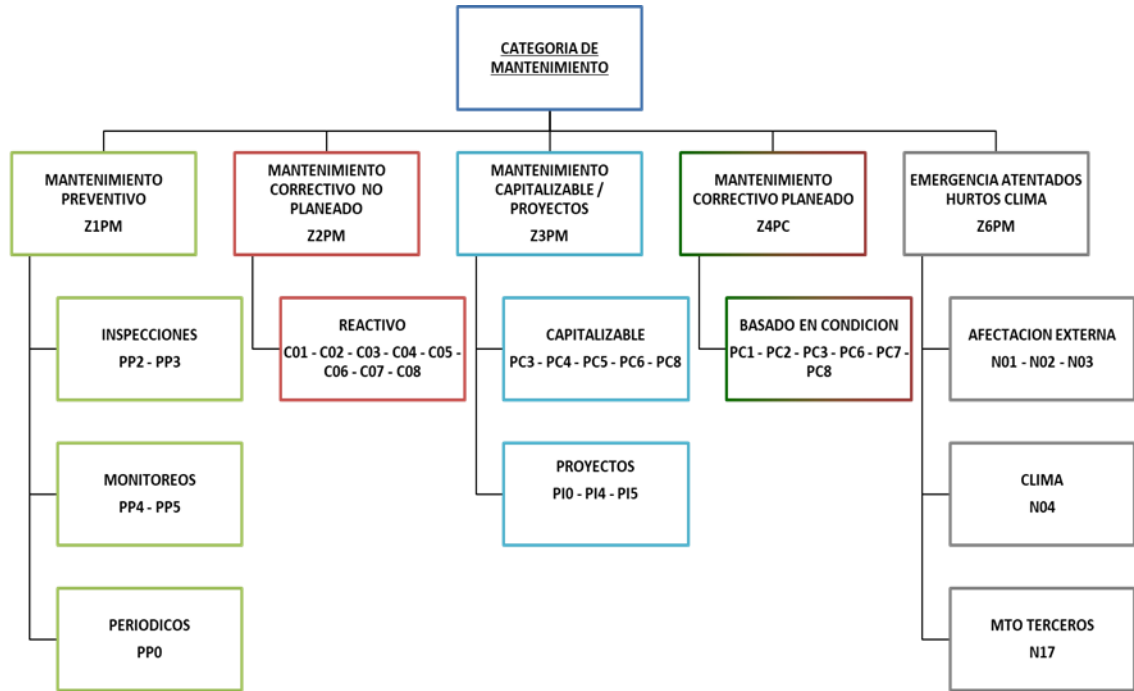


Figura 11. Gestión de órdenes de Mantenimiento SAP

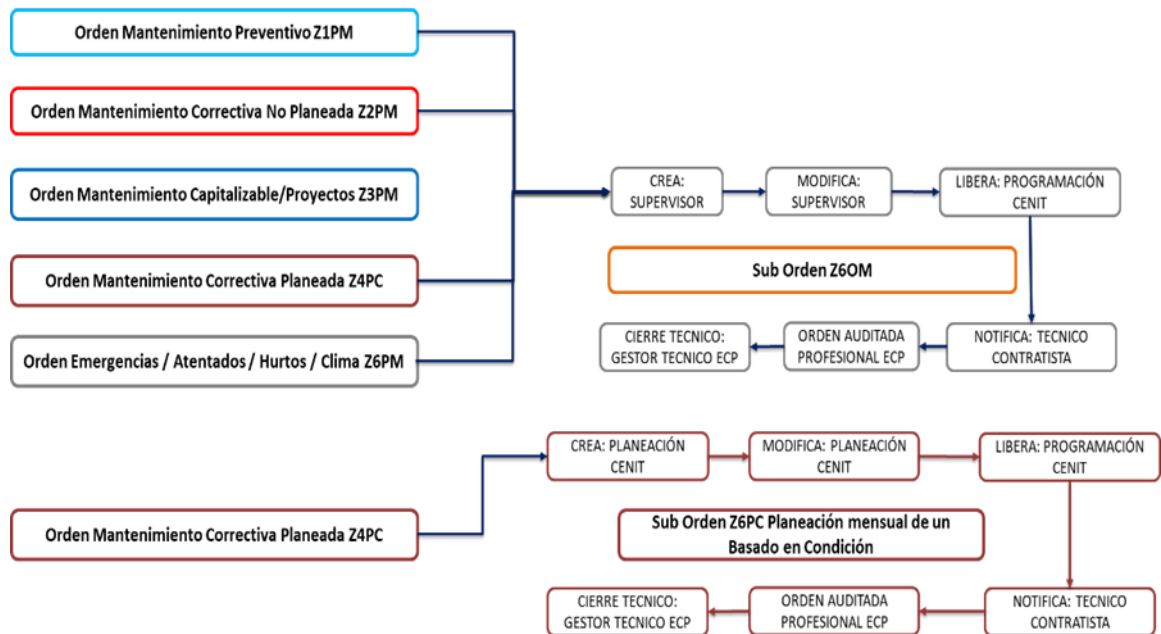


Figura 12. Estructura de ubicaciones SAP

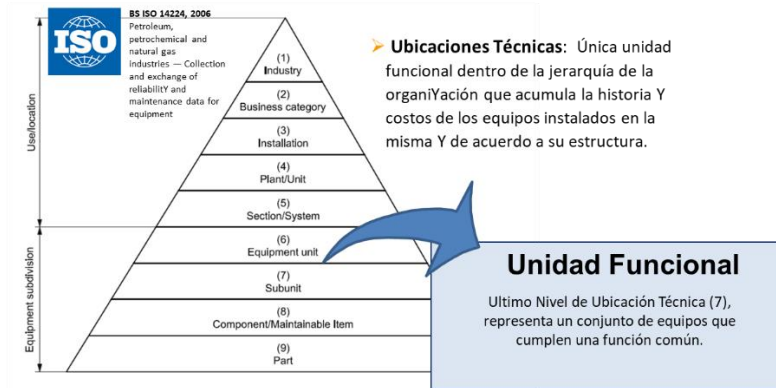


Figura 13. Nivel 2 Negocio SAP

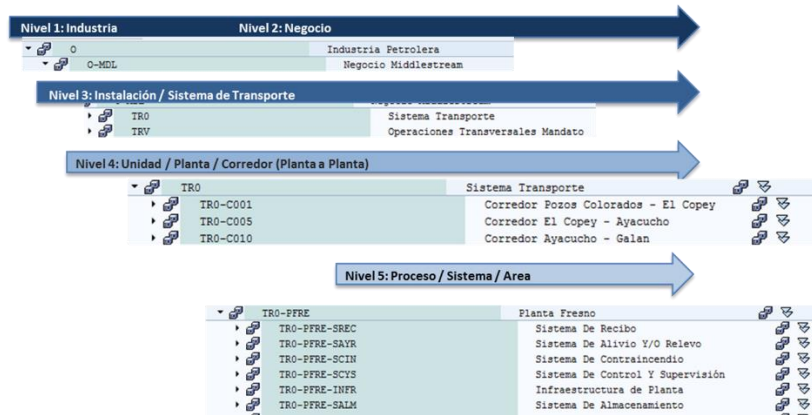
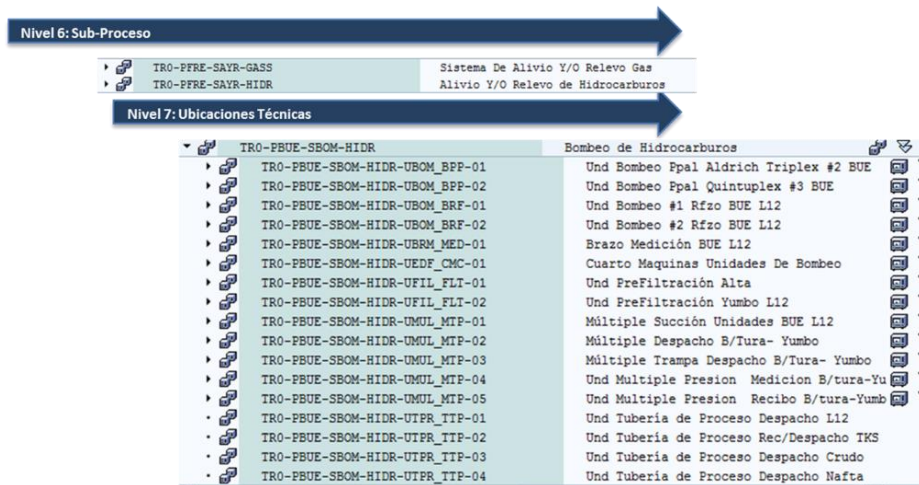


Figura 14. Nivel 6 Subproceso SAP



2.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a la actual reestructuración de la VIT (Vicepresidencia de Transporte) y la migración a la nueva filial CENIT SAS, se evidencia que la estrategia de mantenimiento ha perdido capacidad de respuesta ante la demanda de los equipos en operación y principalmente las unidades de rebombeo del sistema. Esto es debido a que desde hace más de 3 años viene cambiando la autoridad mantenedora, y aún no se ha logrado estabilizar nuevamente la estrategia. Si bien es cierto que existe una metodología para el desarrollo y atención de los equipos y que solo son tres (3) unidades de bombeo, estos no se encuentran disponibles al 100%. Ante esta situación se propone con este proyecto diseñar un plan de mantenimiento basado en RCM, además de obtener y divulgar el conocimiento general de la filosofía RCM, sus ventajas y como aplica a los equipos en cuestión al área de operaciones.

2.6 JUSTIFICACION DEL PLAN PROPUESTO

Asegurar la disponibilidad de los equipos críticos es básico en una en una planta industrial, y si ya están identificados, establecer las tareas a ejecutar debe ser una actividad planeada y fácil de desarrollar. RCM es un método analítico, razonado estructurado, que determina las tareas de Mantenimiento requeridas para mitigar o eliminar los riesgos que generan las fallas inherentes, operacionales, externas, de diseño, etc. de los equipos, procesos o sistemas de la industria, y las consecuencias que generan.

La estrategia de Mantenimiento establecida por Ecopetrol SA, en sus áreas es clara y metodológica, la tendencia es la gestión de activos, ya que se han superado las etapas incipientes del Mantenimiento.

Sin embargo, los retos y los nuevos escenarios internacionales que enfrenta el segmento del transporte generan nuevas expectativas, nuevas estrategias, un nuevo sentido organizacional y obliga a generar nuevas estructuras para garantizar la optimización de los costos operativos y la sostenibilidad del sector.

Aprendiendo, aplicando, divulgando y poniendo en práctica la filosofía RCM en las áreas y los equipos críticos, capacitando a los operadores que son los sujetos que interactúan de primera mano con estos.

3. MARCO TEORICO

3.1 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM

3.1.1 Antecedentes históricos en algunos sectores. Según (González Fernandes Francisco Javier 2012 p. 94), “Una de las técnicas organizativas más actuales para aplicar en mantenimiento y mejorar significativamente sus resultados es la del Mantenimiento Centrado en Fiabilidad, a partir de ahora RCM (Reliability Centered Maintenance)³” Estrategia que tiene como pilares principales los siguientes:

- Analizar cada tipo de falla estudiando el modo como se produce cada falla.
- La productividad del área de Mantenimiento debe mejorarse bajo una forma de trabajo proactiva y planificada.
- Realizar una auditoría antes de implementar RCM.

Se requiere contar con el apoyo del personal de Mantenimiento, operación, personal técnico de ingeniería y administrativo.

RCM se implementa de acuerdo con las metas productivas propuestas, evaluando métodos para alcanzar dichas metas y ejecutando una investigación de los modos de falla y la mejor manera de eliminar o mitigar las consecuencias del fallo.

Esta técnica empezó a estudiarse por parte de la industria aeronáutica norteamericana y se aplicó por primera vez en el mantenimiento del Boeig 747, luego con los DC-10 y así se extendió a gran parte de la aeronáutica. En 1982 el EPRI (Electric Power Reserch Institute) la empezó a aplicar en el campo nuclear.

³ Arata Andreani, Adolfo. *Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales*. Primera Ed. Santiago de Chile. 209d. C.

3.1.2 Historia reciente del mantenimiento industrial. En cuanto a las últimas tendencias, deficiencias, resultados y el nacimiento de los mantenimientos por diagnósticos, mantenimiento por condición o predictivos, fue fundamental para sustituir las revisiones periódicas preventivas por controles de vibración, análisis de aceites, termografías infrarrojas, controles no destructivos etc. Igualmente, nuevas técnicas como la mantecnología, en 1970 comienza a implementarse la filosofía de mantenimiento basada en el concepto coste de ciclo de vida, entendiendo como tales los costes de adquisición, puesta en servicio, explotación, mantenimiento desmontaje y retirada.

También en 1970 en Japón aparece otro método organizativo llamado mantenimiento Productivo Total (TPM), en esta metodología mantenimiento transfiere a producción aquellas intervenciones de uso básico y producción se responsabiliza integralmente de su instalación y equipos. Mantenimiento interviene en las revisiones importantes y las averías relevantes.

En los últimos años del siglo XX tomo fuerza el Mantenimiento basado en Fiabilidad (RCM), Reliability-Centred Maintenance, rediseña toda la estrategia de mantenimiento con base en un análisis riguroso y detallado de los tipos de fallo y los modos en que esta se produce. Es muy parecido a AMFE o Análisis de Modo de Fallo de Equipos, la diferencia radica en que RCM considera los equipos y sistemas íntimamente interrelacionados, con fallos y anomalías que dependen unos de otros.

Herramientas como el método BOUCLY, centrado en el corto plazo y que compara los resultados actuales que estamos del mantenimiento que estamos haciendo con los que se deberían hacer si estuviéramos en una situación de fallo cero, el método pretende encontrar y valorar las ineficiencias actuales con base en la referencia cero, para focalizar los proyectos de mejora hacia dicha ineficiencia, pero valorando previamente el coste de esa mejora y el ahorro potencial a obtener.

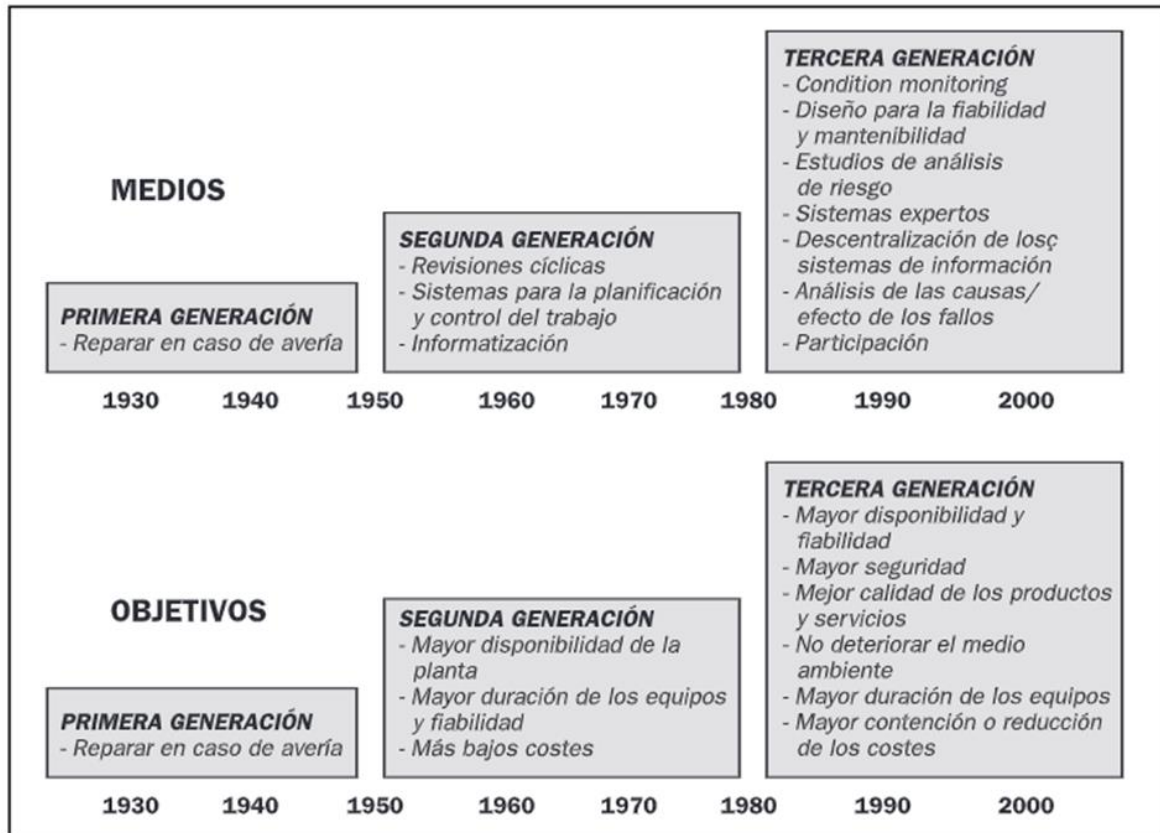
Otro método es el BRODIER o de Valor Añadido Directo (VAD), se basa en estructurar la empresa en general y el departamento de mantenimiento en particular en centros de coste de ingresos: Las cargas de estructura, las de funcionamiento y el valor añadido como producción vendida, menos material comprado más servicio solicitado. El mantenimiento pasa de ser un centro de costos a un posible centro de beneficios.

Otro método es el Mantenimiento Centrado en el Dinero (Money-Centred-Maintenance). Este método establece un vínculo entre costes de mantenimiento y el retorno que puede generar una variación de dichos costos o una variación en la eficiencia del mantenimiento.

En conclusión, en los últimos 30 años el mantenimiento ha avanzado significativamente, sin embargo, falta mucho por recorrer, en España se estima que el 9,5% del PIB se dedica a servicios y mantenimiento, y comparar la actividad y la intensidad de iniciativas de este sector con otro de infinito menor peso, da una idea del relativo olvido en que se ha sumergido el sector.

3.1.3 Evolución del mantenimiento. En la figura 8 se presenta el desarrollo del mantenimiento a través del tiempo, desde 1930 con la primera generación hasta el año 2000 y como se establecieron los medios y a qué objetivos se apunta con las estrategias.

Figura 18. Evolución del mantenimiento



Fuente: Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado

3.1.4 Confiabilidad. Es la probabilidad, durante un período de tiempo de que el equipo pueda realizar su función en sus condiciones o sin fallas. Se representa con la letra R, una medida de la fiabilidad es MTBB (Mean Time Between Failures), TMEF (Tiempo Medio Entre Fallos).

3.1.5 Mantenibilidad. Es la probabilidad de que el equipo, después del fallo o la avería sea puesto en funcionamiento en un tiempo determinado. La medida es MTTR (Mean Time To Repair) o TMDR (Tiempo Medio De Reparación). Representado por la letra (M).

3.1.6 Disponibilidad. Es el porcentaje de equipos o sistemas útiles en un determinado momento, frente al total de equipos o sistemas. Representado por la letra (D).

$$\text{Disponibilidad} = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR})$$

En donde MTTR engloba todas las paradas del sistema, equipo o instalación.

Estrategia de Mantenimiento. Dentro de la estructura organizacional. Diagrama 1.

3.1.7 La norma UNE 20812 y el RCM. “Antes de realizar una determinada inmersión en los conceptos básicos del RCM, creemos necesario concatenar esta nueva técnica organizativa con el conocido análisis de modo de fallo y de sus efectos AMFE o (FMEA, Failure Mode and Effectys Analysis).⁴” (González Fernandes Francisco Javier 2012), técnica basada en hacer un proceso la fiabilidad de un sistema y sus subsistemas.

FMEA identifica el componente, luego el modo de fallo principal y finalmente sus efectos, cuantifica la probabilidad de fallo y obtiene las tareas de mantenimiento preventivas, esto es muy similar al principio RCM.

3.1.8 Metas y objetivos a cumplir con RCM. Es extremadamente importante que tanto la alta gerencia, así como el equipo que realizará la implementación de la estrategia, deban tener clara la metodología, no es posible implementar RCM si no es preciso el objetivo y que es lo que la empresa espera de ellos. Sin esta orientación, es posible que tanto el equipo como la estrategia se vea enfrentado a una serie de dilemas que pueden llevar a causar efectos catastróficos en un sistema o en equipo que ponga en riesgo incluso vidas humanas. En el siguiente cuadro se

⁴ Arata Andreani, Adolfo. *Ingeniería Y Gestion de la Confiabilidad Operacional en Plantas Industriales*. Primera ed. Santiago de Chile. 209d. C.

observa los beneficios que se espera lograr implementando RCM en la planta o el equipo.

Tabla 3. Beneficios como metas en un mtto. Centrado en confiabilidad

Costes	Servicio	Calidad	Tiempo	Riesgos
Reducir niveles y costes del mantenimiento preventivo rutinario (10 a 40%)	Conocer mejor los requerimientos de servicio al cliente	Incremento de la disponibilidad por menor preventivo y menor correctivo (2 a 10 %)	Reducción en las paradas programadas para grandes revisiones.	Mayor aseguramiento de la integridad de seguridad y entorno.
-Definir directrices y objetivos concretos para sustituir preventivos rutinarios por predictivos.	Definir de forma consensuada niveles de calidad de servicio (p. ej., según ISO 9001).	Eliminación de fallos crónicos que no entiendo producción cómo no se reparan.	Intervalos normalmente más largos entre paradas por seguimientos predictivos.	Análisis de fallos ocultos y sus causas que no suelen revisarse en mantenimientos rutinarios
Reducir los niveles de mantenimiento contratado y sus importes.	Reducir las averías con especial incidencia en las que repercuten en el servicio.	Mejora de la corresponsabilización y adhesión al cambio en el mantenimiento.	Tiempos de reparación más cortos por mejor conocimiento del sistema en conjunto	Reducción de la probabilidad de fallos múltiples.
Reducir las paradas de producción de forma rentable haciendo ingeniería	Mejor comunicación entre mantenimiento y producción	Mejor documentación del cambio y sistema auditable por terceros.		Reducción de riesgos asociados a las tareas rutinarias.

Fuente: Teoría y práctica del mantenimiento Industrial avanzado p. 100

3.1.9 Definición de RCM y su tecnología. De acuerdo con (1) (González Fernandes Francisco Javier, 2012), “ Partimos de la base de que RCM es un proceso para determinar cuáles son las actividades que debemos hacer para que un equipo o sistema continúe desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional, siempre y cuando ellas sean rentables.⁵”

⁵ Arata Andreani, Adolfo. *Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales*. Primera ed. Santiago de Chile. 209 d. C.

Para estructurar la estrategia, es primordial estudiar y analizar las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son las funciones del equipo o sistema?
- ¿De qué forma puede fallar?
- ¿Qué puede causar que falle?
- ¿Qué sucede realmente cuando falla?
- ¿Qué ocurre si se produce el fallo y que repercusiones reales (disponibilidad, costes, accidentes, etc.) tiene?
- ¿Qué se puede hacer para prevenir los fallos?
- ¿Qué se debe hacer si no se puede prevenir el fallo?

A continuación, se debe identificar cuáles son los fallos. Una a una las fallas. Es decir que el fallo funcional el que implique la incapacidad de cualquier equipo para cumplir un estándar medible de funcionamiento.

Conociendo funciones y fallos se debe hacer la siguiente pregunta, ¿Qué ocurre cuando falla? Para esto se van identificando una a una las causas de fallo, a esto se llama modo de falla. No solo las que se tienen identificadas y gestionadas por mantenimiento sino también aquellas que tienen la posibilidad de ocurrir.

Para cada fallo, se debe hacer la siguiente pregunta ¿Qué efectos tienen los fallos?, individualizando, identificando y analizando cada fallo, de esta manera se determinan las consecuencias.

La siguiente etapa es hacer la pregunta ¿Qué ocurre si falla?, identificar las consecuencias, que se pueden determinar así:

- Seguridad
- Fallos ocultos.
- Fallos operacionales.
- Fallos no operacionales.

Finalmente es necesario hacer el análisis COSTE-BENEFICIO. Esto es la respuesta a la pregunta ¿Qué se puede hacer para prevenir las fallas?, una vez determinado lo que se debe hacer se debe establecer cuánto cuesta y cuanto costo se ahorra. Para conocer el COSTE-BENEFICIO, se debe determinar con la siguiente pregunta ¿Qué sucede si no se puede prevenir la falla?

3.1.10 Fases de la implementación real del RCM

- Definición de objetivos de la empresa
- Formar grupo o equipo de trabajo
- Elaborar programa (Seleccionar sistema-equipo o elemento)
- Determinar objetivos
- Análisis de fallas
- Determinar modos de fallo
- Seleccionar estrategias de mantenimiento
- Auditar
- Implementar RCM
- Optimizar
- Elegir siguiente sistema.

3.1.11 Proceso de implementación del RCM

- a. Planificación: la dirección debe gestionar y conocer de los recursos humanos-equipo de trabajo.
- b. Proceso de revisión basado en RCM: Seleccionar una primera actividad de un sistema equipo o área, por conflictividad (mal actor), por su baja disponibilidad o costos.
- c. Grupos de trabajo en RCM.

3.1.12 Confiabilidad operacional. De acuerdo con (Arata Andreani 209d. C.). “Esta se define como la capacidad de la empresa para cumplir, a través de los procesos,

las tecnologías y las personas, con su propósito dentro de los límites del diseño y de las condiciones operacionales. La Confiabilidad Operacional considera una serie de procesos de mejora continua que incorporan, en forma sistemática, herramientas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías para optimizar el proyecto, la gestión, la planeación, la ejecución y el control, asociados con la producción, el abastecimiento y el mantenimiento industrial.⁶ Y tiene como base 5 pilares:

- Confiabilidad humana: Se refiere a los compromisos, competencias y empoderamiento de las personas con las actividades que realiza y las actividades que le corresponden.
- La mantenibilidad de los activos: Diseño de equipos y su seguridad operacional.
- Confiabilidad de activos: Diseño de equipos y su seguridad operacional.
- Confiabilidad de procesos: armonía entre los procesos y los procedimientos para operar las instalaciones.
- Confiabilidad de suministros: Efectividad en cuanto a la cantidad, calidad, oportunidad y costos.

La confiabilidad operacional se fundamenta en tres principios básicos:

- Dinamización permanente en los planes de mantenimiento
- Control técnico y económico a través de KPI's.
- Mejora continua de la gestión de activos.

3.2 ANÁLISIS DE CRITICIDAD SOBRE LAS UNIDADES DE BOMBEO

3.2.1 Condiciones generales. De acuerdo con: “Manual de gestión de activos según criticidad”⁷, es necesario establecer un procedimiento para clasificar y gestionar los equipos que por su potencial muy alto, en términos de seguridad y

⁶ Arata Andreani, Adolfo. *Ingeniería Y Gestión De La Confiabilidad Operacional En Plantas Industriales*. Primera ed. Santiago de Chile. 209d. C.

⁷ Manual de gestión de activos según criticidad GA-MN-003 versión 2.0

disponibilidad operacional, ameriten un tratamiento prioritario y especial bajo ópticas de integridad, confiabilidad y seguridad de procesos a lo largo del ciclo de vida. Así las cosas, una adecuada gestión del desempeño de las funciones críticas de los activos implica asegurar que estas funciones no solo se mantengan, sino que también se mejore su desempeño y confiabilidad durante la fase operativa. De igual manera, mientras la existencia del activo represente algún riesgo de alto impacto. Este procedimiento proporciona los parámetros para identificar, entender, gestionar y mitigar los riesgos potenciales de los escenarios críticos, así como implementar las estrategias de gestión del riesgo a partir de la respectiva política de la organización y los niveles de tolerabilidad de riesgo.

3.2.2 Distribución de cargos en el direccionamiento de la gestión de activos.

Se determinan tres roles principales, dependiendo de la etapa del ciclo de vida en que se encuentre determinado activo y la especialidad técnica (familia, tipo de servicio, unidad de proceso etc.). Ver tabla 4

- Gerente del activo: Responsabilidad en el aseguramiento de la integridad mecánica y confiabilidad operacional durante todas las fases del ciclo de vida. Se encarga de promover iniciativas y cambios, incorporar nuevos Activos, y el aseguramiento de la integridad mecánica durante todas las fases y en las etapas del control de cambios de activos.
- Autoridad técnica: debe cumplir las metas de desempeño, desarrollar los estándares de desempeño de los activos de acuerdo con su especificación técnica, y la clasificación de criticidad, desarrollar estrategias de sostenimiento del desempeño, desarrollar requerimientos para los planes de inspección, mantenimiento y pruebas de activos de acuerdo con la estrategia definida.

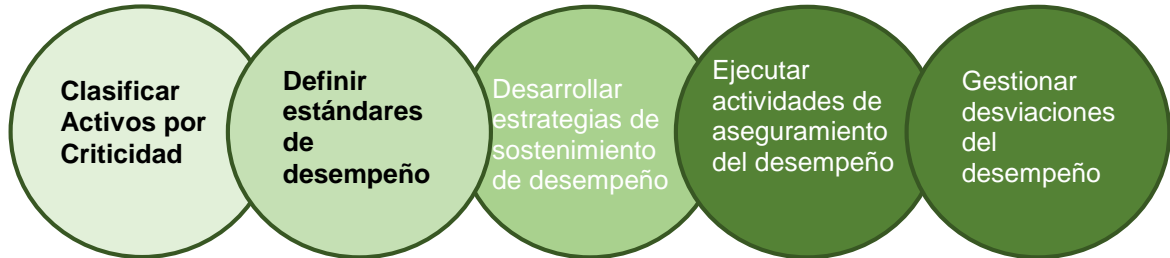
Tabla 4. Distribución de cargos en el direccionamiento de la gestión de activos

Rol	CARGO RESPONSABLE			
	Fase	INCORPORACION DESINCORPORACION	OPERACION	
Gerente del activo		Gerente de ingeniería y aseguramiento	Gerente de gestión estaciones	Gerente de Gestión de líneas
Autoridad Técnica		Funcionarios Gcia. De ingeniería y aseguramiento	Funcionarios Gcias. de gestión Estaciones y Líneas	
Implementación y seguimiento a la ejecución		Funcionarios de Planeación de mantenimiento		
Autoridad de área		Líderes de Campo de proyecto/Cambio	Coordinadores O&M	Coordinadores Mantenimiento de línea
Custodio del proceso		Especialista de RCM		

- Implementación y seguimiento a la Ejecución: deben elaborar y cargar los planes de inspecciones, pruebas funcionales y mantenimiento que se desprenden de las estrategias de sostenimiento del desempeño, asegurar la disponibilidad de los recursos para ejecución de las actividades, medir y seguir el cumplimiento de los indicadores de gestión. Actualización de marcas de clasificación de activos según criticidad.
- Autoridad de Área: Tiene el deber de aplicar la estrategia en cada área para el aseguramiento de la integridad mecánica y la confiabilidad operacional durante las fases del ciclo de vida, gestionar la clasificación de criticidad por seguridad y disponibilidad operacional, gestionar la entrega de documentación de operación y mtto. Por parte de los ejecutores, gestionar las desviaciones del desempeño en cada área, asegurar que la información relacionada con los activos se encuentre actualizada en el CMMS- SAP., documentar las actividades de mtto. Y pruebas funcionales y cumplir con los indicadores de gestión de activos según criticidad.
- Custodio del proceso: Administra la implementación de la gestión, este rol lo desempeña el especialista RCM y debe realizar los análisis de clasificación de activos según su criticidad tanto por seguridad como por disponibilidad, gestionar el cumplimiento de los indicadores de la gestión de activos.

3.2.3 Proceso de gestión de los activos según criticidad

Figura 19. Etapas del proceso de gestión de Activos Según Criticidad



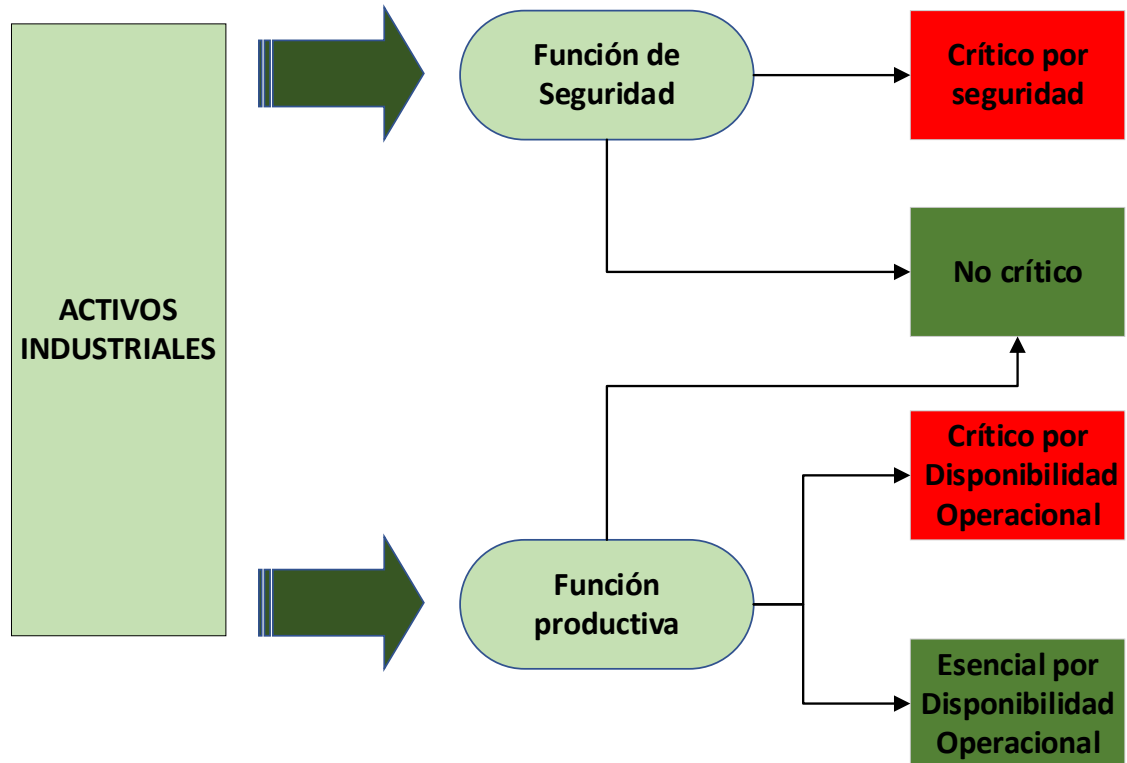
Fuente: manual de Gestión de Activos según criticidad CENIT-ECOPETROL

3.2.4 Clasificar Activos por Criticidad. Sea un sistema o un equipo, se analiza según la función que cumple dentro del proceso y se clasifica por el potencial de impacto a los objetivos de la organización. Se contemplan dos tipos de clasificaciones:

Criticidad por seguridad: Son todas las unidades funcionales, sub-unidades y equipos cuya falla puede causar un accidente mayor o Desastre, limitar su prevención o reducir la mitigación.

Criticidad por disponibilidad operacional: Son todos aquellos sistemas, equipos, componentes y dispositivos cuya falla (con ocasión de su estado prolongado de avería), conlleva pérdidas operacionales con consecuencias económicas y/o reputacional de grado 5 o 6 según la metodología RAM de la organización.

Figura 15. Esquema de clasificación de Activos Industriales por criticidad



Fuente: Manual de gestión de Activos según Criticidad GA-MN-003

- Definir estándares de desempeño

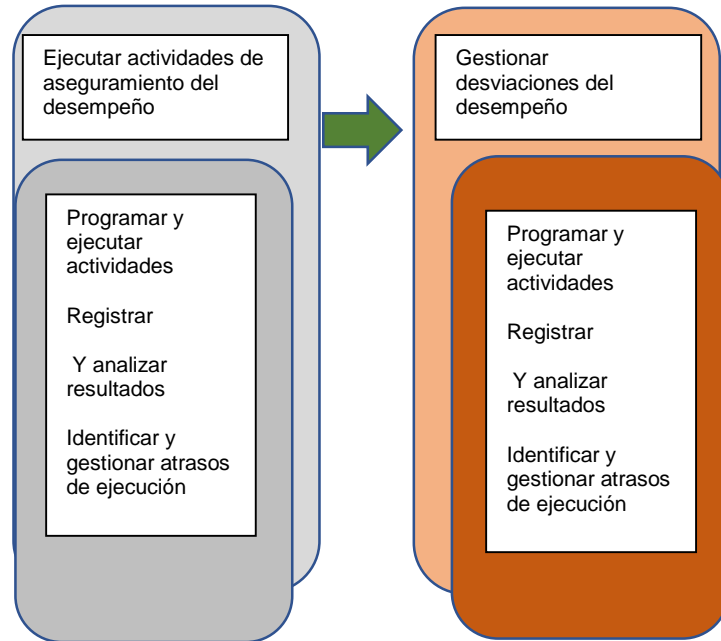
Estándares requeridos para establecer referencia sobre requisitos en términos del cumplimiento de la función productiva o de seguridad del activo. Su alcance cubre las fases de incorporación y operación.

- Desarrollar estrategias de sostenimiento del desempeño

Teniendo en cuenta los objetivos de desempeño del activo, se desarrollan las estrategias de mantenimiento (inspecciones, restauración, correctivos, pruebas, evaluaciones, etc.).

La figura muestra los pasos, donde se evidencian en detalle los criterios que se deben tener en cuenta para prevenir la materialización de incidentes de seguridad y operacionales.

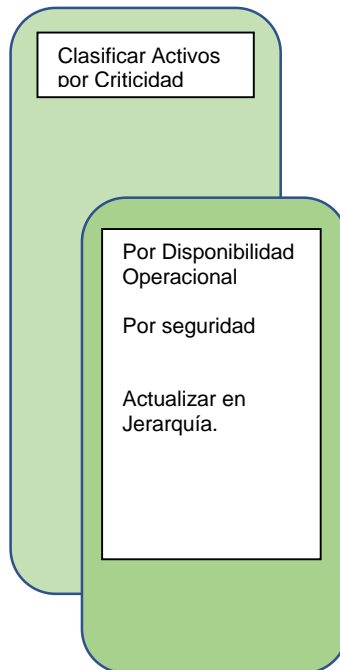
Figura 21. Fases modelo administración de Criticidad de Activos



- Ejecutar actividades de aseguramiento del desempeño
En esta fase se deben garantizar los aspectos de calidad y cumplimiento de los planes para el sostenimiento de la función requerida del activo según criticidad.
- Gestionar desviaciones del desempeño
En esta etapa se valora el riesgo según los métodos definidos para la clasificación del Activo, se definen, planean y ejecutan actividades de atención a los hallazgos.

3.2.5 Clasificación de Activos por criticidad. La clasificación de criticidad permite jerarquizar los subsistemas y equipos para poder determinar el nivel de gestión y toma de decisiones, esta etapa es liderada por el custodio del proceso. El análisis de Criticidad se realiza en un taller con un grupo multidisciplinario experto en la operación y mantenimiento del área de proceso a estudiar. El resultado se registra en un formato, que será reflejado en el CMMS.

Figura 22. Clasificar activos por criticidad



3.2.6 Recursos e Insumos. Se requiere de personal con experiencia y directamente involucrado con la operación y el mantenimiento.

- Líder facilitador
- Técnicos de mtto. Estático, mecánico, eléctrico e instrumentación.
- Ingeniero de proceso
- Profesional HSE
- Supervisor de operaciones

3.2.7 Documentación requerida para talleres de Criticidad

- Listado general de equipos de la planta.
- Filosofía de operación
- Parámetros de diseño y operación (Presión temperatura, flujo, producto, etc.)
- P&ID's
- Reporte de análisis de riesgos realizados previamente (MA, MAHID, HAZOP, LOPA, WHAT IF, FMEA etc.

- Histórico de fallas d equipos
- Costos asociados a las pérdidas de producción por paradas no programadas
- Registro de incidentes de ASP

Dentro de esta información se debe ubicar eventos que impactaron la seguridad de proceso, la producción, y el medio ambiente, para responder a los siguientes interrogantes:

¿Qué eventos han sucedido?

¿Cuál ha sido su frecuencia de ocurrencia?

¿Se han ejecutado acciones para mitigar los riesgos?

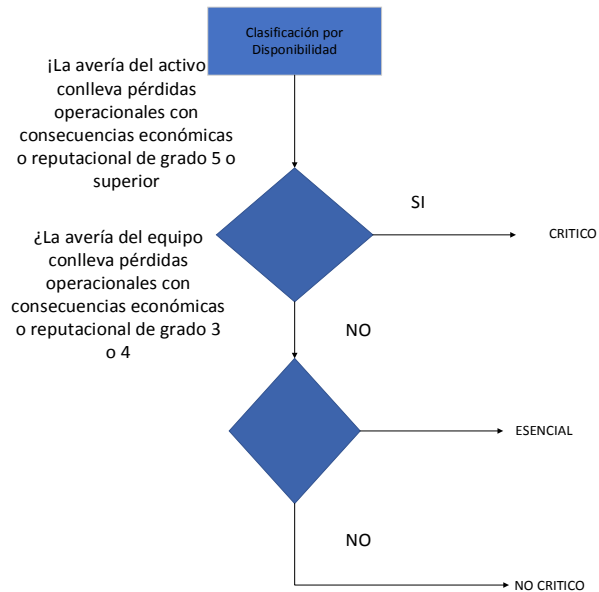
3.2.8 Clasificación de Activos por Disponibilidad operacional. Los activos son críticos por disponibilidad operacional cuando su avería conlleva pérdidas operacionales con consecuencia económica o reputacional de grado (5) o superior, según la metodología RAM.

Un activo es clasificado esencial cuando su avería conlleva pérdidas operacionales con consecuencia económica operacional o reputacional (3) o (4), según RAM.

Los siguientes aspectos deben ser considerados para estimar las correspondientes consecuencias.

- Efectos y consecuencias inmediatas e independientes de la duración de la avería, derivados de la falla del activo.
- Efectos y consecuencias dependientes de la duración de la avería. Dentro del escenario de avería de cada activo analizado se deberá considerar de manera hipotética la ausencia de gestión proactiva de las fallas, con el propósito de estimar su duración. Esto implica disponibilidad únicamente de recursos genéricos de mantenimiento, ausencia de mantenimiento proactivo (solo atención de correctivos), y no disponibilidad de repuestos ni servicios personalizados.

Figura 16. Árbol de decisión de clasificación de activos por disponibilidad



A continuación, se presenta el paso a paso para evaluar criticidad:

- Identificar la UT de la jerarquía y clasificarla según cumplimiento de función de proceso o no productiva. E caso de que alguna UT no cumpla función de proceso, esta y todos sus equipos se consideran NO críticas.
- Analizar la UT que cumpla función de proceso, identificando el evento de disponibilidad más relevante por impacto. Describirlo y analizarlo de acuerdo con el diagrama de decisión.
- En caso de que una UT resulte no crítica, todos sus equipos se consideran no críticos.

4. PREPARACION DE LA INFORMACION

4.1 CRITICIDAD = FRECUENCIA DE FALLA *CONSECUENCIAS


- **Frecuencia de falla:** Es la cantidad de paradas en un periodo de tiempo
- **Consecuencias:** Son los impactos producidos por la operación, el tiempo promedio de reparación, costos de reparación, las personas, el ambiente, los clientes y la imagen.

Para evaluar la criticidad de los equipos se realiza de acuerdo con la siguiente valoración, establecida por el segmento del transporte.

- Criticidad alta (CA): Es el valor de obtener el promedio, más 2/3 de la desviación estándar de los resultados finales: $CA = MEDIA + 2/3$
- Criticidad media (CM): Es el valor intermedio entre la alta criticidad y la baja criticidad y está evaluada así: $Media - 2/3 \leq CM \leq CM + 2/3$
- Criticidad baja (CB): Es el resultado de restarle al promedio, 2/3 de la desviación estándar y está evaluada de la siguiente manera: $CB = MEDIA - 2/3$.

La figura 24 muestra la forma como se valora el riesgo en cada una de los escenarios contemplados por riesgos.

Figura 17. Matriz RAM ECOPETROL-CENIT

		DIRECCIÓN DE RESPONSABILIDAD INTEGRAL				ECP-DRI-F-045				
		MATRIZ DE VALORACIÓN DE RIESGOS - RAM				ACT: 2		1/1		
Para mayor información sobre el uso y manejo de este formato consulte instructivo ECP-DRI-I-007										
CONSECUENCIAS					PROBABILIDAD					
Personas	Economica	Ambiental	Clientes	Imagen de la Empresa		A No ha ocurrido en la Industria	B Ha ocurrido en la Industria	C Ha ocurrido en la Empresa	D Sucede varias veces al año en la Empresa	E Sucede varias veces al año en la Unidad, Superintendencia o Departamento
Una o mas fatalidades	Catastrofica > \$10M	Contaminación Irreparable	Veto como proveedor	Internacional	5	M ●	M ●	H ●	H ●	VH ●
Incapacidad permanente (parcial o total)	Grave \$1M a \$10M	Contaminación Mayor	Pérdida de participación en el mercado	Nacional	4	L ○	M ●	M ●	H ●	H ●
Incapacidad temporal (>1 día)	Severo \$100k a \$1M	Contaminación Localizada	Pérdida de clientes y/o desabastecimiento	Regional	3	N ●	L ○	M ●	M ●	H ●
Lesión menor (sin incapacidad)	Importante \$10k a \$100k	Efecto Menor	Cuejas y/o reclamos	Local	2	N ●	N ●	L ○	L ○	M ●
Lesión leve (primeros auxilios)	Marginal <\$10k	Efecto Leve	Incumplir especificaciones	Interna	1	N ●	N ●	N ●	L ○	L ○
Ninguna lesión	Ninguna	Ningún efecto	Ningún impacto	Ningún impacto	0	N ●	N ●	N ●	N ●	N ●

Fuente: Docplayer. Orientación para Contratistas. Preparación FASE I. Curso de fomento de trabajo seguro, limpio y saludable.

- **Frecuencia de fallas:** Determina las veces que falla un componente del sistema, por pérdida de su función en determinado período.

Tabla 5. Frecuencia de Fallas

Frecuencia de Fallas FF	Valor
FF <= 1Mes	5
1Mes < FF <= 6Meses	4
6 Meses < FF <= 1 año	3
1 Año < FF < 5 años	2
5 Años < FF	1

- **Consecuencias en las personas:** De acuerdo a la matriz RAM los valores califican la probabilidad de efecto sobre la salud por un evento o un incidente.

Tabla 6. Consecuencias en las personas

Personas PE	Valor
Una o más fatalidades	5
Incapacidad permanente (parcial o total)	4
Incapacidad temporal > 1 día	3
Lesión menor (sin incapacidad)	2
Lesión leve (primeros auxilios)	1
Ninguna lesión	0

- **Impacto ambiental:** Evalúa el grado de afectación causado por una falla de los equipos en el los recursos ambientales

Tabla 7. Consecuencias al ambiente

Ambiental AM	Valor
Contaminación masiva-irreparable	5
Contaminación Mayor	4
Contaminación Localizada	3
Efecto Menor	2
Efecto leve	1
Ningún efecto	0

- **Costo de reparación:** Costo medio por falla, que equivale a reestablecer el equipo a condiciones operativas, incluyendo la labor manual, materiales y transporte.

Tabla 8. Efectos en costos operativos

Costo de reparación CR	Valor
Catastrófica >\$10M	5
Grave \$1M a 10M USD	4
Severo \$100K a \$1M USD	3
Importante \$10K a \$100K USD	2
Marginal < \$10K USD	1
Ningún efecto	0

- **Consecuencias en la Operación:** Valor representativo sobre la operación de la falla de un equipo.

Tabla 9. Consecuencias sobre la operación

Operacional OP	Valor
Parada de bombeo	10
Reducción en la capacidad de bombeo	8
Afectación a la calidad o medición	5
Parada del equipo sin afectar producción	3
Ningún efecto	1

- **Consecuencias en la imagen de la empresa:** Es la percepción de cómo afecta la imagen empresarial frente a eventos organizacionales.

Tabla 10. Efectos en la imagen de la empresa

Imagen de la empresa IM	Valor
Internacional	5
Nacional	4

Imagen de la empresa IM	Valor
Regional	3
Local	2
Interna	1
Ningún impacto	0

- **Consecuencias en los clientes:** Son los valores estimados como la falla de un equipo puede impactar directamente a un cliente.

Tabla 11. Consecuencias clientes

Clientes CL	Valor
Veto	5
Pérdida de participación en el mercado	4
Pérdida de clientes o desabastecimiento	3
Quejas y/o reclamos	2
Incumplir especificaciones	1
Ningún impacto	0

- **Tiempo medio para reparar:** Es el tiempo medio consumido para reparar las fallas, se calcula desde que el equipo pierde su función hasta que esté disponible nuevamente.

Tabla 12. Impacto en el tiempo medio para reparar

Tiempo medio reparación MTTR	Valor
Más de 60 días	5
Entre 45 y 60 días	4
Entre 30 y 45 días	3
Entre 15 y 30	2
Inferior 15	1

4.2 ESTUDIO DE CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO

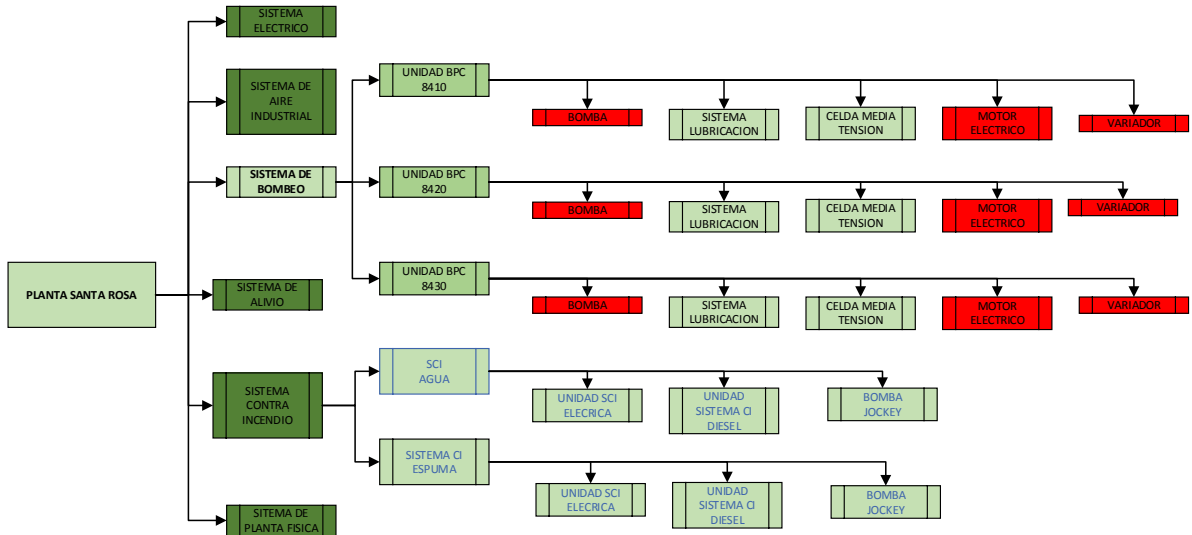
Tabla 13. Estudio de criticidad de los equipos de bombeo principales

DESCRIPCION DEL EQUIPO	F F	O P	MTT R	C R	P E	A M	C L	I M	VALO R	Criticida d
UND. PRODUCTIVA DE BOMBEO										
BPC-8410 BOMBA CENTRIFUGA										
SEBASTOPOL										
PIT8601	2	3	5	1	2	1	2	0	24	CM
MOV 8601	2	2	2	1	3	1	2	0	29	CM
GIS 8601	2	1	3	2	1	2	3	1	32	CM
PIT 8602	2	2	2	1	3	1	2	0	22	CM
MOV 8602 VALVULA DE ALIVIO	2	2	2	1	3	1	2	0	40	CM
FS0501	2	2	0	1	2	2	1	2	27	CM
PSV 8610C	2	2	2	1	3	1	2	2	32	CM
PSV 8610B	2	1	2	2	1	2	2	1	43	CM
PSV 8610A	2	1	2	2	1	3	5	0	25	CM
MOV 8604	2	2	2	1	3	1	1	0	33	CM
GIS 8602	2	2	2	1	3	1	1	0	10	CB
TEV 8620	2	1	1	2	3	1	3	0	13	CB
PIT 8603	2	1	1	2	2	1	3	0	22	CM
TG8601 TRAMPA RECIBO	2	2	2	1	3	1	3	0	18	CB
MOV 8605	2	1	2	2	1	1	3	0	42	CM
ZSV 8601	2	1	2	2	1	2	1	1	24	CM
PIT 8604	2	2	2	1	3	1	1	1	12	CB
TEV 8629	2	2	2	1	3	1	1	1	25	CM
MOV 8614	2	2	2	1	3	1	1	0	10	CB
TLF 8601	2	1	2	2	1	2	1	1	13	CB
PDIT 8601	2	1	2	1	2	2	1	1	30	CM
TEV 8630	2	2	1	2	2	1	1	1	22	CM
ZSV 8603	2	2	1	2	2	1	1	1	34	CM
TEV 8632	2	2	1	2	2	1	1	1	24	CM
TEV 8633	2	2	1	2	2	1	1	1	25	CM
PIT 8606	2	2	1	2	2	1	1	0	41	CM
PIT 8611	2	2	1	1	2	2	1	0	45	CM
MOV 8411 VALVULA DE SUCCION	2	2	1	1	2	2	1	1	46	CM
TEV 8410	2	2	1	1	2	2	1	1	32	CM
PIT 8411	2	2	1	1	2	2	1	1	34	CM
BOMBA PRINCIPAL BCC8410 UND. #1	4	8	5	3	4	0	1	1	174	CA
PIT 8412	2	1	1	2	2	1	2	0	12	CB
FS 0502	2	1	1	2	2	2	1	1	24	CM
MOV 8412	2	2	3	1	1	2	1	0	32	CM
PIT 8607	2	2	1	2	0	2	1	0	23	CM
MOV 8608	2	2	1	1	2	2	1	0	33	CM
FIT 8601	2	1	2	1	2	2	1	0	24	CM
DT 8601	2	1	2	1	2	2	1	0	43	CM
MOV 8610	2	1	2	1	1	2	0	1	35	CM
TG 8602 TRAMPA DESPACHO	2	1	2	1	1	2	0	1	37	CM

DESCRIPCION DEL EQUIPO	F F	O P	MTT R	C R	P E	A M	C L	I M	VALO R	Criticida d
PIT 8608	2	1	2	2	1	2	0	1	12	CB
MOV 8611	2	1	2	2	1	1	2	1	34	CM
MOV 8612	1	1	2	1	2	0	3	1	23	CM
FS 0500	2	1	2	1	2	0	3	1	31	CM
PIT 8612	2	1	1	2	1	2	0	1	26	CM
MOV 8613	2	1	1	2	1	2	0	1	28	CM
DESCRIPCION DEL EQUIPO	F F	O P	MTT R	C R	P E	A M	C L	I M	VALO R	Crit
UND. PRODUCTIVA DE BOMBEO										
BPC-8420 BOMBA CENTRIFUGA										
SEBASTOPOL										
MOV 9615	2	1	3	2	1	2	3	1	32	CM
PDIT 8602	2	1	3	2	1	2	1	3	43	CM
TLF 8602	2	1	3	3	2	1	3	3	23	CM
TEV 8631	2	1	3	2	1	1	3	3	41	CM
ZSV 8604	2	1	3	2	1	2	1	3	22	CM
ZSV 8602	2	1	3	3	2	1	1	3	33	CM
ZSV 8607	2	1	3	2	1	3	1	3	27	CM
MOV 8421 VALV. SUCCION UND #2	2	1	3	1	3	1	1	0	33	CM
TEV 8420	1	2	1	3	2	1	1	0	45	CB
PIT 8421	1	2	1	3	2	1	1	0	46	CB
BPC 8420 BOMBA PRINCIPAL UND #2	3	8	5	3	4	0	1	1	174	CA
PIT 8422	2	1	3	5	0	0	1	1	24	CM
PSV	1	3	1	1	0	0	1	1	37	CM
MOV 8422 VALV. DECARGA UND. #2	1	3	1	1	0	0	1	1	33	CM
DESCRIPCION DEL EQUIPO	F F	O P	MTT R	C R	P E	A M	C L	I M	VALO R	Critic
UND. PRODUCTIVA DE BOMBEO										
BPC-8430 BOMBA CENTRIFUGA										
SEBASTOPOL										
MOV 8616	2	1	3	2	1	2	3	1	34	CM
TLF 8603	2	1	3	2	1	2	1	0	22	CM
PDIT 8603	2	2	1	2	1	1	2	0	11	CB
TEV 8609	2	2	1	2	1	1	2	0	35	CM
ZSV 8605	2	2	3	1	1	1	2	0	41	CM
MOV 8431 VALV SUCCION UND. 33	2	2	1	1	2	1	1	1	26	CM
PIT 8431	2	1	1	1	2	1	1	1	36	CM
BPC 8430 BOMBA PRINCIPAL #3	2	8	2	3	4	0	1	1	174	CA
PIT 8432	1	2	3	1	2	0	0	0	15	CB
PSV 8403	2	1	3	2	1	2	3	1	38	CM
MOV 8432 VALV. DESCARGA UND. #3	2	1	3	2	1	2	1	3	32	CM

5. MODELO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO

Figura 18. Jerarquía de equipos Planta Santa Rosa



Para este caso de estudio se realizará la caracterización de las tareas de mantenimiento con foco en las unidades principales de bombeo, particularmente motor, variador hidrodinámico, sistema de refrigeración y bombas.

Tabla 14. Subdivisión de equipo motor

Subdivisión de la unidad de equipo						
Subunidad	Motor eléctrico	Control y monitoreo	Sistema de lubricación	de	Sistema de refrigeración	de
Partes mantenibles	Estator	RTD	Reservorio bomba con motor		Ventilador con motor	
	Rotor	Cableado				
	Acople	sensor				
	Chumaceras	tubería				

Tabla 15. Modos de falla motor

Modos de falla motor		
Unidad de equipo	Definición	Descripción
Motor unidad BPC 8410-20-30	1. Lectura anormal del instrumento	Rotor atascado
	2. Salida baja	No llega suficiente energía
	3. Voltaje de salida erróneo	Mucho consumo de corriente por parte del motor

Modos de falla motor		
Unidad de equipo	Definición	Descripción
	4. Vibración	Vibración excesiva
	5. Ruido	Ruido excesivo
	6. Sobrecalentamiento	temperatura excesiva
	7. No arranca bajo demanda	incapaz de arrancar
	8. No para bajo demanda	Incapaz de detener
	9. Lectura anormal del instrumento	falsas alarmas o lecturas erróneas
	10. Obstrucción/restricción	No permite el paso de lubricante sobre los rodamientos

Tabla 16. Tareas de mantenimiento motor BPC 8410-20-30

Mantenimiento PVO Motor Eléctrico de Inducción MT Cerrado sin filtro	PVO 360D – 8000 h
Mantenimiento PVO Motor eléctrico de Inducción MT Cerrado sin filtro	Realizar medición de resistencia de aislamiento a cableado de la acometida del motor
Mantenimiento PVO Motor eléctrico de Inducción MT Cerrado sin filtro	Realizar inspección física y visual general del equipo (Caja de conexiones, Cableado, conexiones, continuidad y sólida conexión de referencias a tierra, carcaza, patas, bases, pintura, tornillería)
Mantenimiento PVO Motor eléctrico de Inducción MT Cerrado sin filtro	Realizar prueba de Resistencia de Aislamiento.
Mantenimiento PVO Motor eléctrico de Inducción MT Cerrado sin filtro	Retirar cable de RTD
Mantenimiento PVO Motor eléctrico de Inducción MT Cerrado sin filtro	Realizar limpieza general. Si la refrigeración es por ventilador, retirar tapa y realizar limpieza; si cuenta con intercambiador de calor realizar limpieza exterior no intrusiva
Mantenimiento PVO Motor eléctrico de Inducción MT Cerrado sin filtro	Revisar estado físico exterior del cojinete con base en resultados de reportes de termografía, vibraciones y temperaturas. Revisar ajuste de portacojinete y el giro libre del motor
Mantenimiento PVO Motor eléctrico de Inducción MT Cerrado sin filtro	Revisar estado y cantidad del aceite. Revisar estado y limpieza de medidores de nivel de aceite interior y exterior de la caja. Reponer el nivel de aceite hasta 3/4 de la mirilla del medidor de aceite.
Mantenimiento PVO Motor eléctrico de Inducción MT Cerrado sin filtro	Cambiar elementos en mal estado
Mantenimiento PVO Motor eléctrico de Inducción MT Cerrado sin filtro	En conjunto con especialidad mecánica revisar estado de acople y guarda-acople
Mantenimiento PVO Motor eléctrico de Inducción MT Cerrado sin filtro	Normalizar y ajustar conexiones del motor y de la RTD

Mantenimiento PVO Motor Eléctrico de Inducción MT Cerrado sin filtro	PVO 360D – 8000 h
Mantenimiento PVO Motor eléctrico de Inducción MT Cerrado sin filtro	Medir valor de las RTD y de los cables que llevan la señal

Tabla 17. Subdivisión del equipo bomba

Subdivisión de la unidad de equipo bomba				
Subunidad	Transmisión de potencia	Unidad de bombeo	Sistema de lubricación	Control y monitoreo
Partes mantenibles	Acople unidad conductora	Carcaza	Reservorio bomba con motor	Cableado
	Cojinete	Cilindro		Válvula
	Sello	Cojinete de empuje		Monitoreo
		Cojinete radial		Sensor
		Diafragma		Unidad de control

Tabla 18. Modos de falla bomba BPC 8410-20-30

Modos de falla bomba		
Unidad de equipo	Definición	Descripción
Bomba unidad BPC 8410-20-30	1. Rotura	Rotor atascado
	2. Fuga externa medio de proceso	Fuga de producto al ambiente
	3. Voltaje de salida erróneo	Mucho consumo de corriente por parte del motor
	4. Vibración	Vibración excesiva
	5. Ruido	Ruido excesivo
	6. Sobrecalentamiento	Temperatura excesiva
	7. No arranca bajo demanda	Incapaz de arrancar
	8. No para bajo demanda	Incapaz de detener
	9. Lectura anormal del instrumento	Falsas alarmas o lecturas erróneas
	10. Obstrucción/restricción	No permite el paso de lubricante sobre los rodamientos

Tabla 19. Tareas de mantenimiento bomba principal BPC 8410-20-30

MANTENIMIENTO	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO RUTINARIO
PVO 360D Bomba Centrífuga	PVO 360D BOMBA CENTRÍFUGA
PVO 360D Bomba Centrífuga	ANALIZAR INFORME DE CBM
PVO 360D Bomba Centrífuga	TOMAR REGISTRO DE HOROMETRO
PVO 360D Bomba Centrífuga	ENCENDER LA UNIDAD
PVO Cada 1000hrs Bomba Centrífuga	INSPECCIONAR LA SUCCIÓN Y DESCARGA
PVO Cada 1000 hrs Bomba Centrífuga	INSPECCIONAR EL FILTRO DE SUCCIÓN
PVO 360D Bomba Centrífuga	REGISTRE DATOS OPERACIONALES
PVO 360D Bomba Centrífuga	REVISAR SI HAY FUGA GENERALES
PVO Cada 1000hrs Bomba Centrífuga	INSPECCIÓN GENERAL

MANTENIMIENTO	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO RUTINARIO
PVO 360D Bomba Centrífuga	VERIFICAR PRESIÓN ENTRE MANÓMETROS
PVO 360D Bomba Centrífuga	REVISAR FUGAS EN LOS SELLOS MECÁNICOS
PVO 360D Bomba Centrífuga	REVIZAR FUGAS POR EMPAQUES
PVO 360D Bomba Centrífuga	ANALIZAR RUIDOS AJENOS ANORMALES
PVO 360D Bomba Centrífuga	IDENTIFICAR CAVITACIÓN, VIBRACIÓN
PVO 360D Bomba Centrífuga	IDENTIFI FALLAS COJINETES, CALENTAMIENTO
PVO 360D Bomba Centrífuga	DESARMAR EL ACOUPLE E INSPECCIONAR
PVO 360D Bomba Centrífuga	REEMPLAZAR LUBRICANTE DE RODAMIENTOS
PVO 360D Bomba Centrífuga	REVISSAR ESTADO Y AJUSTE DE ANCLAJES
PVO 360D Bomba Centrífuga	MONTAR EL ACOUPLE
PVO 360D Bomba Centrífuga	DESMONTAR SELLO PARA REPARAR O CAMBIAR
PVO 360D Bomba Centrífuga	INSTALAR LAS GUARDAS DE SEGURIDAD.
PVO 360D Bomba Centrífuga	VERIFICAR ALINEACIÓN
PVO 360D Bomba Centrífuga	LIMPIAR INTERCAMBIADOR DE CALOR SA

Tabla 20. Modos de falla variador unidad BPC 8410-20-30

Modos de falla Variador de velocidad		
Unidad de equipo	Definición	Descripción
Bomba unidad BPC 8410-20-30	1. Fuga externa medio utilitario	Fuga aceite lubricante al ambiente
	2. Fuga externa medio de proceso	Fuga de producto al ambiente
	3. Voltaje de salida erróneo	Mucho consumo de corriente por parte del motor
	4. Vibración	Vibración excesiva
	5. Ruido	Ruido excesivo
	6. Sobrecalentamiento	Temperatura excesiva
	7. No arranca bajo demanda	Incapaz de arrancar
	8. No para bajo demanda	Incapaz de detener
	9. Lectura anormal del instrumento	Falsas alarmas o lecturas erróneas
	10. Obstrucción/restricción	No permite el paso de lubricante sobre los rodamientos

Tabla 21. Tareas de mantenimiento variador principal BPC 8410-20-30

MANTENIMIENTO	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO RUTINARIO
PVO Variador VOITH	PVO 1000H VARIADOR VOITH
	REVISAR INFORMES DE CBM - VIBRACIONES
	REVISAR INFORMES DE CBM - TERMOGRAFIA
	REVISAR INFORMES DE CBM - EFICIENCIA
	INSPECCIONAR POR FUGAS
	INSPECCIONAR EQUIPOS AUX DEL VARIADOR
	TOMA DE MUESTRA DE ACEITE
PVO Variador VOITH	PVO 2000H VARIADOR VOITH
	REVISAR INFORMES DE CBM - VIBRACIONES
	REVISAR INFORMES DE CBM - TERMOGRAFIA

MANTENIMIENTO	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO RUTINARIO
	REVISAR INFORMES DE CBM - EFICIENCIA
	INSPECCIONAR POR FUGAS
	INSPECCIONAR EQUIPOS AUX DEL VARIADOR
	TOMA DE MUESTRA DE ACEITE
	INSPECCIONAR FILTROS
PVO Variador VOITH	PVO 4000H VARIADOR VOITH
	REVISEARLOS ANALISIS DE ACIETES PREVIOS
	INSPECCIONAR CONEXIONES DEL VARIADOR
	VERIF. ALINEACIÓN DEL CONJUNTO
	REMOVER TAPA DE INSPECCION DEL VARIADOR
	INSPECCION CONDICION DE LOS ENGRANAJES
	VERIFICAR PATRON DE CONTACTO ENGRANAJES
	VERIFICAR EL ESTADO DE LOS FUSIBLES
PVO Variador VOITH	PVO 8000H VARIADOR VOITH
	REVISAR LOS ANALISIS DE ACIETES PREVIOS
	INSPECCIONAR CONEXIONES DEL VARIADOR
	VERIF. ALINEACIÓN DEL CONJUNTO
	REMOVER TAPA DE INSPECCION DEL VARIADOR
	INSPECCION CONDICION DE LOS ENGRANAJES
	VERIFIQUE PATRON DE CONTACTO ENGRANAJES
	VERIFIQUE EL ESTADO DE LOS FUSIBLES

6. CONCLUSIONES

- Se realizó un plan de mantenimiento basado en la filosofía RCM para las unidades de bombeo principales.
- Este plan se presentó y socializó al equipo de operaciones, logrando pleno interés y el compromiso de mejorar las prácticas tanto en inspecciones como en los reportes diarios del estado de los equipos.
- Con la estrategia de análisis de criticidad se logró evidenciar que partes de los equipos deben ser cuidadosamente inspeccionados para evitar fallas y paradas no programadas.
- SE identificó los riesgos que pueden ser mitigados frente a la materialización de eventos (cuasi-accidentes y accidentes).
- Se configuraron las tareas de mantenimiento para las unidades principales, en donde se integraron tareas de mantenimiento, aumentando la disponibilidad y los tiempos entre mantenimientos.
- En este escenario del RCM se aplican las mejores prácticas de mantenimiento de forma organizada y sistemáticamente planeadas.

BIBLIOGRAFIA

Arata Andreani, Adolfo. *Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas Industriales*. Primera ed. Santiago de Chile. 209d. C.

Coupling Thomas 2071%. Acople del motor. Mechanical seals for pumps. Disponible en: <https://www.eagleburgmann.com/en/products/mechanical-seals/mechanical-seals-for-pumps>

Creus Sole, Antonio. *Fiabilidad y seguridad Su aplicación en procesos industriales*, Segunda edición. 433 p. ISBN: 84-267-1362-9. España: Marcombo S.A., 2005.

Docplayer. Orientación para Contratistas. Preparación FASE I. Curso de fomento de trabajo seguro, limpio y saludable. Disponible en: <https://docplayer.es/23932171-Orientacion-para-contratistas-preparacion-fase-i-curso-de-fomento-de-trabajo-seguro-limpio-y-saludable.html>

Ecopetrol. Infraestructura de poliductos. Planta Santa Rosa. Foto tomada desde la oficina, por el autor. (2020).

Eagle Burgmann. H75VK. Catalogo. Mechanical seals mechanical seals for pumps. Puster seals. Disponible en: <https://www.eagleburgmann.com/media/literature-competences-products-solutions/division-mechanical-seals/products/main-catalog/catalog-mechanical-seals-magnetic-couplings>

González Fernandes Francisco Javier. *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado*. 4ª edición, ISBN-13: 978-84-92735-85-3. España, 2012.

-----, *Reducción de costes y mejora de resultados en mantenimiento, La gestión mediante indicadores*. S.A ISBN-13: 978-84-92735-34-1, España

Siemens. Loher Vario High Voltage Motors Flameproof. Catalogo Motor Edición 2015. Disponible en: https://mall.industry.siemens.com/collaterals/files/76/PDF/ENG_634222.PDF

Sulzer. MSD Bomba multietapa partida axialmente. Disponible en: <https://www.sulzer.com/es-es/spain/shared/products/msd-axially-split-multistage-pump>

Video. Henfel's HFPM Variable Speed Hydrodynamic Coupling Animation and Application. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=9pE94nz2gxQ>

1. Voith Turbo. Variable-Speed Turbo Couplings. Publicado 2017. Disponible en: http://mcerl.com.tw/wp-content/uploads/2017/03/Cr104_VSTC_en-2012.pdf

ANEXOS

Anexo A. Divulgación metodología RCM a personal de operaciones