

PROPUESTA DE MEJORA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO
PARA LAS UNIDADES PRINCIPALES EN LA ESTACIÓN DE BOMBEO
MONTERREY.

JOSE LUIS SILVA REYES

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2016

PROPUESTA DE MEJORA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO
PARA LAS UNIDADES PRINCIPALES EN LA ESTACIÓN DE BOMBEO
MONTERREY.

JOSE LUIS SILVA REYES

Monografía de Especialización para optar al título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director

DIEGO ORLANDO SERRANO ARANGO

MBA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2016

DEDICATORIA

A Dios y mi familia...

Jose Luis Silva Reyes

CONTENIDO

pág.

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN | 16 |
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 18 |
| 1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA | 18 |
| 1.2 JUSTIFICACIÓN | 20 |
| 1.3 OBJETIVOS..... | 21 |
| 1.3.1 Objetivo general..... | 21 |
| 1.3.2 Objetivos específicos. | 21 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 22 |
| 2.1 GENERALIDADES DEL MANTENIMIENTO..... | 22 |
| 2.1.1 Enfoque hacia las acciones de mantenimiento, Etapas I y II | 23 |
| 2.1.2 Enfoque hacia la organización táctica del mantenimiento, Etapa III | 25 |
| 2.1.3 Enfoque integral logístico de creación de una estrategia de mantenimiento, Etapa IV | 25 |
| 2.1.4 Enfoque hacia las habilidades y competencias de mantenimiento, Etapa V..... | 26 |
| 2.1.5 Enfoque hacia la gestión de activos, Etapa VI | 27 |
| 2.1.6 Impacto del mantenimiento | 28 |
| 2.2 MÉTODOS DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO | 28 |
| 2.2.1 Correr a falla | 29 |
| 2.2.2 Mantenimiento preventivo | 30 |
| 2.2.3 Mantenimiento predictivo | 31 |
| 2.3 GENERALIDADES DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO | 31 |
| 2.3.1 Optimización del mantenimiento predictivo | 32 |
| 2.3.2 Cambio de cultura | 33 |
| 2.3.3 Uso apropiado de las tecnologías predictivas..... | 34 |

| | |
|--|-----------|
| 2.3.3.1 Análisis de vibraciones..... | 35 |
| 2.3.3.2 Termografía | 37 |
| 2.3.3.3 Análisis de aceites usados..... | 40 |
| 2.4 MARCO LEGAL | 42 |
| 2.4.1 ISO 17359: Guía para implementar un programa PdM..... | 42 |
| 2.4.2 Normatividad para la aplicación de tecnologías básicas de PdM. | 44 |
| 2.4.2.1 ISO 10816: Mechanical vibration - Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts | 44 |
| 2.4.2.2 ISO 18436: Condition monitoring and diagnostics of machines -- Requirements for qualification and assessment of personnel | 44 |
| 2.4.2.3 ASTM E1934 – 99a: Standard Guide for Examining Electrical and Mechanical Equipment with Infrared Thermography..... | 44 |
| 2.4.2.4 ISO 18434: Condition monitoring and diagnostics of machines – Thermography..... | 45 |
| | |
| 3. DESARROLLO METODOLÓGICO | 46 |
| 3.1 GENERALIDADES | 46 |
| 3.1.1 Tareas técnicas básicas en Programa de Mantenimiento | 48 |
| 3.1.2 Aplicaciones de tecnologías..... | 48 |
| 3.1.3 Definiciones del proceso de flujo | 49 |
| 3.1.4 Coordinación y liderazgo del programa | 49 |
| 3.1.5 Organización, roles y responsabilidades..... | 49 |
| 3.1.6 Administración de la información y comunicación..... | 50 |
| 3.1.7 Equipo para evaluación de la condición y toma de decisiones | 50 |
| 3.1.8 Formación y capacitaciones..... | 50 |
| 3.1.9 Priorización y planificación de las actividades PdM | 51 |
| 3.1.10 Cierre de actividades y retroalimentación de mantenimiento..... | 51 |
| 3.1.11 Objetivos e indicadores de desempeño | 51 |
| 3.1.12 Cálculos del costo beneficio y retorno de la inversión | 52 |
| 3.1.13 Satisfacción del cliente..... | 52 |
| 3.1.14 Mejora continua | 52 |
| 3.2 EVALUACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO ACTUAL..... | 53 |

| | |
|---|----|
| 3.3. IDENTIFICACIÓN DE OPORTUNIDADES DE MEJORA DEL PLAN PdM ACTUAL..... | 56 |
| 3.3.1 Tareas técnicas básicas en Programa de Mantenimiento | 58 |
| 3.3.2 Definición del proceso de flujo | 58 |
| 3.3.3 Coordinación y liderazgo del programa | 58 |
| 3.3.4 Organización, roles y responsabilidades..... | 59 |
| 3.3.5 Administración de la información y comunicación..... | 59 |
| 3.3.6 Equipo para evaluación de la condición y toma de decisiones | 59 |
| 3.3.7 Formación y capacitaciones..... | 60 |
| 3.3.8 Cierre de actividades y retroalimentación de mantenimiento | 60 |
| 3.3.9 Objetivos e indicadores de desempeño | 60 |
| 3.3.10 Cálculos del costo beneficio y retorno de la inversión | 61 |
| 3.3.11 Satisfacción del cliente..... | 61 |
| 3.3.12 Mejora continua | 61 |
| 3.4 ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PROPUESTA | 61 |
| 3.4.1 Tareas técnicas básicas en Programa de Mantenimiento | 62 |
| 3.4.2 Definición del proceso de flujo | 64 |
| 3.4.3 Coordinación y liderazgo del programa | 65 |
| 3.4.4 Organización, roles y responsabilidades..... | 65 |
| 3.4.5 Administración de la información y comunicación..... | 65 |
| 3.4.6 Equipo para evaluación de la condición y toma de decisiones | 66 |
| 3.4.7 Formación y capacitaciones..... | 67 |
| 3.4.8 Cierre de actividades y retroalimentación de mantenimiento | 67 |
| 3.4.9 Objetivos e indicadores de desempeño | 67 |
| 3.4.10 Cálculos del costo beneficio y retorno de la inversión | 68 |
| 3.4.11 Satisfacción del cliente..... | 69 |
| 3.4.12 Mejora continua | 69 |
| 3.5 EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PLAN ACTUAL Y DEL PLAN PROPUESTO DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO | 70 |

| | |
|---|----|
| 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LAS PROPUESTAS PARA MEJORAR EL PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO | 72 |
| 4.1 TAREAS TÉCNICAS BÁSICAS EN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO | 72 |
| 4.2 DEFINICIÓN DEL PROCESO DE FLUJO | 72 |
| 4.3 COORDINACIÓN Y LIDERAZGO DEL PROGRAMA | 73 |
| 4.4 ORGANIZACIÓN, ROLES Y RESPONSABILIDADES | 73 |
| 4.5 ADMINISTRACIÓN DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN | 73 |
| 4.6 EQUIPO PARA EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN Y TOMA DE DECISIONES | 74 |
| 4.7 FORMACIÓN Y CAPACITACIONES | 74 |
| 4.8 CIERRE DE ACTIVIDADES Y RETROALIMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO | 74 |
| 4.9 OBJETIVOS E INDICADORES DE DESEMPEÑO | 75 |
| 4.10 CÁLCULOS DEL COSTO BENEFICIO Y RETORNO DE LA INVERSIÓN.... | 75 |
| 4.11 SATISFACCIÓN DEL CLIENTE | 75 |
| 4.12 MEJORA CONTINUA | 76 |
| | |
| 5. CONCLUSIONES | 77 |
| | |
| 6. RECOMENDACIONES | 79 |
| | |
| BIBLIOGRAFÍA | 80 |
| | |
| ANEXOS | 82 |

LISTA DE IMÁGENES

| | pág. |
|--|-----------|
| Imagen 1. Acciones de mantenimiento antes y después de la falla..... | 24 |
| Imagen 2. Curva de la bañera | 30 |
| Imagen 3. Espectro de vibración | 37 |
| Imagen 4. Imagen térmica de chumacera en bomba de estación Monterrey . | 39 |
| Imagen 5. Reporte de resultado de pruebas de laboratorio de aceites industriales..... | 41 |
| Imagen 6. Diagrama de flujo del monitoreo de condición..... | 43 |
| Imagen 7. Resultados de calificación de las catorce áreas de interés | 55 |
| Imagen 8. Ambiente software <i>RCM cost</i>..... | 62 |
| Imagen 9. Diagrama de flujo reportes | 64 |
| Imagen 10. <i>Share Point Massy Energy</i> | 66 |
| Imagen 11. Predictivo vs. Correctico | 68 |
| Imagen 12. Porcentaje de asertividad | 68 |

Imagen 13. Formato evaluación de satisfacción del cliente70

Imagen 14. Costos de mantenimiento.....71

LISTA DE TABLAS

pág.

| | |
|---|-----------|
| Tabla 1. Evolución histórica del mantenimiento | 23 |
| Tabla 2. Cantidad de unidades de bombeo por fase de expansión..... | 46 |
| Tabla 3. Áreas de interés de un programa de mantenimiento predictivo | 47 |
| Tabla 4. Consideraciones de acuerdo a la calificación obtenida | 53 |
| Tabla 5. Calificación de las catorce áreas de interés | 56 |
| Tabla 6. Control de cambios de actividades de la estrategia de mantenimiento actual vs. Optimizada en <i>RCM cost</i>..... | 63 |

LISTA DE ANEXOS

pág.

| | |
|--|-----------|
| Anexo A. Plantilla estrategia de mantenimiento propuesta del sistema de bombeo..... | 82 |
| Anexo B. AMEF Monterrey estrategia actual..... | 84 |
| Anexo C. AMEF Monterrey estrategia optimizada. | 89 |
| Anexo D. Matriz de análisis de riesgo de ECOPETROL S.A..... | 94 |

RESUMEN

TÍTULO: PROPUESTA DE MEJORA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA LAS UNIDADES PRINCIPALES EN LA ESTACIÓN DE BOMBEO MONTERREY¹.

AUTOR: JOSE LUIS SILVA REYES².

PALABRAS CLAVES: PREDICTIVO, MOTOR, BOMBA, DESPLAZAMIENTO, POSITIVO, CONFIABILIDAD, ESTRATEGIA.

DESCRIPCIÓN O CONTENIDO: En este trabajo de grado modalidad monografía, se propone un nuevo plan de mantenimiento predictivo para las unidades principales de la estación de bombeo Monterrey.

Dado que actualmente se tiene implementado un plan de mantenimiento predictivo, con las tecnologías básicas para plantas donde la mayoría de máquinas motrices son motores de combustión; son el desempeño de motores, el análisis de vibraciones, le termografía mecánica y el análisis de aceites las herramientas más comunes utilizadas como métricas del mantenimiento, la aplicación de estas actividades se realiza de una forma muy frecuente, quedando el tiempo muy justo para el análisis rutinario.

Con base a la problemática que se describe, se diseña una propuesta de mejora del plan de mantenimiento predictivo actual. Se realiza haciendo una evaluación del plan actual inicialmente por medio de la guía de EPRI, el cual tiene un alto grado de exigencia, ya que se aplica para un sector tan sensible como lo es la energía nuclear. También por medio del software RCM cost, se ejecuta una optimización del AMEF actual de la planta, enfocado a la utilización de las tecnologías de mantenimiento predictivo.

Posterior a la evaluación, se identifican oportunidades de mejora del plan actual, de las cuales se basó la formulación de la propuesta de mejora del plan actual con el fin de mejorar el aporte en la gestión de mantenimiento por parte del mantenimiento predictivo.

Este trabajo de grado está basado en las normas internacionales que sirven como guía para la implementación de programas de monitoreo de condición y la aplicación de las tecnologías básicas del mantenimiento predictivo.

¹ Monografía.

² Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Diego Orlando Serrano Arango, MBA.

SUMMARY

TITLE: PROPOSE TO IMPROVE THE PREDICTIVE MAINTENANCE PLAN FOR THE MAIN UNITS IN THE MONTERREY PUMPING STATION³.

AUTHOR: JOSE LUIS SILVA REYES⁴.

KEYWORDS: PREDICTIVE, MOTOR, PUMP, DISPLACEMENT, POSITIVE, RELIABILITY, STRATEGY.

DESCRIPTION OR CONTENTS: In this work of grade in monograph mode, is proposed a new plan of predictive maintenance for the main units of the Monterrey pumping station.

Given, that currently it has implemented a predictive maintenance plan, and basic technologies for plants where the majority of driving machines are combustion engines; are the performance of engines, the vibrations analysis, the mechanical thermography and the oils analysis them tools more common used as metric of the maintenance, the application of these activities is made of a form very frequent, leaving the time very just for the routine analysis.

With base to the problematic that is described, is designed a proposal of improves of the actual plan of predictive maintenance. This is done making an assessment of the current initially plan through the guidance of EPRI, which has a high degree of demand, since it applies to a sector as sensitive as nuclear energy is. Also, by means of the software RCM cost, is running an optimization of the FMEA current of the plant, focused to the use of the technologies of predictive maintenance.

After the assessment, identify opportunities for improvement of the current plan, which was based the formulation of the proposal for the improvement of the current plan in order to improve the contribution in the management of maintenance predictive maintenance.

This work of grade is based on international standards that serve as a guide for the implementation of monitoring programmes, condition and application of basic technologies for predictive maintenance.

³ Monograph.

⁴ School of Engineering Physics and Mechanics. Specialization in Maintenance Management. Director: Diego Orlando Serrano Arango, MBA.

INTRODUCCIÓN

Actualmente en el país se está viviendo una época en que las empresas de servicio mantenimiento tienen que ofrecer servicios inmediatos con estrategias maduras desde el inicio, es decir en ejecución de forma instantánea, con exigencias de resultados, sin etapas de implementación y maduración. Este trabajo de monografía expone un caso de este tipo, donde se implementa una estrategia de mantenimiento predictivo para las bombas principales de una estación de bombeo, sin tener en cuenta estándares básicos que sirven como guía para la implementación de estas estrategias de monitoreo de condición.

Se pretende hacer una propuesta de mejora al plan de mantenimiento predictivo actual de la estación de bombeo. Primero se realiza una evaluación de los aspectos claves que debe tener un programa de monitoreo de condición por medio de guías que utiliza un sector de alta confiabilidad como lo es el sector nuclear. De acuerdo a los resultados de la evaluación, se identifican oportunidades de mejora del plan actual de mantenimiento predictivo.

Las oportunidades de mejora identificadas, se utilizan como base para la formulación de un nuevo plan de mantenimiento predictivo para las unidades principales de la estación de bombeo, en esta ocasión tomando como guía los pasos de la metodología que proponen los estándares internacionales, abriendo la oportunidad de la implementación de tecnologías más profundas en el diagnóstico de condición para el tipo de activos involucrados.

Para establecer la viabilidad del nuevo plan propuesto se realiza una evaluación económica del plan original y del nuevo plan propuesto con el fin de comparar el costo beneficio que traen los planes para la gestión del mantenimiento de la estación.

Estos resultados económicos así como otros beneficios para la gestión del mantenimiento, se mencionan para resaltar el aporte que el mantenimiento predictivo puede dar al mejoramiento del desempeño de activos cuando un plan se establece no solo para el monitoreo rutinario de condición.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La Gerencia Técnica de Activos (GTA) de la Vicepresidencia de Transporte y Logística (VIT) de Ecopetrol S.A. (Cliente), decidió incluir en el plan de mantenimiento una estrategia de monitoreo y análisis de condición de activos, aumentando la frecuencia de aplicación de las tecnologías predictivas disponibles, con el fin de incrementar la disponibilidad de la infraestructura que conforma el corredor de las estaciones de bombeo Castilla, Apiay y Monterrey, asegurando la confiabilidad de los activos, de acuerdo al plan de evacuación de crudos para alcanzar un flujo de 330 KBDO. Bajo este marco se solicitó el servicio CBM In-house a Massy Energy Colombia S.A.S.

El plan de mantenimiento predictivo propuesto por el Cliente para la estación de bombeo Monterrey inicialmente consistió en ejecutar cada ocho (8) días el análisis de vibraciones a las unidades principales de bombeo, cada quince (15) días termografía (mecánica) y análisis de desempeño a motores de combustión de estas mismas unidades, con un turno 5x2 (de lunes a viernes), con el siguiente personal: un analista para las técnicas de vibraciones y termografía mecánica, y un analista para desempeño de motores de combustión. Dentro de la estrategia se contempló que por cada ronda de monitoreo se debería entregar un pre informe al personal del cliente en campo y posterior a éste un informe final a la GTA.

Al inicio de la ejecución del servicio con el plan descrito anteriormente, no fue posible cumplir con los tiempos establecidos debido a la gran cantidad de equipos involucrados dentro del alcance, por lo que el Cliente decidió ampliar la periodicidad del análisis de vibraciones a 15 días. Sin embargo con este reajuste teniendo en

cuenta que el tiempo de demora en la adquisición de datos de las tecnologías predictivas dependía exclusivamente de la programación de despacho diario para la estación, este esquema fue igualmente escaso. La medición de los equipos dentro del alcance comprendió 5 días, adicional el tiempo del preinforme y reportes finales abarcaban 6 días más, teniendo en cuenta que la aplicación completa del análisis de vibraciones disponía únicamente de 10 días hábiles, los 11 días anteriormente referenciados resultaban insuficientes, aún faltando la ronda de termografía que de acuerdo a la estrategia se debía hacer dentro de estos mismos quince días. Para el analista de desempeño de motores de combustión, el tiempo de toma de datos incluía cinco días máximo, 4 días para la realización del preinforme y aproximadamente 8 días más para la elaboración de reportes ya que para cada máquina monitoreada correspondía un Informe independiente.

Lo anterior sin tener en cuenta el punto de vista técnico, ya que en la mayoría de ocasiones las unidades de bombeo no operaban más de 200 horas entre mediciones, resultando diagnósticos repetitivos sin cambios significativos de estado o condición. Luego de exponer esta problemática, la GTA decidió aumentar la periodicidad de monitoreo para las tres tecnologías (vibraciones, termografía y desempeño) estableciendo su ejecución mensualmente. Este nuevo cambio permitió desarrollar las tres tecnologías CBM disponibles dentro de los tiempos estipulados, pero sin dar relevancia a los problemas de maquinaria mediante un análisis específico y profundo sobre los defectos encontrados, sólo se realiza un análisis básico de la condición que puede ser mejorado para lograr los objetivos iniciales de la estrategia, es decir, incrementar la disponibilidad de los activos mejorando la confiabilidad, por lo tanto se requiere reformar el plan de mantenimiento predictivo teniendo en cuenta aspectos referenciados en normas internacionales para el mejor aprovechamiento de un servicio CBM bajo la modalidad In-house.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El plan de mantenimiento predictivo implementado actualmente para el servicio CBM In-house de la estación de bombeo Monterrey, ha sido modificado en dos ocasiones sin tener en cuenta aspectos técnicos del análisis de condición, en cuanto al beneficio de tener analistas calificados continuamente en la planta, lo que se refiere al desaprovechamiento del recurso humano disponible ya que éste posee dedicación exclusiva para la adquisición de datos y la ejecución de análisis básicos de condición, sin abrir espacios para desarrollar análisis específicos y necesarios sobre los fenómenos dinámicos que afectan el comportamiento y por ende la condición de los activos. Esto involucra atacar las causas de falla técnicamente dando valor agregado tanto al proceso operativo como en pro de la mejora en la gestión del mantenimiento, impactando positiva y directamente sobre los costos asociados.

Es necesario realizar una evaluación del plan actual de mantenimiento predictivo de acuerdo a estándares internacionales, con el fin de identificar oportunidades de mejora, para ser una herramienta de mejora y garantizar el valor agregado a la gestión del mantenimiento, al final aumentando la confiabilidad y la disponibilidad de los activos que se encuentran dentro del alcance.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general. Diseñar una propuesta de mejora del plan de mantenimiento predictivo actual para las unidades principales de la estación de bombeo Monterrey bajo la modalidad In-house.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Evaluar el plan actual de mantenimiento predictivo de las unidades principales de la estación de bombeo Monterrey bajo la modalidad In-house.
- Identificar oportunidades de mejora para el plan actual de mantenimiento predictivo de las unidades principales de la estación de bombeo Monterrey bajo la modalidad In-house.
- Plantear propuestas para mejorar el plan actual de mantenimiento predictivo para las unidades de la estación de bombeo Monterrey bajo la modalidad In-house.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 GENERALIDADES DEL MANTENIMIENTO

El mantenimiento empieza a hacer parte en la historia de la humanidad desde la aparición de las máquinas para la producción de bienes y servicios, ya que se empiezan a generar averías y fallas en los equipos, conduciendo a la existencia de tareas para ponerlos de nuevo en funcionamiento. De allí que la principal función del mantenimiento es sostener la funcionalidad de los equipos y el buen estado de las máquinas a través del tiempo.

Ha medida que el hombre evoluciona en la satisfacción de sus bienes y servicios, también lo hacen las áreas productivas, planteando objetivos de acuerdo a la necesidad de la época, y de la mano el mantenimiento lo ha hecho a través del tiempo. Tradicionalmente se ha analizado esta evolución en etapas de acuerdo a las generaciones, relacionando las áreas de mantenimiento y producción en función de sus metas planteadas para cada una de ellas en forma genérica. A continuación se exploran los enfoques de las etapas evolutivas y crecimiento del mantenimiento de acuerdo a las necesidades de producción⁵. Ver tabla 1.

⁵ MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento – Planeación, Ejecución y Control. Alfaomega 2014. p 13

Tabla 1. Evolución histórica del mantenimiento

| Etapa | sucede aproximadamente | Producción - Manufactura | | Mantenimiento e Ingeniería de Fábricas | |
|-------|------------------------|---|---|--|---|
| | | Orientación hacia | Necesidad específica | Orientación hacia | Objetivo que pretende |
| I | antes de 1950 | el producto | generar el producto | hacer acciones correctivas | reparar fallos imprevistos |
| II | entre 1950 y 1959 | la producción | estructurar un sistema productivo | aplicar acciones planeadas | prevenir, predecir y reparar fallos |
| III | entre 1960 y 1980 | la productividad | optimizar la producción | establecer tácticas de mantenimiento | gestar y operar bajo un sistema organizado |
| IV | entre 1981 y 1995 | la competitividad | mejorar índices mundiales | implementar una estrategia | medir costos, CMD, compararse, predecir índices, etc. |
| V | entre 1996 y 2003 | la innovación tecnológica | hacer la producción ajustada a la demanda | desarrollar habilidades y competencias | aplicar ciencia y tecnología de punta |
| VI | desde 2004 | Gestión y operación integral de activos en forma coordinada entre ambas dependencias Anticiparse a las necesidades de los equipos y de los clientes de mantenimientos - Predicciones - Pronósticos Gestión de activos | | | |

Fuente: MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo. Alfaomega 2015. p 26

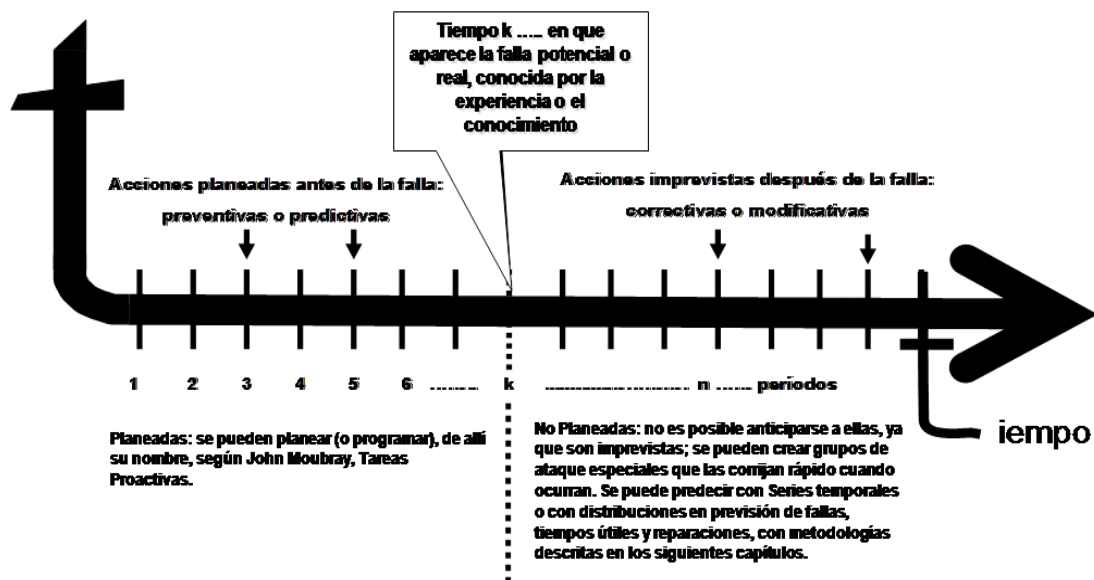
2.1.1 Enfoque hacia las acciones de mantenimiento, Etapas I y II

La prioridad en esta etapa era elaborar el producto para la producción. En el mantenimiento aparecen sus disciplinas o especialidades fundamentales como por ejemplo los departamentos de mecánica, electricidad e instrumentación, cuyo personal tenía como función las primeras acciones del mantenimiento que eran corregir la falla o parada imprevista. También a su vez se generan los elementos iniciales para la gestión del mantenimiento como lo son ordenes de trabajo, herramientas, almacenes de repuestos e insumos. Esta fue llamada la Etapa I.

La ocurrencia de las fallas imprevistas en los equipos se convierte para la producción su mayor problema, ya que su nueva necesidad era estructurar el sistema productivo. Esta nueva exigencia lleva al mantenimiento a evolucionar entrando en la Etapa II, donde se empiezan a desarrollar acciones preventivas y de predicción de fallas, adquiriendo la destreza para identificar las tareas antes y después de la falla; se inicia la utilización de técnicas y tecnologías para la

prevención y predicción⁶, tales como rutinas de inspección, planes preventivos, análisis de condición, ensayos no destructivos, control de la vida útil entre otros. En esta etapa se distinguen las tareas correctivas, modificativas (rediseño), preventivas, y predictivas, siendo las dos primeras después de la ocurrencia de la falla y las dos últimas previas al estado de no funcionalidad de la unidad productiva, como se presenta a continuación.

Imagen 1. Acciones de mantenimiento antes y después de la falla



Fuente: MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo. Alfaomega 2015. p 27

⁶ MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento – Planeación, Ejecución y Control. Alfaomega 2014. p 14

2.1.2 Enfoque hacia la organización táctica del mantenimiento, Etapa III

En las etapas anteriores mantenimiento dependía de producción en cuanto a nivel jerárquico, ya es esta etapa producción para mejorar su proceso prioriza la explotación y combinación de sus factores productivos, dando a mantenimiento un desarrollo más independiente. Luego de que en las etapas anteriores maduraran los conceptos básicos de mantenimiento, la nueva orientación lleva implementar estrategias para la ejecución secuencial, lógica y organizada de las acciones de mantenimiento de modo sistemático, permitiendo de acuerdo a sus tipos necesidades desarrollar estrategias que se adaptan a algunas de ellas sin necesidad de evolucionar en cada una de ellas⁷, las estrategias o tácticas más utilizadas entre otras son: TPM, RCM, TPM & RCM combinados, proactivo, reactivo, mantenimiento centrado en riesgo, centrado en objetos o resultados, centrado en habilidades y competencias, etc.

2.1.3 Enfoque integral logístico de creación de una estrategia de mantenimiento, Etapa IV

Una vez las empresas o departamentos de mantenimiento logran madurar con suficiencia los niveles anteriores, evolucionan a la Etapa IV al querer medir su desempeño y establecer metas alcanzables. Para esto adoptan los indicadores de desempeño bajo parámetros propios o internacionales, hacen uso e interpretación de la curva de Davies al involucrar sus deducciones en las acciones del mantenimiento, se inician a establecer sistemas de costeo propios como el LCC, para establecer niveles de logros alcanzados se hacen comparaciones con empresas similares o diferentes para identificar oportunidades de mejora. En este

⁷ MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento – Planeación, Ejecución y Control. Alfaomega 2014. p 15

nivel se pretende controlar de forma integral y específica todas las actividades, elementos, tácticas y acciones, conduciendo hacia la Terotecnología o llamada como mantenimiento integral logístico.

La Terotecnología se apoya en diversas áreas del conocimiento, entre otras especialmente utiliza la logística, la ingeniería de fábricas, y la gestión de la tecnología, a partir de que la competitividad es sustituida es sustituida en las empresas de mantenimiento por la innovación tecnológica. En este nivel hay mayor participación de los directivos y demás áreas de la empresa para mejorar la eficiencia productiva y mayor reducción de costos, a través de metas alcanzables. También gana importancia el desarrollo del personal de mantenimiento, necesitando capacitación para alcanzar la calificación suficiente y poder aplicar las nuevas tecnologías en el proceso de gestión⁸.

2.1.4 Enfoque hacia las habilidades y competencias de mantenimiento, Etapa V

Esta etapa se centra en el desarrollo de las competencias y habilidades de todo el personal de mantenimiento, generalmente se centra en profundizar algunos tópicos de las etapas anteriores, por ejemplo se consolidan las realizaciones de FMECA, RCFA, y RPN. También se logra fortalecer el sistema de información de mantenimiento y producción⁹. Normalmente en esta etapa se logra realizar una estrategia de mantenimiento integral basada en procesos, donde se analizan las actividades, los procesos y el macro proceso, mediante la implementación de índices e indicadores sobre la calidad, el tiempo y los costos de cada acción de mantenimiento, al identificar el cliente y el demandante de cada tarea, a la vez que

⁸ MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento – Planeación, Ejecución y Control. Alfaomega 2014. p 16

⁹ MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento – Planeación, Ejecución y Control. Alfaomega 2014. p 17

se miden todos los parámetros de proceso. Durante la etapa V también se propende la utilización de la teoría de restricciones TOC y de los costos basados en actividad ABC en este nivel.

A medida que producción también establece también prácticas que aumentan la productividad, la rentabilidad, la competitividad, la utilización de innovación tecnológica, en base a una producción ajustada a la demanda. El desarrollo de mantenimiento y producción es tal en este nivel que trabajan en forma conjunta para la máquina, entendiendo que es un activo generador de ingresos para la organización.

2.1.5 Enfoque hacia la gestión de activos, Etapa VI

Cuando la organización desarrolla y alcanza una metodología con la capacidad de integrar todos y cada uno de las etapas anteriores se logra avanzar a la etapa VI, definida como gestión de activos, la que permite integrar todo el conocimiento y las mejores prácticas aprendidas, con el fin de manejar con flexibilidad y éxito sus activos. La evolución hacia la etapa VI de la gestión de activos¹⁰ presenta diferentes y diversas formas de ser alcanzada, entre las más relevantes y utilizadas, sobresalen: la inversión en Investigación y Desarrollo de Ingeniería procurando disminuir los tiempos de reparación y los de mantenimientos planeados, los cuales se manifiestan con una reducción tangible de los tiempos (correctivos, modificativos, preventivos, de espera o demora de recursos) que impiden la función principal de los equipos.

¹⁰MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento – Planeación, Ejecución y Control. Alfaomega 2014. p 18

2.1.6 Impacto del mantenimiento

Los costos de mantenimiento son una parte mayoritaria de los costos totales de operación en una planta de producción. Dependiendo del tipo de industria, los costos del mantenimiento pueden presentar entre el 15 y el 60 por ciento del costo total. En las industrias de alimentos son un ejemplo cuando el costo de mantenimiento es menor, y las grandes industrias, como las siderúrgicas, plantas de generación y petroleras tienen un alto porcentaje en el costo del mantenimiento. Normalmente una tercera parte de los costos de mantenimiento son el resultado de acciones innecesarias de mantenimiento, las consecuencias de esto son grandes pérdidas de dinero, que también afectan la calidad del producto final o pérdidas de producción. La razón dominante de esta inefectiva gestión es la falta de datos reales para cuantificar la necesidad actual de reparaciones o mantenimiento de maquinarias, equipos o sistemas.

2.2 MÉTODOS DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

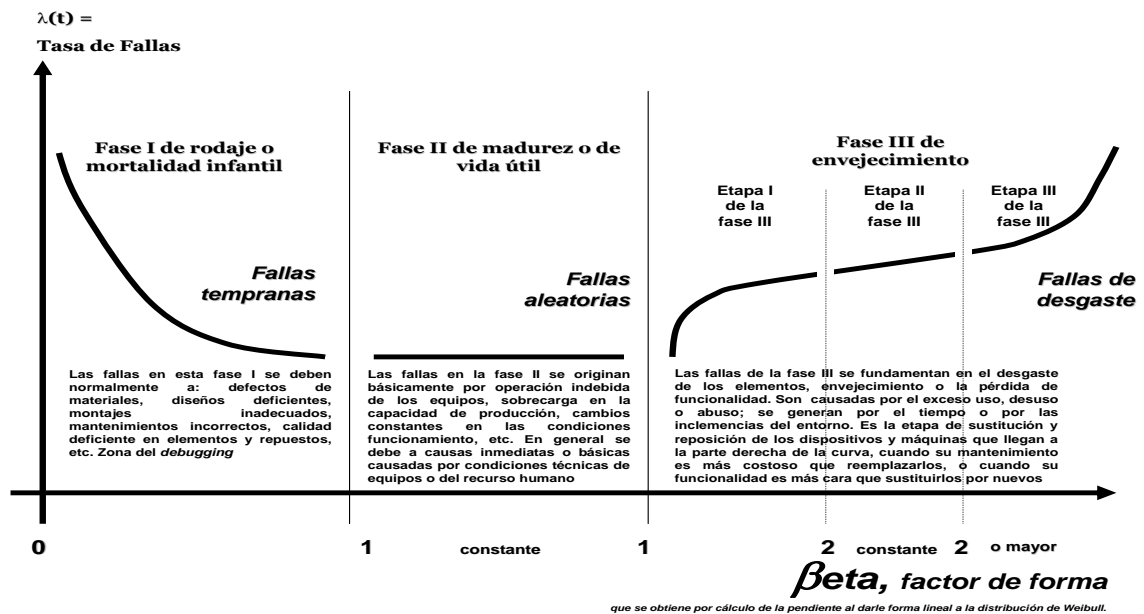
Para el propósito de ésta monografía únicamente se tratarán los métodos más básicos que tradicionalmente utilizan las plantas industriales y de proceso, que son dos tipos de mantenimiento: correr a falla y mantenimiento preventivo, para después abordar el mantenimiento predictivo.

2.2.1 Correr a falla. La lógica de la estrategia correr a falla es simple y sencilla: cuando una máquina interrumpa su operación por una falla, soluciónelo. El método de mantenimiento “si no está en falla no lo arregles” ha hecho gran parte de las operaciones de mantenimiento, desde que la primera planta de manufactura fue fabricada. Este método de mantenimiento no cuesta mucho dinero hasta que la máquina o el sistema fallan en la operación, razón por la cual es el método más costoso en una estrategia de mantenimiento. Pocas plantas utilizan la estrategia correr a falla, ya que de acuerdo al análisis de costos del mantenimiento, resultan que las reparaciones desarrolladas con el método reactivo de correr a falla está alrededor de tres veces más grande que el costo de reparación por medio del mantenimiento preventivo. Aunque otros resultados de análisis de costos muestran que para maquinas donde su costo de reemplazo es menor al de otras estrategias de mantenimiento, el método de correr a falla es más conveniente.¹¹

¹¹ MOBLEY, R. Keith. An Introduction to Predictive Maintenance. 2da Ed. USA: BH, 2002. p 2.

2.2.2 Mantenimiento preventivo. Existen muchas definiciones para el mantenimiento preventivo, pero todas las estrategias de mantenimiento preventivo están basadas en el tiempo transcurrido o en las horas de operación. La Imagen 2, presenta la curva de la bañera, el típico ejemplo de la vida estadística en una máquina, donde la maquina recién instalada tiene alta probabilidad de falla, después de este periodo inicial la probabilidad de falla es potencialmente baja por un tiempo prolongado, siendo el periodo de vida normal de una máquina, posterior a este la probabilidad incrementa de nuevo para un tiempo más corto al anterior. En mantenimiento preventivo las reparaciones mayores de máquinas se hacen en base a la estadística del tiempo medio entre fallas MTBF. También existen otras tareas periódicas menores como por ejemplo la re-lubricación y los ajustes, que hacen parte de la estrategia de mantenimiento predictivo para una máquina.¹²

Imagen 2. Curva de la bañera



Fuente: MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo. Alfaomega 2015. p 87

¹² MOBLEY, R. Keith. An Introduction to Predictive Maintenance. 2da Ed. USA: BH, 2002. p 3.

2.2.3 Mantenimiento predictivo. La premisa común del mantenimiento predictivo es el monitoreo de la condición mecánica, operación eficiente y otros indicadores de la condición operacional de las máquinas y sistemas de proceso pueden proveer la data requerida para asegurar el máximo intervalo entre reparaciones y minimizar el número y costos de paradas no programadas por fallas de máquinas. Pero mantenimiento predictivo es mucho más, ya que influye en la productividad, calidad del producto y la efectividad global de la planta. Mantenimiento predictivo no es únicamente análisis de vibraciones, termografía, análisis de aceite usado, o cualquier otra prueba no destructiva, estas son herramientas del mantenimiento predictivo.¹³

2.3 GENERALIDADES DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Mantenimiento predictivo es una filosofía que simplemente usa la condición actual de los equipos de una planta y sus sistemas para optimizar la operación total de una planta industrial. Un programa de gestión de mantenimiento predictivo integral usa las herramientas más costo-efectivas (ej. Análisis vibraciones, termografía, tribología), para obtener la condición operativa actual de los sistemas críticos de una planta industrial y basado en estos datos programa las tareas de mantenimiento en función de las necesidades. Incluyendo el Mantenimiento predictivo en un programa integral de gestión del mantenimiento se optimiza la disponibilidad de las máquinas en los procesos y se reduce en gran medida los costos del mantenimiento, también contribuye con la mejora en la calidad de los productos, la productividad y la rentabilidad en las planta de producción.¹⁴

¹³ MOBLEY, R. Keith. An Introduction to Predictive Maintenance. 2da Ed. USA: BH, 2002. p 5.

¹⁴ MOBLEY, R. Keith. An Introduction to Predictive Maintenance. 2da Ed. USA: BH, 2002. p 10.

Se puede decir que el mantenimiento predictivo es un programa de mantenimiento preventivo basado en la condición, es decir, que en lugar de basarse en las estadísticas de vida media de componentes de las máquinas (ej. Tiempo medio entre fallas) para programar las actividades de mantenimiento, el mantenimiento predictivo utiliza directamente el seguimiento a la condición mecánica, eficiencia del sistema, y otros indicadores para determinar el tiempo medio de fallas actual o pérdidas de eficiencia para cada unidad de producción y sistemas en una planta industrial.

2.3.1 Optimización del mantenimiento predictivo. Muchos de los programas de mantenimiento predictivo que se han implementado no han logrado generar beneficios medibles para sus organizaciones. Estos fracasos no han sido causados por la limitación de las técnicas, sino más bien por el hecho de no hacer los cambios necesarios en el programa que habría de permitir el máximo aprovechamiento de estas herramientas de predicción. A continuación se nombran algunas medidas preventivas que pueden eliminar estas limitaciones que afectan el desempeño del programa y como consecuencia el aumento de beneficios que trae el mantenimiento predictivo.¹⁵

¹⁵ MOBLEY, R. Keith. An Introduction to Predictive Maintenance. 2da Ed. USA: BH, 2002. p 10.

2.3.2 Cambio de cultura. El primer cambio que debe suceder es sobre la percepción de que las tecnologías de mantenimiento predictivo son solo para prevenir las fallas de las máquinas. Este cambio debe ser adoptado desde el nivel corporativo y permear en toda la organización de la planta. Esto puede parecer simple pero el cambio de actitud de las empresas hacia la percepción del mantenimiento predictivo resulta regularmente complejo, dado que la mayoría de gerentes del nivel corporativo tienen poco conocimiento sobre alcance de este y convencerlos de dar un uso más amplio a las tecnologías de predicción es extremadamente difícil. En su visión, fallas y retrasos no programados son únicamente un problema del área de mantenimiento. Los niveles corporativos a menudo no entienden que la mayoría de estas fallas son el resultado de problemas por no ejecutar adecuadamente el mantenimiento de los activos.¹⁶

Las tecnologías predictivas deben utilizarse como una herramienta de optimización de los procesos de planta, es decir, de la optimización del mantenimiento para lograr un mejor desempeño de los equipos. En el alcance más amplio las tecnologías predictivas, se basa su utilización para detectar, diagnosticar y generar recomendaciones para las desviaciones del rendimiento óptimo de los activos monitoreados, desviaciones que se traducen en pérdida de capacidad, mala calidad del producto, incremento de costos, o en el peor de los casos una amenaza para la seguridad en cualquier nivel. Estas tecnologías tienen el poder para asumir este papel crítico, pero simplemente no está siendo utilizado ese poder. Para llevar a cabo esta nueva responsabilidad, el uso de las tecnologías de predicción debe ser desplazado desde el departamento de mantenimiento, a un grupo que haga parte del departamento de confiabilidad para que trabajen de la mano no solo en la optimización de la gestión de mantenimiento sino también de los activos; este grupo debe tener la autoridad para cruzar todas las fronteras funcionales y para

¹⁶ MOBLEY, R. Keith. An Introduction to Predictive Maintenance. 2da Ed. USA: BH, 2002. p 11.

implementar cambios que corrijan los problemas descubiertos por las evaluaciones y los análisis.

2.3.3 Uso apropiado de las tecnologías predictivas. Los componentes del sistema tales como motores, bombas, cajas de engranes, etc., son una parte integral del mismo y deben operar dentro de sus parámetros de diseño, antes de que el sistema pueda cumplir con los niveles de rendimiento diseñados. En la mayoría de los programas de predicción tratan estos componentes como activos aislados y no como parte de un sistema integrado. En lugar de evaluar una bomba centrífuga o la caja de engranajes como un componente que es afectado por los demás parámetros del sistema y hace parte de la máquina, muchos analistas de predictivo limitan el uso de las tecnologías a simples diagnósticos de condición mecánica de ese componente por individual. Como resultado, no se hace un esfuerzo para determinar la influencia de diferentes variables del sistema, como carga, velocidad, producto, o inestabilidad. Estas variaciones en los parámetros de proceso son normalmente la causa raíz del problema para diferentes componentes (como una bomba o una caja de engranajes). A menos que los analistas consideren todas las variables que afectan el desempeño del activo, no serán capaces de determinar la verdadera causa raíz de las fallas. En su lugar, generarán recomendaciones para corregir el síntoma (por ejemplo, daño en rodamiento, desalineación, etc.), en lugar de diagnosticar el verdadero problema.¹⁷

En mantenimiento predictivo existen una variedad de tecnologías que pueden y deben ser utilizadas como parte de una programa, dado que los sistemas mecánicos o máquinas representan normalmente la mayoría de equipos en una planta industrial, el análisis de vibraciones es generalmente el componente clave de la mayoría programas de mantenimiento predictivo; Sin embargo, la monitorización de

¹⁷ MOBLEY, R. Keith. An Introduction to Predictive Maintenance. 2da Ed. USA: BH, 2002. 12.

vibraciones no puede proporcionar toda de la información necesaria para un programa de mantenimiento predictivo exitoso. Esta tecnología se limita al seguimiento de la condición mecánica, sin tener en cuenta otros parámetros críticos requeridos para mantener la confiabilidad y la eficiencia de las máquinas. Por lo tanto, un programa integral de mantenimiento predictivo debe incluir otros tipos de monitoreo y técnicas de diagnóstico como la tribología, termografía, parámetros de proceso, inspección visual, ultrasonido y otras pruebas no destructivas.

A continuación se presentan las tecnologías de mantenimiento predictivo que utilizan los programas básicos de monitorización de condición, con un enfoque gerencial básico:

2.3.3.1 Análisis de vibraciones. Todos los equipos mecánicos en movimiento generan un perfil de vibración, o firma, que refleja su estado de funcionamiento ya que es una respuesta. Esto es cierto independientemente de la velocidad o si el modo de funcionamiento es rotativo, movimiento alternativo o movimiento lineal es decir que el análisis de vibración es aplicable a todos los equipos mecánicos. Esta es una herramienta útil para el mantenimiento preventivo, diagnóstico, y muchos otros usos.

El análisis de vibraciones ha estado como primera referencia del mantenimiento predictivo por sus características y la habilidad para detectar problemas de fabricación o para evitar un fallo catastrófico; sin embargo, el análisis de vibración no proporciona los datos necesarios para el análisis de los equipos eléctricos, las zonas de pérdida de calor, la condición de aceite lubricante, o de otros parámetros pertenecientes a un programa de gestión de mantenimiento. Por lo tanto, un programa de mantenimiento predictivo de una planta debe incluir varias técnicas, cada una diseñada para proporcionar información específica sobre los equipos y sistemas.

El uso de análisis de vibración no se limita a mantenimiento predictivo. Esta técnica es útil para aplicaciones de diagnóstico también. Cuando se utilizan correctamente, los datos de vibración proporcionan los medios para mantener las condiciones óptimas de operación y eficiencia de los sistemas críticos de la planta. El análisis de vibración también se puede utilizar para evaluar el flujo de fluido a través de tubos o vasijas (aunque la más ¹⁸adecuada para esta función es la tecnología de ultrasonido), para detectar fugas, y para llevar a cabo una variedad de funciones en ensayos no destructivos que mejoran la fiabilidad y el rendimiento de los sistemas críticos de la planta.

El análisis de vibraciones sirve como llave para justificar e iniciar un programa de mantenimiento predictivo, pero se debe tener en cuenta también la decisión de externalizar el servicio, por ejemplo en las plantas más pequeñas los requerimientos para un programa de mantenimiento predictivo completa pueden no ser suficiente para justificar la implementación con personal directo dedicado de tiempo completo. En esta situación la externalización es una opción viable. Otras plantas que pueden justificar el servicio de tiempo completo, eligen usar contratistas externos para conseguir un ahorro en los costos de la implementación y ejecución. Con lo anterior la planta puede eliminar costos de personal, tales como las prestaciones de jubilación, impuestos y gastos indirectos asociados.

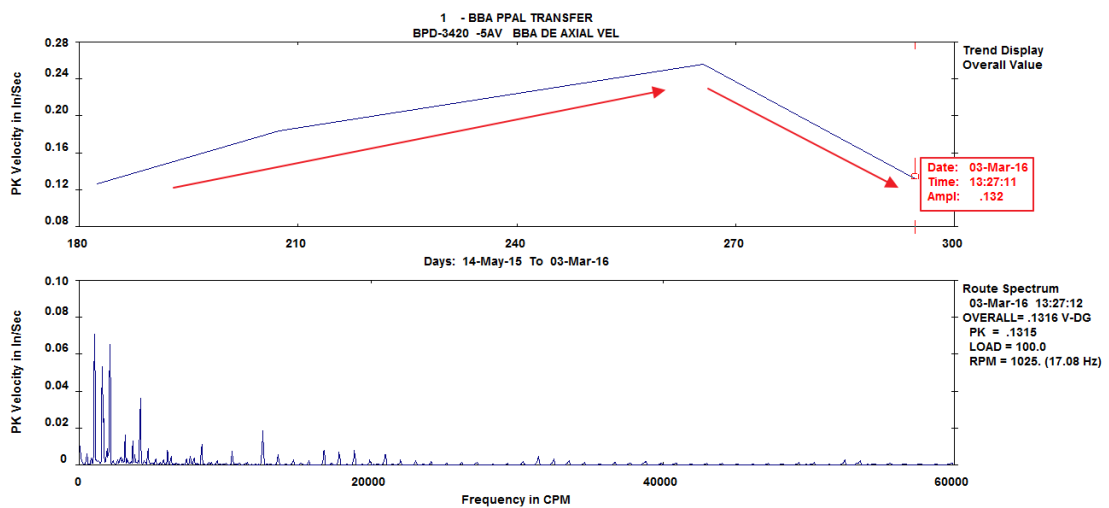
Si el acuerdo contractual con la empresa externa garantiza la misma calidad, el compromiso y la continuidad que es típico de un programa interno, este enfoque puede funcionar; Sin embargo, esto no suele ser el caso normalmente. La rotación de personal e inconsistentes resultados son demasiado a menudo lo que se obtiene para los programas de mantenimiento predictivo contratados a terceros. Hay empresas que prestan el servicio de buen prestigio y resultados, pero también hay

¹⁸ MOBLEY, R. Keith. An Introduction to Predictive Maintenance. 2da Ed. USA: BH, 2002. p 100.

muchos contratistas de mantenimiento predictivo que no son calificados para proporcionar aún niveles mínimos de desempeño en la ejecución de programas.

A continuación en la Imagen 3, se presenta un ejemplo de un espectro de vibración adquirido en una máquina de la estación de bombeo Monterrey.

Imagen 3. Espectro de vibración



2.3.3.2 Termografía. La termografía es una técnica de mantenimiento predictivo que puede ser utilizada para monitorear el estado de máquinas, estructuras y sistemas, no sólo del equipo eléctrico. Se utilizan equipos diseñados para monitorear la emisión de energía infrarroja (es decir, temperatura de la superficie) y determinar la condición de funcionamiento. Mediante la detección de anomalías térmicas (es decir, áreas que son más calientes o más frías de lo que deberían ser), un técnico con experiencia pueden localizar y definir una multitud de problemas incipientes dentro de la planta. La tecnología infrarroja se basa en el hecho de que todos los objetos que tienen una temperatura superior al cero absoluto y emiten energía o radiación.

La radiación infrarroja es una forma de esta energía emitida. Las emisiones infrarrojas, son las longitudes de onda más cortas de toda la energía radiada y son invisibles al ojo humano. La intensidad de la radiación infrarroja de un objeto está en función de la temperatura superficial; sin embargo, la medición de temperatura usando métodos de infrarrojos es complicado debido a que tres fuentes de energía térmica pueden ser detectadas a partir de cualquier objeto: la energía emitida desde el objeto en sí mismo, la energía reflejada desde el objeto, y la energía transmitida por el objeto. Energías reflejadas y transmitidas distorsionan los datos infrarrojos obtenidos en las mediciones. Por lo tanto, las energías reflejadas y transmitidas deben ser filtradas de los datos adquiridos antes de un análisis

La superficie de un objeto influye en la cantidad de energía emitida o reflejada. Una superficie de emisión perfecta, se le llama a un "cuerpo negro" que tiene una emisividad igual a 1,0, estas superficies no reflejan. En lugar de ello, absorben toda la energía externa y re-emiten como energía infrarroja.

Las superficies que reflejan la energía infrarroja se llaman "cuerpos grises" y tienen una emisividad inferior a 1,0. Para ayudar a los usuarios a determinar la emisividad, han sido desarrolladas tablas para servir de guía en los materiales más comunes.

¹⁹

Las variaciones en el estado de la superficie, pintura u otros revestimientos y muchas otras variables pueden afectar el factor de emisividad real de los equipos en una planta. Además de la energía reflejada y transmitida, el analista debe considerar también la atmósfera entre el objeto y el instrumento de medición, debido a que el vapor de agua y otros gases absorben la radiación infrarroja. El polvo en suspensión, un poco de iluminación, y otras variables en la atmósfera que rodea puede distorsionar también la medición de radiación infrarroja. Debido a que el ambiente atmosférico está cambiando constantemente, realizar termografías

¹⁹ MOBLEY, R. Keith. An Introduction to Predictive Maintenance. 2da Ed. USA: BH, 2002. p 105.

requiere extremo cuidado cada vez que se adquieren los datos infrarrojos; Sin embargo, el termógrafo en una planta debe reconocer los factores específicos que afectan a la exactitud de los datos infrarrojos y aplicar los filtros correctos u otros acondicionamientos de señales requeridas.

Colector óptico, detectores de radiación, y algún tipo de indicador son los elementos básicos de una cámara infrarroja industrial. El sistema óptico recoge la energía radiante y la enfoca sobre un detector, que la convierte en una señal eléctrica. La electrónica del instrumento amplifica la señal de salida y la procesa en una forma para mostrarla en una imagen térmica. En la imagen 4, se presenta un ejemplo de una imagen térmica tomada de unas chumaceras donde se observa mayor energía irradiada en la zona del rodamiento con temperatura máxima de 99 °C.

Imagen 4. Imagen térmica de chumacera en bomba de estación Monterrey



Las variaciones en el estado de la superficie, pintura, u otros recubrimientos protectores y muchas otras variables pueden afectar el factor de emisividad real de equipos de la planta. Además de la energía reflejada y transmitida, el usuario de técnicas termográficas debe considerar también la atmósfera entre el objeto y el

instrumento de medición. El vapor de agua y otros gases absorben la radiación infrarroja.

2.3.3.3 Análisis de aceites usados. El análisis de aceite lubricante se limita a técnicas desarrolladas en laboratorios que normalmente entregan datos al personal de mantenimiento predictivo. Como resultado, la mayor parte del análisis requerido para este tipo de programa es a través de un laboratorio que usualmente lo proporciona el fabricante del aceite. Por lo general, el personal propio de la planta es el responsable de las colecciones regulares de muestras de aceite lubricante, que luego se envían a los laboratorios de análisis para las pruebas de desgaste de partículas, análisis de ferro-gráfico, o espectro-gráfico.

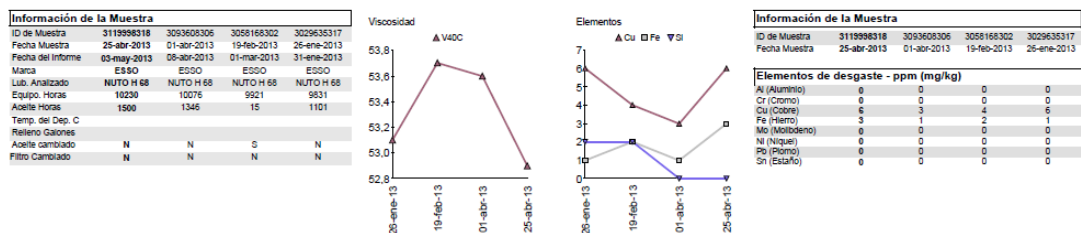
Análisis de aceite lubricante, como el nombre indica, es una técnica de análisis que determina la condición de los aceites lubricantes usados en equipos mecánicos y eléctricos. No es una herramienta para la determinación de la condición de funcionamiento de la maquinaria. Algunas formas de análisis de aceite lubricante ofrecerá información cuantitativa de los elementos químicos individuales, tanto aditivos como contaminantes, contenidos en el aceite. Una comparación de la cantidad de trazas de metales en sucesivas muestras de aceite, pueden indicar patrones de desgaste de las piezas que son lubricadas en los equipos de una planta, adicional proporcionará una indicación de falla de la máquina.

Las principales aplicaciones para el análisis de aceite son el control de calidad, la reducción de los inventarios de aceites lubricantes, y la determinación del intervalo más rentable para el cambio de aceite. Aceites de lubricación, hidráulicos y dieléctricos pueden ser analizados periódicamente usando esta herramienta para determinar su estado. Los resultados de este análisis se pueden utilizar para determinar si el aceite cumple con los requisitos de lubricación de una máquina. Con base en los resultados del análisis, los lubricantes se pueden cambiar o

actualizar para cumplir los requisitos operativos específicos a cada equipo de la planta.²⁰

Además, el análisis detallado de las propiedades químicas y físicas de los diferentes aceites utilizados en la planta, puede en algunos casos, permitir la consolidación o la reducción del número y tipos de lubricantes necesarios para mantener los equipos. Eliminación de la duplicación innecesaria pueden reducir los niveles de inventarios requeridos y por lo tanto los costos de mantenimiento. Como una herramienta de mantenimiento predictivo, el análisis de aceite se puede utilizar para programar intervalos de cambio de aceite en base a la condición real del aceite. En medianas y grandes plantas, una reducción en el número de cambios de aceite puede equivaler a una reducción anual considerable de los costos de mantenimiento. El beneficio completo del análisis de aceite sólo se puede lograr mediante la toma de muestras frecuentes y tendencias de los datos para cada máquina en la planta. Puede proporcionar una gran cantidad de información en el momento que mantenimiento tome decisiones sobre una máquina. En la imagen 5, se presenta un ejemplo del reporte de resultados de las pruebas realizadas en un laboratorio de aceites.

Imagen 5. Reporte de resultado de pruebas de laboratorio de aceites industriales



²⁰ MOBLEY, R. Keith. An Introduction to Predictive Maintenance. 2da Ed. USA: BH, 2002. p 109.

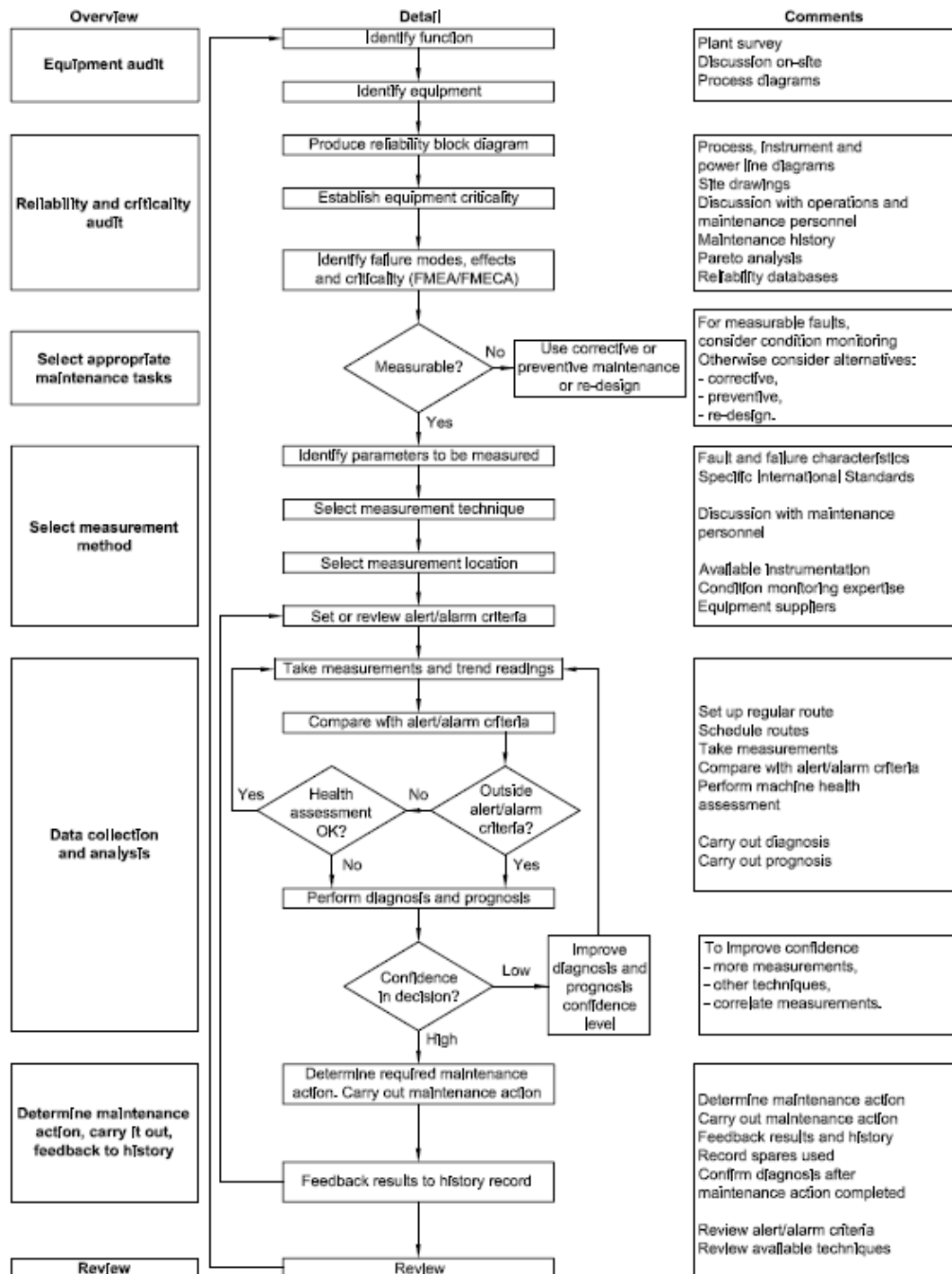
2.4 MARCO LEGAL

2.4.1 ISO 17359: Guía para implementar un programa PdM. La implementación de un programa de mantenimiento predictivo se realiza en base a la norma ISO 17359 con el fin de obtener los mejores beneficios y realizar la implementación de la manera más efectiva. La aplicación de esta norma garantizaría que las máquinas críticas tengan un trato en especial dentro de la implementación de la estrategia, ya que utiliza la herramienta del Análisis de Modos de Falla y Efectos, teniendo en cuenta el efecto de las fallas en la producción, la calidad del producto final y el medio ambiente, para poder determinar las tecnologías de mantenimiento predictivo que se han de utilizar, con el fin de identificar la causa de la falla y los efectos de esta en la forma más eficiente y efectiva.

Esta implementación se hace con conocimientos en determinar criticidad, diagrama de bloques de confiabilidad, AMEF y conocer con profundidad las fortalezas y debilidades de cada una de las tecnologías de mantenimiento predictivo, para identificar aquella que puede detectar la causa del problema de la manera más temprana o su efecto, y síntoma. Adicionalmente se debe identificar la técnica que ayuda a comprobar el problema o a proporcionar mayor información, de tal manera que las técnicas se complementen y no se dupliquen esfuerzos que puede traer mayores costos.

Una vez seleccionada la técnica de monitoreo, se debe identificar el lugar ideal de toma de los datos, de tal manera que la información recopilada sea confiable y repetible. La frecuencia de muestreo deberá ser seleccionada con base en el tiempo en que la falla se desarrolla y la deja en condición de falla funcional.

Imagen 6. Diagrama de flujo del monitoreo de condición



Fuente: ISO 17359: Condition monitoring and diagnostics of machines -- General guidelines. p 3.

2.4.2 Normatividad para la aplicación de tecnologías básicas de PdM.

2.4.2.1 ISO 10816: Mechanical vibration - Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts. Establece las condiciones y procedimientos generales para la medición y evaluación de la vibración, usando mediciones realizadas en las partes no giratorias de máquinas. Los criterios generales de evaluación se refieren al monitoreo y pruebas de aceptación de funcionamiento. Se enfoca en determinar principalmente los aspectos que garanticen un funcionamiento fiable a largo plazo.

2.4.2.2 ISO 18436: Condition monitoring and diagnostics of machines - Requirements for qualification and assessment of personnel. Especifica los requisitos para las personas y las organizaciones de los sistemas de evaluación ("organismo de evaluación") sobre la conformidad operativa para el personal que realiza el monitoreo de condición de maquinaria, acerca de la identificación de fallos y recomendaciones sobre medidas correctivas. Se especifican los procedimientos para la evaluación de la conformidad de la condición y el personal de diagnóstico.

2.4.2.3 ASTM E1934 – 99a: Standard Guide for Examining Electrical and Mechanical Equipment with Infrared Thermography. Es una guía estándar para examinar equipos eléctricos y mecánicos con termografía infrarroja, que proporciona directrices detalladas para el desarrollo de la metodología de inspección en cuanto a las responsabilidades del termógrafo, guías de documentación de la inspección, recomendaciones para el reconocimiento de equipos y elaboración de informes entre otros aspectos.

2.4.2.4 ISO 18434: Condition monitoring and diagnostics of machines – Thermography. Proporciona una introducción a la aplicación de la termografía infrarroja (IRT) para monitoreo de condición de maquinaria y diagnóstico, en la que se incluyen equipos auxiliares tales como válvulas, máquinas de accionamiento eléctrico, por fluidos e intercambiadores de calor. Además, expone las aplicaciones IR relativas a la evaluación del desempeño de maquinaria.

3. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1 GENERALIDADES

La estación de bombeo Monterrey hace parte la infraestructura de la Vicepresidencia de Transporte de Ecopetrol S.A., haciendo parte estratégica del sistema de la red de transporte, ya que recibe crudo de importantes campos como Apiay, Castilla, Rubiales y un campo menor como lo es Santiago y despacha hacia la estación de almacenamiento Altos de Porvenir y Estación Porvenir de Ocesa S.A. El sistema de bombeo se compone de cinco fases de expansión de la estación. Las unidades principales de bombeo tienen diferentes configuraciones en cada una de las cinco fases, a continuación en la tabla 2, se presenta las cantidades de unidades principales de bombeo con sus principales componentes.

Tabla 2. Cantidad de unidades de bombeo por fase de expansión

| Unidades de bombeo | Componentes |
|--------------------|--|
| Fase 1 | |
| Tres unidades | Motor de combustión 6 cilindros en línea, reductor y bomba IMO |
| Dos unidades | Motor de combustión 6 cilindros en línea, bomba IMO |
| Dos unidades | Motor de combustión 12 cilindros en V, bomba IMO |
| Fase 2 | |
| Tres unidades | Motor de combustión seis cilindros en línea, bomba IMO |
| Fase 3 | |
| Seis unidades | Motor de combustión 12 cilindros en V, bomba IMO |

| | |
|---------------|---|
| Fase 4 | |
| Tres unidades | Motor de combustión 12 cilindros en V, incrementador, bomba Centrífuga multi-etapas |
| Fase 5 | |
| Dos unidades | Motor de combustión 12 cilindros en V, bomba IMO |

A continuación se presenta la estrategia actual del plan de Mantenimiento Predictivo para las unidades principales de bombeo en la planta Monterrey. La descripción se realizará bajo la estructuración de áreas de interés. Estas catorce (14) áreas de interés están enfocadas en el desarrollo del proceso de Mantenimiento Predictivo de acuerdo a la guía de auto aseguramiento del mantenimiento predictivo para plantas nucleares EPRI. Las catorce áreas se describen en la tabla 3.

Tabla 3. Áreas de interés de un programa de mantenimiento predictivo

| Área | |
|------|--|
| 1. | Tareas técnicas básicas en Programa de Mantenimiento |
| 2. | Aplicación de tecnologías |
| 3. | Definición del proceso de flujo |
| 4. | Coordinación y liderazgo del programa |
| 5. | Organización, roles y responsabilidades |
| 6. | Administración de la información y comunicación |
| 7. | Equipo de evaluación de la condición y toma de decisiones |
| 8. | Formación y capacitación |
| 9. | Priorización y planificación de las actividades PdM |
| 10. | Cierre de actividades y retroalimentación de mantenimiento |
| 11. | Objetivos e indicadores de desempeño |
| 12. | Cálculos del costo beneficio y retorno de la inversión |

13. Satisfacción del cliente

14. Mejora continua

Fuente: CAFARELLA, P. y GAERTNER J. Predictive Maintenance Self-Assessment Guidelines for Nuclear Power Plants. 1ra Versión. USA: EPRI, 2000. P 2-2.

En base a las áreas anteriormente enunciadas se presenta la descripción del plan actual de Mantenimiento Predictivo para las unidades principales en la planta Monterrey.

3.1.1 Tareas técnicas básicas en Programa de Mantenimiento. En la actual estrategia de mantenimiento predictivo se tienen identificados los equipos que son objeto del monitoreo de condición, estas son las unidades principales de bombeo de la estación Monterrey. Existe una frecuencia establecida para el monitoreo de condición de cada quince días para las tres tecnologías aplicadas en estos activos. Estas tareas se encuentran en el sistema de gestión de mantenimiento para la estación.

3.1.2 Aplicaciones de tecnologías. Las unidades principales de bombeo son objeto de monitoreo de condición, aplicando las tres principales tecnologías de mantenimiento predictivo para este tipo equipos. Para estos activos se realizan análisis vibraciones, termografía infrarroja y de forma indirecta análisis de aceite. El personal que ejecuta estas actividades son profesionales que se encuentran capacitados para la aplicación de cada una de las tecnologías, ejecutando las bajo estándares internacionales. Se realizaron informes finales de la aplicación de las tecnologías anteriormente nombradas.

3.1.3 Definiciones del proceso de flujo. Existe un proceso formal de mantenimiento predictivo. El proceso está documentado y se practica. Este proceso involucra los procedimientos para la recolección de datos, el análisis y la elaboración de informes para generar acciones correctivas a los activos que necesitan mejorar su condición. El proceso generalmente es seguido por el grupo ejecutor y comienza a formar parte del proceso del trabajo integral de mantenimiento.

3.1.4 Coordinación y liderazgo del programa. El liderazgo del programa mantenimiento predictivo de las unidades principales de bombeo de la estación Monterrey se realiza desde Bogotá, el contacto directo con los líderes de mantenimiento en campo se realiza por parte de los analistas que ejecutan las tecnologías de mantenimiento predictivo. Todas las decisiones que se tomen con respecto a los activos se hacen por parte los líderes de mantenimiento en campo, concertando las tareas de mantenimiento correctivo basado en condición entre los analistas y líderes de mantenimiento en campo.

3.1.5 Organización, roles y responsabilidades. Existe un grupo de mantenimiento predictivo exclusivo, donde hay un líder y analistas están asignados a la ejecución y análisis de las tecnologías de manteniendo predictivo enunciadas en el anterior numeral. Están definidos los roles y responsabilidades del personal y también la interrelación con líderes en Bogotá, pero no están definidas las interrelaciones con las demás grupos de mantenimiento en campo, ya que en el flujo el proceso ellos se deben comunicar con los líderes en Bogotá.

3.1.6 Administración de la información y comunicación. Por ser este servicio especial un adicional al contrato macro nacional, la administración de la información se centraliza desde Bogotá en cuanto a los reportes finales de la aplicación de las tecnologías de mantenimiento predictivo. En campo los analistas entregan a los líderes de mantenimiento Pre informes de las tecnologías aplicadas a las unidades principales de bombeo de la estación, pero los reportes finales tienen que sean enviados a Bogotá para después ser distribuidos en campo.

3.1.7 Equipo para evaluación de la condición y toma de decisiones. Una vez los analistas terminan la elaboración de Pre-informe, citan a una reunión con los líderes de mantenimiento en campo para la concertación de las recomendaciones. En estas reuniones se citan los líderes de las diferentes disciplinas de mantenimiento, normalmente asiste los líderes de ejecución sin presencia del personal de confiabilidad.

3.1.8 Formación y capacitaciones. Formalmente no existe un programa de formación y capacitaciones, ya que el requerimiento del cliente es que el personal esté calificado para la ejecución de las tecnologías de mantenimiento predictivo en la planta Monterrey, permitiendo que las capacitaciones al personal se hagan por oportunidad y acuerdo a las necesidades puntuales que se presenten.

3.1.9 Priorización y planificación de las actividades PdM. Las tareas de monitoreo de condición se encuentran dentro del CMMS del cliente, para su planificación y programación. Las recomendaciones de mantenimiento predictivo son priorizadas dentro de la programación en base a la criticidad indicada por el analista. El cierre de las actividades recomendadas resultado del análisis y monitoreo de condición las hace el personal de ejecución en campo y no existe formalmente un procedimiento para retroalimentación de los hallazgos de las recomendaciones dadas.

3.1.10 Cierre de actividades y retroalimentación de mantenimiento. De acuerdo a la elaboración del plan de mantenimiento predictivo actual, los analistas llegan hasta la elaboración del reporte final, quedando la información de la ejecución de las recomendaciones y los hallazgos en poder de los líderes de mantenimiento en campo. No existe formalmente un proceso que asegure la retroalimentación para el correcto cierre actividades por parte del grupo de mantenimiento predictivo.

3.1.11 Objetivos e indicadores de desempeño. No se tienen implementados objetivos cuantitativos para el plan de mantenimiento predictivo que sean seguidos a través de indicadores de desempeño, únicamente se hace seguimiento al cumplimiento de la ejecución de las órdenes de trabajo en el CMMS. De un modo informal se evalúa cualitativamente el desempeño del programa de mantenimiento predictivo con las fallas que se presentan en los activos monitoreados.

3.1.12 Cálculos del costo beneficio y retorno de la inversión. Únicamente los casos relevantes de diagnóstico de condición de los activos monitoreados, dan lugar a un análisis de costo beneficio de forma proactiva por parte de los analistas en campo, para presentar a los líderes en Bogotá y de mantenimiento en campo.

3.1.13 Satisfacción del cliente. La satisfacción del desempeño del grupo de analistas de mantenimiento predictivo en campo se manifiesta informalmente, principalmente cuando suceden hallazgos de alto impacto en los costos de mantenimiento de las unidades principales de la estación Monterrey, por parte de los técnicos y supervisores de mantenimiento.

3.1.14 Mejora continua. El grupo de mantenimiento predictivo, realiza proactivamente análisis de causa de falla desde la perspectiva específica para casos relevantes de diagnósticos de condición dinámica. No está definido un procedimiento para realizar análisis de causa de falla, únicamente se realiza por gestión del analista de mantenimiento predictivo. Se han aplicado tecnologías especializadas de mantenimiento predictivo para el diagnóstico de condición de unidades de bombeo, como por ejemplo medición de flujo, de torque y eficiencia global con propósito evaluar la condición de forma proactiva por parte de los analistas en campo.

3.2 EVALUACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO ACTUAL

Para realizar la evaluación del plan de mantenimiento predictivo actual de las unidades principales de bombeo en la estación Monterrey se continuará realizando en base a la guía de auto aseguramiento del mantenimiento predictivo para plantas nucleares de EPRI. Se evaluarán cuantitativamente cada una de las catorce áreas con respecto a las mejores prácticas enunciadas por la guía. Se toma la guía EPRI como base ya que para su tipo de industria el nivel de confiabilidad exigido es alto y por lo tanto se hace una evaluación rigurosa teniendo en cuenta las mejores prácticas.

En base a las anteriores descripciones del plan actual de mantenimiento predictivo para las unidades principales de la estación Monterrey se realiza la evaluación de cada una de las catorce áreas teniendo como referencia las mejores prácticas descritas en la guía de EPRI para su evaluación cuantitativa, donde se da un puntaje de cero (0) a diez (10). En la tabla 4, se presenta la interpretación de acuerdo a los puntajes obtenidos en cada área.

Tabla 4. Consideraciones de acuerdo a la calificación obtenida

| Puntaje | Consideración |
|----------------|---|
| 10 | Implica que no se identifican mejoras rentables |
| 8 a 9 | Todavía se puede presentar una mejor práctica |
| 5 a 7 | Se considera efectivo, con oportunidad significativa para la mejora |
| >5 | No se considera eficaz, es necesario una intervención de mejora |

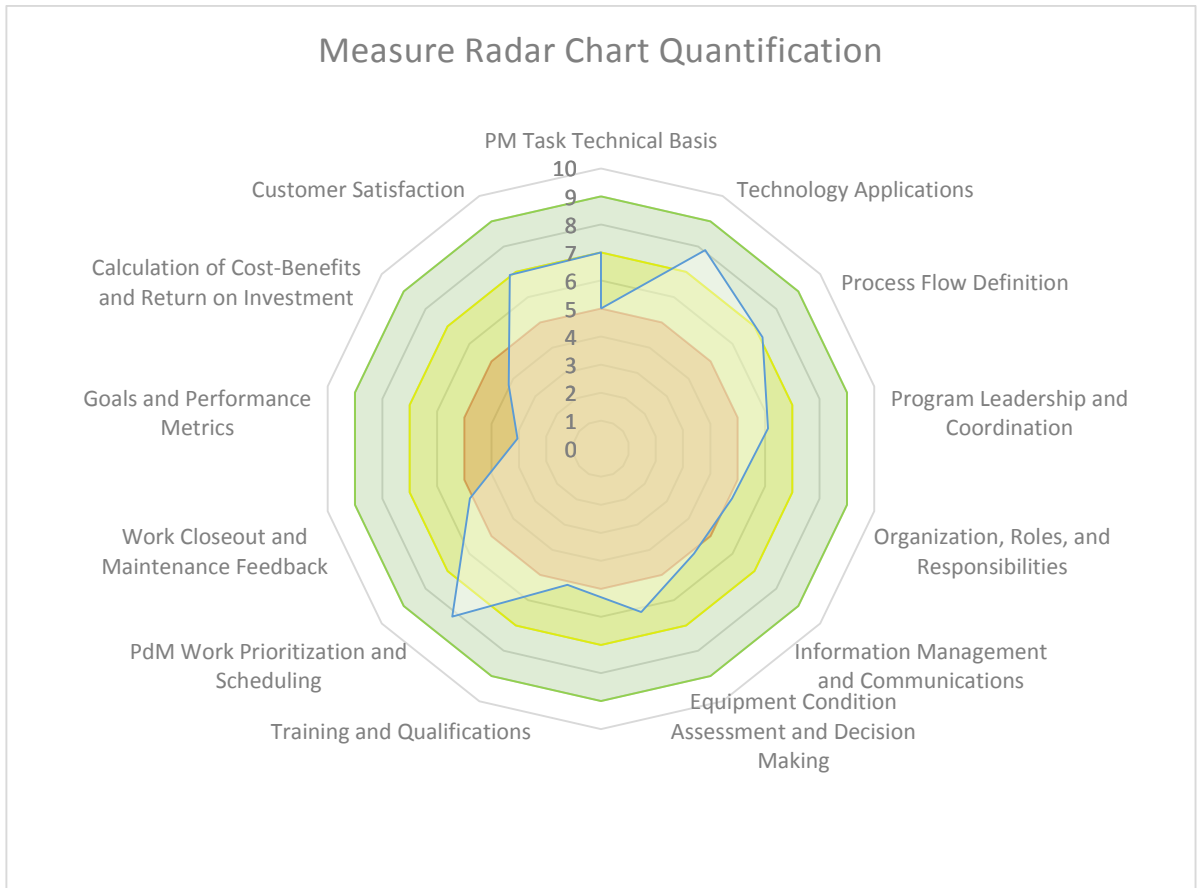
A continuación en la imagen 7, se presentan los resultados de la calificación de cada una de las catorce áreas de la estrategia de mantenimiento predictivo actual de las unidades principales de bombeo, evidenciado en la carta radar, evaluadas en base a las mejores prácticas recomendadas por EPRI.

De acuerdo a las consideraciones que propone EPRI descritas en la tabla 4, dos áreas en particular se consideran ineficaces y requieren una intervención de mejora.

La de más baja puntuación es el área de Objetivos e Indicadores de Desempeño, ya que no se tienen implementados objetivos cuantitativos que sean seguidos a través de indicadores de desempeño, únicamente se hace seguimiento es a la ejecución de las órdenes de trabajo. Y el área de segunda más baja puntuación es Cálculos del Costo Beneficio y Retorno a la Inversión, debido a que únicamente los casos relevantes de diagnóstico de condición dan lugar a un análisis de costo beneficio de manera proactiva por parte de los analistas en campo.

Dos áreas obtuvieron la mejor calificación dentro de la consideración de que se puede presentar una mejor práctica, estas fueron Aplicación de las Tecnologías gracias a que se aplican las “tres grandes” de EPRI a las unidades principales de la estación Monterrey, que son análisis de vibraciones, termografía infrarroja y análisis de aceites, con personal calificado para la aplicación de estas, así como la elaboración de reportes sobre cada una de las tecnologías. La segunda área con mejor calificación fue la priorización y planificación de las actividades de Mantenimiento Predictivo ya que las tareas del monitoreo de condición se encuentran dentro del CMMS para su planificación y las recomendaciones generadas en los reportes son priorizadas dentro de la programación de acuerdo a la criticidad indicada por el analista.

Imagen 7. Resultados de calificación de las catorce áreas de interés



Las demás áreas de la evaluación de acuerdo a EPRI se consideraron efectivas, pero con oportunidad significativa para la mejora. Estas áreas serán las que se les dará mayor importancia en la identificación de oportunidades de mejora del plan de mantenimiento predictivo.

3.3. IDENTIFICACIÓN DE OPORTUNIDADES DE MEJORA DEL PLAN PdM ACTUAL

A continuación en la tabla 5, se presentan los resultados de la calificación de cada una de las catorce áreas de la estrategia de mantenimiento predictivo actual de las unidades principales de bombeo, evidenciado en la carta radar de la imagen 7, evaluadas en base a las mejores prácticas recomendadas por EPRI.

Tabla 5. Calificación de las catorce áreas de interés

| Área | Puntuación (0 – 10) |
|--|---------------------|
| 1. Tareas técnicas básicas en Programa de Mantenimiento | 5 |
| 2. Aplicación de tecnologías | 8 |
| 3. Definición del proceso de flujo | 7 |
| 4. Coordinación y liderazgo del programa | 6 |
| 5. Organización, roles y responsabilidades | 5 |
| 6. Administración de la información y comunicación | 5 |
| 7. Equipo de evaluación de la condición y toma de decisiones | 6 |
| 8. Formación y capacitación | 5 |
| 9. Priorización y planificación de las actividades PdM | 8 |
| 10. Cierre de actividades y retroalimentación de mantenimiento | 5 |
| 11. Objetivos e indicadores de desempeño | 3 |
| 12. Cálculos del costo beneficio y retorno de la inversión | 4 |

| | |
|------------------------------|---|
| 13. Satisfacción del cliente | 7 |
| 14. Mejora continua | 7 |

De acuerdo a las consideraciones que propone EPRI descritas en la tabla 4, dos áreas en particular se consideran ineficaces y requieren una intervención de mejora.

La de más baja puntuación es el área de Objetivos e Indicadores de Desempeño, ya que no se tienen implementados objetivos cuantitativos que sean seguidos a través de indicadores de desempeño, únicamente se hace seguimiento es a la ejecución de las órdenes de trabajo. Y el área de segunda más baja puntuación es Cálculos del Costo Beneficio y Retorno a la Inversión, debido a que únicamente los casos relevantes de diagnóstico de condición dan lugar a un análisis de costo beneficio de manera proactiva por parte de los analistas en campo.

Dos áreas obtuvieron la mejor calificación dentro de la consideración de que se puede presentar una mejor práctica, estas fueron Aplicación de las Tecnologías gracias a que se aplican las “tres grandes” de EPRI a las unidades principales de la estación Monterrey, que son análisis de vibraciones, termografía infrarroja y análisis de aceites, con personal calificado para la aplicación de estas, así como la elaboración de reportes sobre cada una de las tecnologías. La segunda área con mejor calificación fue la priorización y planificación de las actividades de Mantenimiento Predictivo ya que las tareas del monitoreo de condición se encuentran dentro del CMMS para su planificación y las recomendaciones generadas en los reportes son priorizadas dentro de la programación de acuerdo a la criticidad indicada por el analista.

3.3.1 Tareas técnicas básicas en Programa de Mantenimiento. En el sistema de gestión de mantenimiento de la planta se tienen plasmadas las tareas de monitoreo de condición, pero no hacen parte del análisis del mantenimiento para prevenir fallas en los activos, por lo tanto se puede utilizar la herramienta AMEF (análisis de modo y efecto de fallas) para establecer las frecuencias que se enlacen con las tareas de mantenimiento preventivo, teniendo como fin mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los activos objeto, que en este caso son las unidades principales de bombeo.

3.3.2 Definición del proceso de flujo. Aunque existe un proceso formal del mantenimiento predictivo, todos los miembros del departamento de mantenimiento no se les ha divulgado diagrama de flujo de las actividades del mantenimiento predictivo que se está ejecutando en las unidades de mantenimiento predictivo, por lo tanto este diagrama de flujo se debe elaborar, para posteriormente sea interiorizada tanto por los miembros del departamento de mantenimiento como por el departamento de operaciones de la estación de bombeo.

3.3.3 Coordinación y liderazgo del programa. El programa de mantenimiento predictivo de la estación de bombeo es coordinado y liderado desde Bogotá, por lo tanto se debe descentralizar y delegar a uno de los analistas de campo para liderar por parte la empresa que presta el servicio y por parte del cliente es el ingeniero de confiabilidad de la zona quien debe coordinar de forma local el programa. Pero desde las oficinas principales en Bogotá se debe continuar con seguimiento al avance de la estrategia de mantenimiento predictivo.

3.3.4 Organización, roles y responsabilidades. Los roles y responsabilidades están definidos, pero la estructura es débil en cuanto a la interrelación de los analistas en campo y los grupos de mantenimiento ya que la comunicación se debe realizar con las oficinas principales en Bogotá. Por lo tanto se deben crear líneas directas entre los analistas en campo y los miembros de las diferentes disciplinas de mantenimiento en campo.

3.3.5 Administración de la información y comunicación. En base a la forma establecida del flujo de los informes de condición finales, que deben ir a las oficinas principales en Bogotá y posterior se distribuyen a los profesionales de las disciplinas de mantenimiento en campo. Esto principalmente afecta el tiempo de entrega de los reportes finales a los directamente responsables del mantenimiento en campo, por lo tanto esto debe mejorar y los reportes finales se deben validar por Bogotá pero los analistas en campo los deben divulgar al personal de mantenimiento en campo para tener una mejor comunicación para la ejecución de las actividades de mantenimiento.

3.3.6 Equipo para evaluación de la condición y toma de decisiones. La concertación de las actividades de mantenimiento que se generan posterior a la ejecución de la tecnologías de mantenimiento predictivo, se realizan en conjunto con los profesionales y técnicos de las diferentes disciplinas de mantenimiento, pero hace falta la presencia del personal de confiabilidad con el fin de tener un enfoque holístico del mantenimiento y tener en cuenta criterios de gestión del mantenimiento para asegurar correctas decisiones que aumenten la disponibilidad del activo.

3.3.7 Formación y capacitaciones. El personal que ejecuta las tecnologías de mantenimiento predictivo en las unidades principales de la estación de bombeo Monterrey tiene las certificaciones nivel II en análisis de vibraciones y termografía, pero los demás miembros del equipo de mantenimiento tienen conocimiento de bajo nivel en estas tecnologías, por lo tanto no tienen claro el alcance de los diagnósticos, siendo necesario que se establezca un plan de entrenamiento local que puede ser dirigido por los analistas en campo.

3.3.8 Cierre de actividades y retroalimentación de mantenimiento. Debido a que las actividades del mantenimiento correctivo basado en condición que se ejecutan en la estación de bombeo de Monterrey no se retroalimentan oportunamente a los analistas en campo, se les debe dar acceso al sistema de gestión del mantenimiento con el fin de consultar las órdenes de mantenimiento que han cumplido el ciclo y donde se ha evidenciado los hallazgos para hacer la retroalimentación.

3.3.9 Objetivos e indicadores de desempeño. Dado a que no se tienen definidos objetivos cuantitativos que definan indicadores para el plan de mantenimiento predictivo se deben implementar para identificar oportunidades de mejora en la ejecución del plan. Los indicadores pueden ser:

- Porcentaje de ejecución del plan de mantenimiento predictivo.
- Cantidad de averías en el mes identificables por las tecnologías de mantenimiento predictivo.
- Costo beneficio de la implementación de mantenimiento predictivo.
- Asertividad de los diagnósticos de condición.

3.3.10 Cálculos del costo beneficio y retorno de la inversión. Por parte del equipo de confiabilidad se debe realizar periódicamente la selección de los casos más relevantes de diagnóstico en unidades principales para realizar el cálculo de costo beneficio, y estos deben ser divulgados en la organización. Además este debe ser emitido desde los sistemas de información del cliente.

3.3.11 Satisfacción del cliente. Con el fin de tener una percepción formal del nivel de satisfacción de los grupos de interés en la estación de bombeo como lo son mantenimiento y operaciones, se debe emitir periódicamente un formato con una evaluación, para que los grupos de interés puedan manifestar sus expectativas con respecto al plan de mantenimiento predictivo.

3.3.12 Mejora continua. El proceso de mantenimiento predictivo debe tener elementos de retroalimentación y evaluación para asegurar que continuamente o periódicamente cambie en respuesta a la experiencia de la ejecución y las nuevas tecnologías. Los cambios que se generen en el plan de mantenimiento predictivo pueden reducir o sustituir las tareas de mantenimiento predictivo, aumentan la confiabilidad y disponibilidad de los activos.

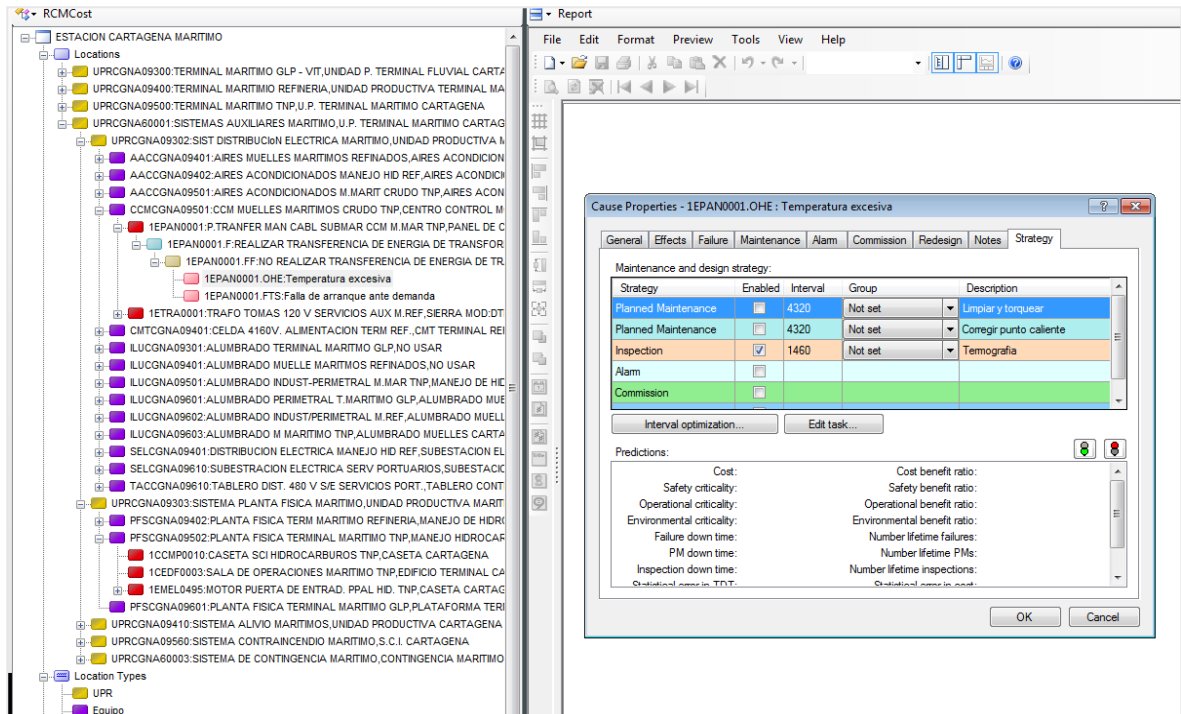
3.4 ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PROPUESTA

En base a las oportunidades de mejora identificadas anteriormente, para cada área de interés enfocada en el desarrollo de la estrategia de mantenimiento predictivo de la estación Monterrey, se realizan propuestas para mejorar su calificación y tener un perfil más acorde al comparativo con las estrategias de mantenimiento predictivo

clase mundo. A continuación se abarcan cada una de las áreas que tienen oportunidad de mejora con su respectiva propuesta de mejora.

3.4.1 Tareas técnicas básicas en Programa de Mantenimiento. Con el fin de integrar las tareas de mantenimiento predictivo dentro de la estrategia global de mantenimiento de las unidades principales de la estación Monterrey, se utilizaron los datos de los talleres de RCM que Massy Energy realizó para la estación en el año 2013, donde se consolidó la información necesaria en campo para poder realizar simulaciones por medio del software RCMCost (ver imagen 8) con el fin de optimizar la estrategia de mantenimiento desde el punto de vista de costos. Para esto se incluyó también la metodología AMEF (análisis de modo y efecto de fallas) con el fin de identificar los modos de falla que pueden ser controlados por medio de la aplicación de las tecnologías de mantenimiento predictivo.

Imagen 8. Ambiente software RCM cost



En el Anexo A, se relaciona la estrategia de mantenimiento optimizada para cada uno de los activos del sistema de bombeo y el control de cambios de la estrategia actual para llegar a la estrategia optimizada propuesta, como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Control de cambios de actividades de la estrategia de mantenimiento actual vs. Optimizada en *RCM cost*

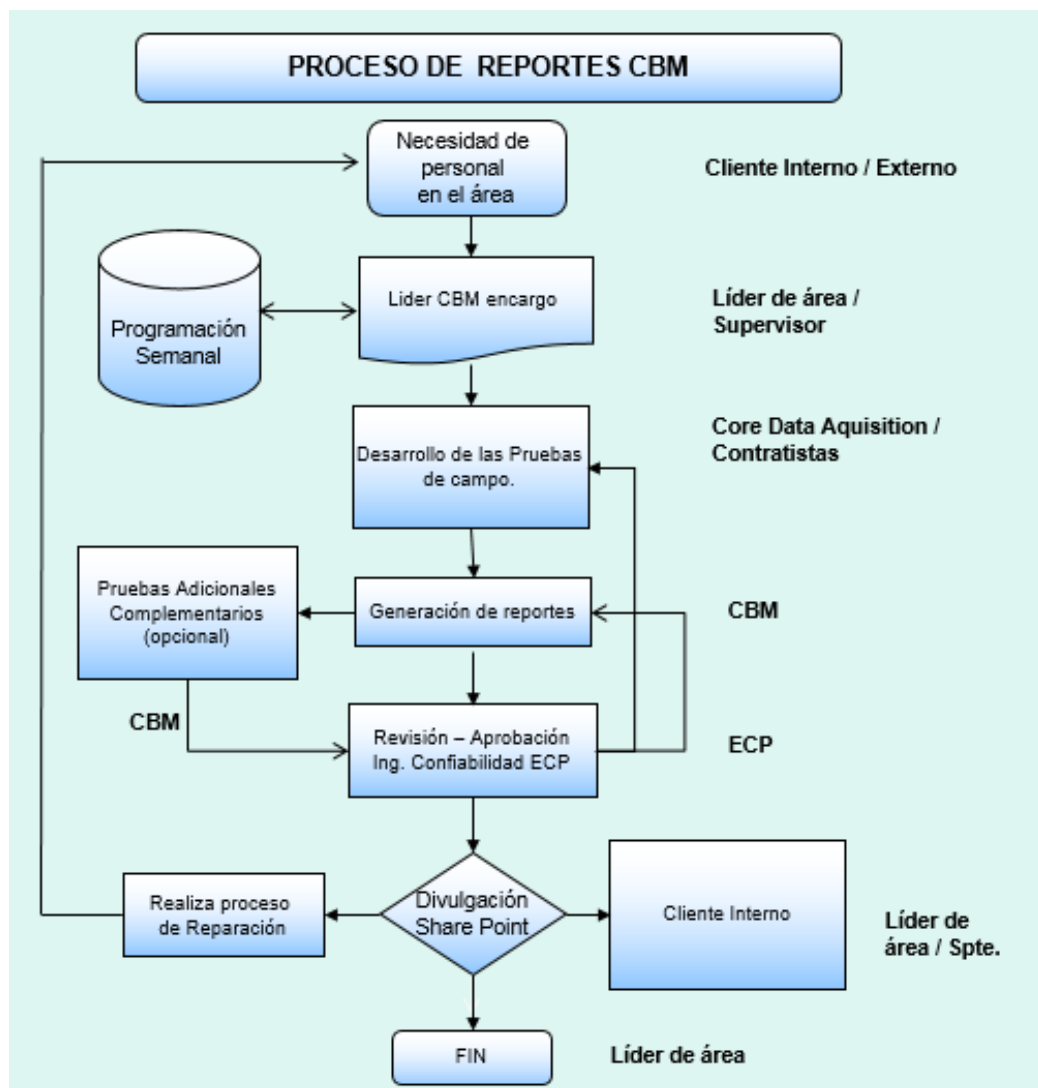
| DESCRIPCIÓN DE CAMBIOS | CANTIDAD DE TAREAS PREDICTIVAS | CANTIDAD DE TAREAS PREVENTIVAS | CANTIDAD TOTAL TAREAS |
|---|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| Tarea existente | 1 | 5 | 6 |
| Tarea existente. Disminución de frecuencia | 14 | 3 | 17 |
| Tarea existente. No estaba relacionada en la Hoja de Ruta | 8 | 0 | 8 |
| Tarea Nueva | 6 | 11 | 17 |
| CANTIDAD TOTAL TAREAS | 29 | 19 | 48 |

Como se observa en la anterior tabla, en las tareas predictivas que son del interés para la presente monografía, se adicionaron seis nuevas tareas a la estrategia actual y catorce tareas disminuyeron su frecuencia, es decir menos monitoreos de condición en un periodo de tiempo.

Se observa que el software RCM Cost ofrece a los usuarios poder establecer estrategias de mantenimiento basadas en condiciones de los equipos, por lo que la estrategia en un 75% prioriza las tareas de mantenimiento predictivo sobre las de mantenimiento preventivo.

3.4.2 Definición del proceso de flujo. Teniendo en cuenta que los miembros del departamento de mantenimiento deben conocer el diagrama de flujo de los reportes que se generan de la aplicación de las tecnologías de mantenimiento predictivo, se elabora el diagrama de flujo que se presenta en la imagen 9, donde se observa todo el proceso. Este diagrama de flujo lo deben conocer tanto los miembros del departamento de mantenimiento como los miembros del departamento de operaciones.

Imagen 9. Diagrama de flujo reportes



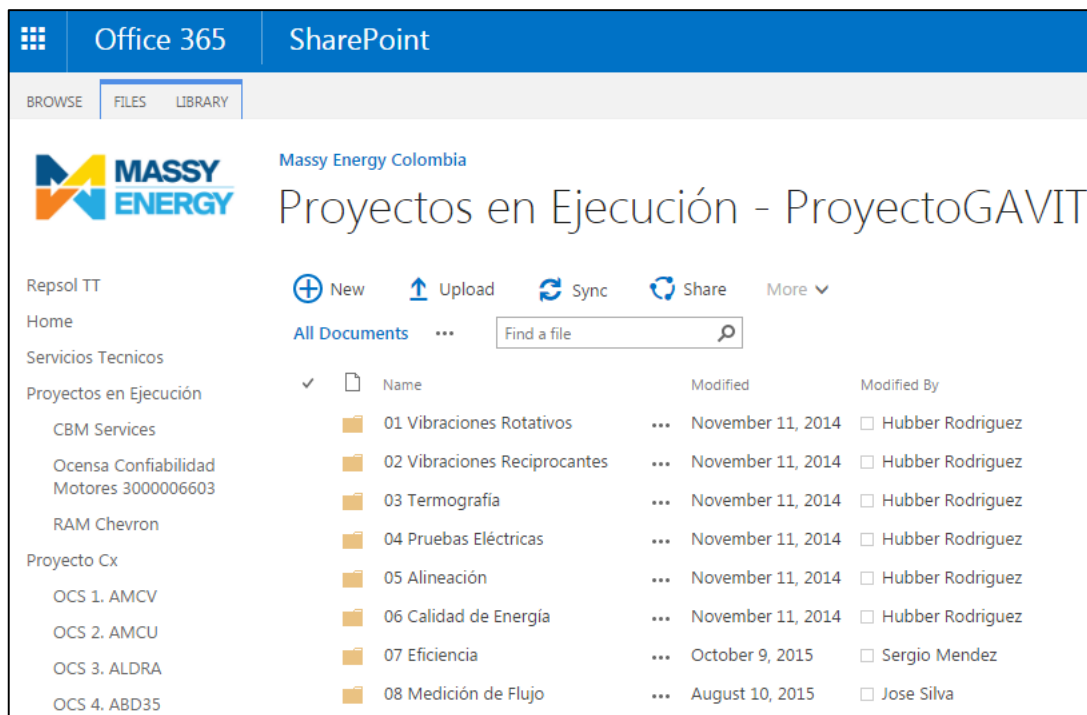
3.4.3 Coordinación y liderazgo del programa. En base al anterior diagrama de flujo presentado se debe descentralizar la coordinación del programa de mantenimiento predictivo y se recomienda aterrizar en campo delegando a uno de los analistas de campo para liderar por parte la empresa que presta el servicio y por parte del cliente es el ingeniero de confiabilidad de la zona quien debe coordinar de forma local el programa. Pero desde las oficinas principales en Bogotá se debe continuar con seguimiento al avance de la estrategia de mantenimiento predictivo.

3.4.4 Organización, roles y responsabilidades. Descentralizando el liderazgo y la coordinación de las oficinas principales, el analista líder en campo puede tener mayor interrelación con los profesionales de mantenimiento y concertar la aplicación de las tecnologías de mantenimiento predictivo en los activos que se requieran realizar pruebas de mayor complejidad.

3.4.5 Administración de la información y comunicación. En el diagrama de flujo presentado anteriormente se propone un medio de divulgación de los reportes generados en la aplicación de las tecnologías de mantenimiento predictivo. El medio de divulgación es el Share Point que puede ser el de Massy Energy (ver imagen 10) o del cliente, siempre y cuando todos los miembros tanto del departamento de mantenimiento como los demás grupos de interés puedan acceder a este medio informático.

3.4.6 Equipo para evaluación de la condición y toma de decisiones. La toma de decisiones en cuanto a las actividades de mantenimiento necesarias para atender un diagnóstico no satisfactorio en base a los resultados de la aplicación de las tecnologías de mantenimiento predictivo, se deben concertar en una reunión posterior a la generación de los reportes de condición, donde participen los analistas de mantenimiento predictivo, representante del departamento de confiabilidad, los profesionales de las respectivas especialidades de mantenimiento interesadas y representantes del departamento de operaciones, con el fin de concertar decisiones integrales sobre las intervenciones a realizar en los activos.

Imagen 10. Share Point Massy Energy



3.4.7 Formación y capacitaciones. Para tener un mejor nivel de comprensión acerca de los diagnósticos de condición resultado de la aplicación de tecnologías de mantenimiento predictivo, se recomienda establecer un plan de entrenamiento de las generalidades de las tecnologías de mantenimiento predictivo al personal de los grupos de interés. Este plan de entrenamiento puede ser dictado por los analistas de mantenimiento predictivo que se encuentran en la estación de bombeo.

3.4.8 Cierre de actividades y retroalimentación de mantenimiento. Para cerrar el ciclo del mantenimiento predictivo en el servicio de mantenimiento predictivo para la estación de bombeo de Monterrey, se recomienda que los analistas en campo tengan acceso al sistema de gestión del mantenimiento con el fin de consultar las órdenes de mantenimiento correctivo basadas en condición que han cumplido el ciclo, donde se ha evidenciado los hallazgos de la ejecución para hacer la retroalimentación al analista de la condición que diagnóstico y verificar su asertividad.

3.4.9 Objetivos e indicadores de desempeño. Debido a que no se tienen definidos objetivos cuantitativos que definan indicadores para el plan de mantenimiento predictivo se deben implementar para identificar oportunidades de mejora en la ejecución del plan. Los indicadores pueden ser:

- Porcentaje de ejecución del plan de mantenimiento predictivo.
- Cantidad de averías en el mes identificables por las tecnologías de mantenimiento predictivo.
- Costo beneficio de la implementación de mantenimiento predictivo. Ver imagen 11.
- Asertividad de los diagnósticos de condición. Ver imagen 12.

Imagen 11. Predictivo vs. Correctivo

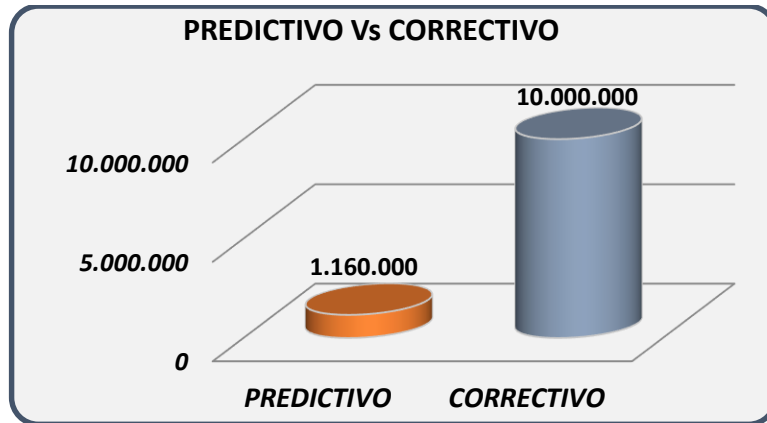
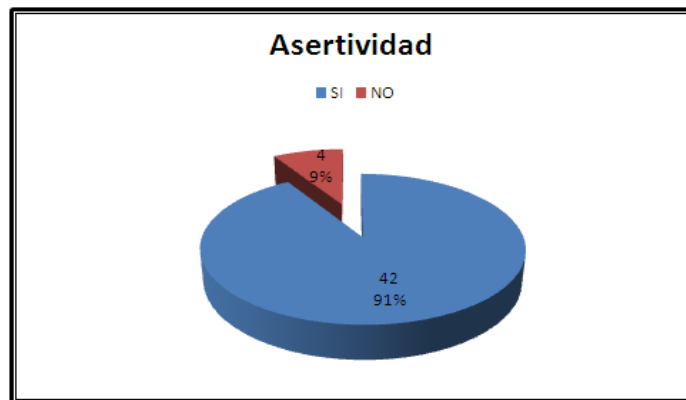


Imagen 12. Porcentaje de asertividad



3.4.10 Cálculos del costo beneficio y retorno de la inversión. Por parte del equipo de confiabilidad se recomienda realizar anualmente la selección de los casos más relevantes de diagnóstico en unidades principales para realizar el cálculo de costo beneficio, y estos deben ser divulgados en la organización. Además este debe ser emitido desde los sistemas de información del cliente.

3.4.11 Satisfacción del cliente. Con el fin de tener una percepción formal del nivel de satisfacción de los grupos de interés en la estación de bombeo como lo son mantenimiento y operaciones, semestralmente se emitirá un formato de evaluación de satisfacción (ver imagen 13), con el fin de que los grupos de interés puedan manifestar sus expectativas con respecto al plan de mantenimiento predictivo.

3.4.12 Mejora continua. De acuerdo a las evidencias en la oportunidad de mejora del mantenimiento predictivo, se recomienda definir un procedimiento de análisis de causa de falla desde la perspectiva de mantenimiento predictivo, adicional se deben realizar las siguientes implementaciones:

- Auto-evaluaciones y revisiones de indicadores de desempeño del programa de mantenimiento predictivo.
- Retroalimentación del área de mantenimiento sobre las fallas experimentadas.
- Revisión de las fallas de los activos para determinar si una tarea de mantenimiento predictivo podría haber sido utilizado.
- Investigación de nuevas tecnologías y nuevas aplicaciones de las tecnologías de mantenimiento predictivo.

Imagen 13. Formato evaluación de satisfacción del cliente

|  | | EVALUACIÓN DE SATISFACCIÓN DEL CLIENTE | | | | | | CODIGO: B-D2-GE-1 |
|---|--|---|---|---|---|---|-----|--------------------------|
| | | | | | | | | VERSIÓN: 0 |
| | | | | | | | | FECHA DE CREACIÓN: _____ |
| Empresa: _____ Contacto: _____ Cargo: _____ Ciudad: _____ Dirección: _____ Teléfono: _____ Fecha: _____ Evaluador: _____ | | | | | | | | |
| A. GESTIÓN HUMANA | | | | | | | | |
| # | PREGUNTA | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | N/A | OBSERVACIONES |
| 1 | Califique la gestión efectuada por MEC en | | | | | | | |
| 2 | Cómo considera que ha sido el proceso de contratación de | | | | | | | |
| 2.1 | Oportunidad | | | | | | | |
| 2.2 | Calidad | | | | | | | |
| 3 | Califique las | | | | | | | |

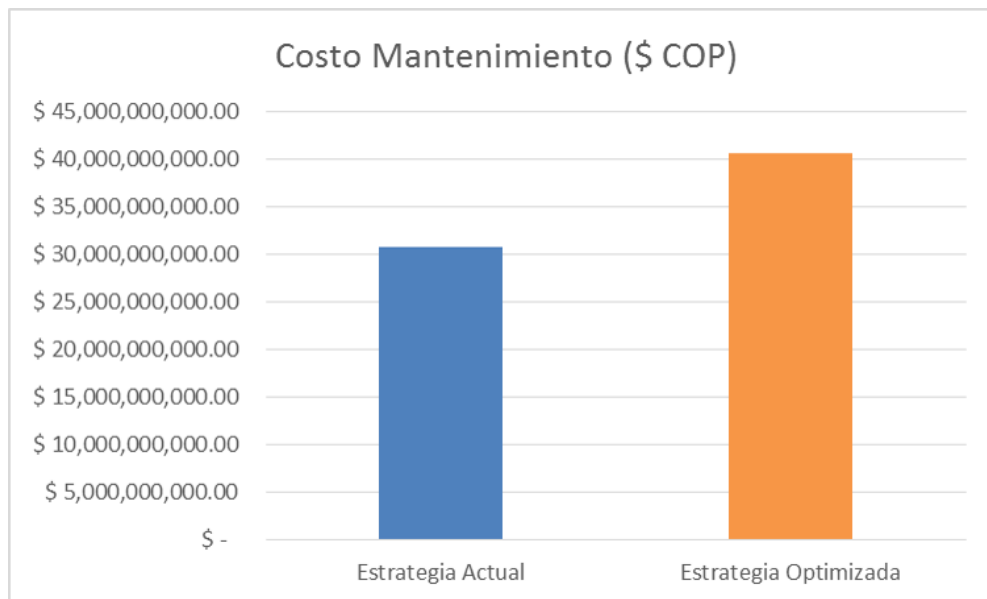
Fuente: Isolucion Massy Energy

3.5 EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PLAN ACTUAL Y DEL PLAN PROPUESTO DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

En base a los resultados obtenidos durante la implementación del RCM para la estación de bombeo Monterrey en el año 2013, por medio del software RCM cost permite calcular el costo de mantenimiento de las unidades principales de bombeo tanto para la estrategia actual, como para la estrategia de mantenimiento optimizada. En los anexos B y C se encuentran las tablas con los resultados de los cálculos para cada modo de falla que puede ser controlado por medio de la aplicación de las tecnologías de mantenimiento predictivo. A continuación en la imagen 14 se presenta la comparación de los costos asociados al mantenimiento para la estrategia actual y la estrategia optimizada de acuerdo a cálculos del software RCM Cost. Es importante mencionar que para los cálculos de los costos de las estrategias de mantenimiento se hacen también en base a la matriz RAM de Ecopetrol, que se encuentra en el anexo D.

Se evidencia que la diferencia de costos aplicando la optimización en la estrategia de mantenimiento, donde están incluidas las tareas de la estrategia de mantenimiento predictivo para las unidades principales de la estación de bombeo Monterrey. El ahorro al implementar la estrategia de mantenimiento optimizada que se recomendó en el año 2013 para la estación Monterrey por parte de Massy Energy es de COP \$ 9.803.261.857,20 de acuerdo a los resultados del software RCM Cost.

Imagen 14. Costos de mantenimiento



4. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LAS PROPUESTAS PARA MEJORAR EL PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Para identificar los beneficios que se pueden obtener al implementar las propuestas de mejora para el plan de mantenimiento predictivo, se analizarán las áreas de interés que tuvieron recomendaciones resaltando las ganancias que se tienen para la gestión del mantenimiento. A continuación se analizará cada una de las áreas.

4.1 TAREAS TÉCNICAS BÁSICAS EN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO

El integrar las tareas de mantenimiento predictivo junto con la estrategia de mantenimiento predictivo para las unidades principales de bombeo de la estación Monterrey, puede permitir una mayor cobertura de los modos de falla que afectarían la disponibilidad de los activos hacia la operación.

Al priorizar las tareas de mantenimiento predictivo sobre las tareas de mantenimiento preventivo, el software RCM Cost permite que exista menor número de tareas preventivas. Esto conlleva a un mayor control de los activos y se pueda usufructuar aún más los repuestos operativos en los equipos, para no realizar cambios que puedan provocar pérdidas por consumo de repuestos.

4.2 DEFINICIÓN DEL PROCESO DE FLUJO

La implementación del diagrama de flujo del proceso del mantenimiento predictivo para la estación de bombeo de Monterrey, desde que se realiza la toma de vibraciones hasta que se divulga el informe de condición, permite tener claridad por

parte de los miembros de los grupos de interés del proceso y el papel que cumplen los diferentes cargos asociados así como las responsabilidades dentro del mismo.

4.3 COORDINACIÓN Y LIDERAZGO DEL PROGRAMA

Permitir descentralizar la coordinación y liderazgo del programa de mantenimiento predictivo de la estación de bombeo Monterrey brinda la posibilidad de agilizar la toma de decisiones sobre las actividades de monitoreo de condición y sobre la divulgación de informes, para realizar una gestión más oportuna en las actividades de mantenimientos correctivos basados en condición.

4.4 ORGANIZACIÓN, ROLES Y RESPONSABILIDADES

Al igual que en el anterior numeral la descentralización del liderazgo y la coordinación de las oficinas principales, permite al analista líder en campo tener mayor interrelación con los profesionales de mantenimiento y concertar la aplicación de las tecnologías de mantenimiento predictivo en los activos que se requieran realizar pruebas de mayor complejidad.

4.5 ADMINISTRACIÓN DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN

Con la implementación de un medio de divulgación como el Share Point para cargar los informes finales de la condición dinámica de las unidades principales de la estación de bombeo Monterrey, permite que todos los miembros tanto del departamento de mantenimiento como los demás grupos de interés puedan acceder a este medio informático y consultar de primera mano la información correspondiente a su activo de interés.

4.6 EQUIPO PARA EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN Y TOMA DE DECISIONES

La concertación de las decisiones sobre las intervenciones a realizar en los activos, de los analistas de mantenimiento predictivo en conjunto con los profesionales de las especialidades del mantenimiento, confiabilidad y representantes por parte de operaciones, permite que las tareas que se crean en el sistema de gestión del mantenimiento sean más asertivas ya que se tiene un enfoque holístico de la condición del activo.

4.7 FORMACIÓN Y CAPACITACIONES

La capacitación sobre las tecnologías de mantenimiento predictivo a los miembros de los grupos de interés permite un mejor nivel de comprensión acerca de los diagnósticos de condición y posterior aceptación de los fundamentos por parte de los analistas, ya que estos mismos serían las personas que capacitarían al personal del grupo de los grupos de interés, y a su vez los analistas de mantenimiento predictivo consolidan sus conocimientos básicos sobre la aplicación de las tecnologías predictivas.

4.8 CIERRE DE ACTIVIDADES Y RETROALIMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO

El cierre del ciclo de actividades y retroalimentación de las actividades de mantenimiento permiten que el proceso de mantenimiento predictivo tenga una mejora continua, ya que los analistas pueden verificar si sus diagnósticos fueron completamente asertivos, en caso de lo contrario permite reevaluar lo procedimientos y nivel de profundidad de los análisis de condición de los activos.

4.9 OBJETIVOS E INDICADORES DE DESEMPEÑO

Los indicadores de desempeño para los planes de mantenimiento predictivo permiten hacer un seguimiento ya que se tienen objetivos cuantitativos, que en caso de presentarse desviaciones permitirán identificar oportunidades de mejora en la ejecución del plan de mantenimiento predictivo, al igual que observar continuamente la efectividad del programa.

4.10 CÁLCULOS DEL COSTO BENEFICIO Y RETORNO DE LA INVERSIÓN

Calcular el costo beneficio y el retorno a la inversión de los diagnósticos asertivos de la condición dinámica en las unidades principales de bombeo periódicamente, permite que el plan de mantenimiento predictivo sea justificado económicamente y los beneficios de su implementación sean más visibles por todos los miembros de los grupos de interés en la estación de bombeo de Monterrey.

4.11 SATISFACCIÓN DEL CLIENTE

Saber la satisfacción de los clientes internos, aseguran que el equipo de trabajo de mantenimiento predictivo se encuentre en constante mejora continua, con el fin de mantener la satisfacción o en lo contrario de caer el nivel se desarrollaran planes de mejora para recuperar y asegurar la satisfacción de los clientes internos que son los miembros de los grupos de interés.

4.12 MEJORA CONTINUA

La mejora continua es un punto clave en la estabilidad y confianza hacia el plan de mantenimiento predictivo para las unidades principales de la estación de bombeo de Monterrey, ya que está asociado con los indicadores de desempeño del programa, la retroalimentación del área de mantenimiento sobre las fallas detectadas, la participación en los análisis de causa raíz para poder identificar coberturas adicionales para prevenir fallas en los activos, así como investigación de nuevas tecnologías y nuevas aplicaciones de las tecnologías de mantenimiento predictivo.

5. CONCLUSIONES

- Se logró diseñar propuestas de mejora en las diferentes áreas de interés del plan actual de mantenimiento predictivo para las unidades principales de la estación de bombeo de Monterrey bajo la modalidad In-house, que de ser aplicadas mejorarán sus calificaciones de acuerdo a la guía EPRI para el aseguramiento del mantenimiento predictivo.
- La evaluación del plan actual de mantenimiento predictivo, facilitó la identificación de los puntos débiles de la estrategia siendo objetivo en la interpretación de los resultados y de esta forma facilitar la identificación de oportunidades de mejora.
- Tener un programa de mantenimiento que abarque la aplicación de las tecnologías básicas de mantenimiento predictivo asegura una detección temprana de las fallas, que aumenta la vida útil del equipo y al mismo tiempo esto se traduce en una mejor planeación de los mantenimientos correctivos, dados los hallazgos obtenidos con la aplicación de las tecnologías.
- Con la implementación de la estrategia de mantenimiento optimizada en la estación Monterrey, que se propuso utilizando la matriz RAM de Ecopetrol, se puede obtener un beneficio del 23% por un valor de COP \$ 9.803.261.857,20.

- La calificación de las catorce áreas de interés de la estrategia de mantenimiento predictivo de acuerdo a los criterios recomendados por la guía del auto aseguramiento del mantenimiento predictivo para plantas nucleares EPRI facilitaron la identificación de oportunidades de mejora, con el fin de realizar propuestas que aumenten la calificación de las áreas de interés de más baja puntuación.
- Utilizar guías internacionales permitió realizar una comparación de la actual estrategia de mantenimiento predictivo con respecto a los programas de clase mundial, establecidos para industrias de alta criticidad como es la nuclear.

6. RECOMENDACIONES

- Las normas internacionales recomendadas en este documento, otorgan al personal de mantenimiento una guía para la implementación de las tecnologías de mantenimiento predictivo para las unidades principales de la estación de bombeo de Monterrey.
- Antes de establecer estrategias de mantenimiento predictivo en activos de una compañía se recomienda consultar con personal calificado con formación en confiabilidad, que tenga en cuenta los diferentes modos de falla que están asociados a un equipo en particular para poder definir las tecnologías que se utilizarán con el fin de detectar oportunamente los fallos.
- Para planes de mantenimiento predictivo que se encuentren en ejecución, se recomienda hacer comparaciones con compañías de clase mundial con el fin de identificar oportunidades de mejora. Como otra opción se recomienda utilizar la guía EPRI para el aseguramiento del mantenimiento predictivo en plantas nucleares.
- Se recomienda para los programas que están en fase de planeación, iniciar la implementación del mantenimiento predictivo con las “tres grandes” tecnologías que son el análisis de vibraciones, la termografía y el análisis físico-químico del aceite lubricante, posteriormente se puede evaluar la inclusión de otras tecnologías más específicas o especializadas de acuerdo al tipo de activo.

BIBLIOGRAFÍA

ALTMANN, Carolina. Las Técnicas de Monitoreo de Condición, como herramienta del Mantenimiento Proactivo. [En línea]. Disponible en web: <<http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/tecnicas-monitoreo.pdf>>

CAFARELLA, P. y GAERTNER J. Predictive Maintenance Self-Assessment Guidelines for Nuclear Power Plants. 1ra Versión. USA: EPRI, 2000. 100 p.

CHIA, Oswaldo. Guías para la Implantación de un Programa de Monitoreo de Condición bajo normas ISO 17359 e ISO 13374. [En línea]. Disponible en web: <http://confiabilidad.net/tutoriales/guias-para-implementacion-de-un-programa-de-monitoreo-de-condicion-parte-2/>

ESHLEMAN, Ronald L. Vibraciones Básicas de Máquinas. 1ra Ed. Perú: Vibration Institute, 2001. 8.12 s.

GONZALES, Cesar. Plan de Mantenimiento Predictivo para MyPimes de Producción que Subcontratan Mantenimiento. Bucaramanga 2010. Trabajo de grado. (Especialización gerencia de mantenimiento). Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías físico-mecánicas. Ingeniería Mecánica.

MOBLEY, R. Keith. An Introduction to Predictive Maintenance. 2da Ed. USA: BH, 2002. 433 p.

PdM Secrets Revealed: How to Improve your PdM Program or Start One from Scratch. 6th Edition. USA. Allied Reliability Group. 2013. 41 p.

Predictive Maintenance Self-Assessment Guidelines for Nuclear Power Plants. 1ra Versión. USA. EPRI, 2000. 100 p.

RUIZ, Adriana. Modelo para la Implementación de Mantenimiento Predictivo en las Facilidades de Producción de Petróleo. Bucaramanga 2012. Trabajo de grado. (Especialización gerencia de mantenimiento). Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías físico-mecánicas. Ingeniería Mecánica.


ANEXOS

Anexo A. Plantilla estrategia de mantenimiento propuesta del sistema de bombeo.

| TP EQUIPO | DESCRIPCION EQUIPO | TP MANTO | TP FRECUENCIA | TaskInterval | Descripcion | Cambios | Frecuencia Original | TM TAYM | Tiempo Tec. Mecanicos | TE TATE | Tiempo Tec. Electrico | TI TATI | Tiempo Tec. Instr. | Operador | Tiempo Operador |
|------------------------|---|------------|---------------|--------------|---|--|---------------------|---------|-----------------------|---------|-----------------------|---------|--------------------|----------|-----------------|
| CEDE | MOTOR DE COMBUSTION INTERNA | PREDICTIVA | Calendario | 24 | Inspeccion visual de tuberías y mangueras buscando, desajustes y malis conexiones | Tarea Nueva | N/A | 1 | 1 | | | | | | |
| CEDE | MOTOR DE COMBUSTION INTERNA | PREDICTIVA | Calendario | 24 | Llevar tendencia consumo de aceite | Tarea Existente. No relacionada en HR Actual | N/A | 1 | 0.2 | | | | | 1 | 0.1 |
| CEDE | MOTOR DE COMBUSTION INTERNA | PREDICTIVA | Calendario | 24 | Llevar tendencia presión de combustible | Tarea Existente. No relacionada en HR Actual | N/A | | | | | | | | |
| CEDE | MOTOR DE COMBUSTION INTERNA | PREDICTIVA | Calendario | 24 | Llevar tendencia presión diferencial de aceite | Tarea Existente. No relacionada en HR Actual | N/A | 1 | 0.1 | | | | | | |
| CEDE | MOTOR DE COMBUSTION INTERNA | PREDICTIVA | Calendario | 24 | Llevar tendencia presión diferencial de admisión de aire | Tarea Existente. No relacionada en HR Actual | N/A | | | | | | | 1 | 0.2 |
| CEDE | MOTOR DE COMBUSTION INTERNA | PREDICTIVA | Calendario | 24 | Llevar tendencia presión diferencial de combustible | Tarea Existente. No relacionada en HR Actual | N/A | | | | | | | 1 | 0.2 |
| PUCE | BOMBA CENTRIFUGA | PREDICTIVA | Horometro | 250 | Análisis de aceite bomba centrífuga | Tarea Existente. No relacionada en HR Actual | N/A | 1 | 0.12 | | | | | | |
| PUGE | INCREMENTADOR | PREDICTIVA | Horometro | 250 | Análisis de aceite incrementador | Tarea Existente. No relacionada en HR Actual | N/A | 1 | 0.12 | | | | | | |
| CEDE | MOTOR DE COMBUSTION INTERNA | PREDICTIVA | Horometro | 250 | Análisis de aceite motor Comb. Interna | Tarea Existente. No relacionada en HR Actual | N/A | 1 | 0.2 | | | | | | |
| SISTEMA DE VIBRACIONES | PROTECCION DE VIBRACIONES MOTOR INCREMENTADOR BOMBA | PREVENTIVA | Horometro | 500 | Ajustar conexiones sensores de vibracion | Tarea Nueva | N/A | | | | | 1 | 1 | 1 | 0.5 |
| PUCE | BOMBA CENTRIFUGA | PREVENTIVA | Horometro | 500 | Ajustar y llevar a la tolerancia requerida el acople de la bomba de lubricacion con el eje central de la bomba principal de crudo | Tarea Nueva | N/A | 1 | 3 | 1 | 0.5 | 1 | 2 | 1 | 0.5 |
| EMAC ICA's | MOTORES ELECTRICOS ICA's | PREVENTIVA | Horometro | 500 | Ajuste y tension de correas ventilador ICA's | Tarea Existente | N/A | | | 1 | 2 | | | | |
| SISTEMA DE VIBRACIONES | PROTECCION DE VIBRACIONES MOTOR INCREMENTADOR BOMBA | PREVENTIVA | Horometro | 500 | Limpieza de tarjetas sistema de proteccion por vibraciones | Tarea Nueva | N/A | | | | | 1 | 1 | 1 | |
| PUGE | INCREMENTADOR DE VELOCIDAD | PREDICTIVA | Horometro | 500 | Medicion de alineacion del tren incrementador -acople- motor | Tarea Existente. Cambio de frecuencia | 1500 | 1 | 4 | | | | | 1 | 1 |
| CEDE | MOTOR DE COMBUSTION INTERNA | PREDICTIVA | Horometro | 500 | Medicion y analisis de presiones picos de cilindros | Tarea Existente. Cambio de frecuencia | 2000 | 1 | 8 | | | | | | |
| CEDE | MOTOR DE COMBUSTION INTERNA | PREDICTIVA | Horometro | 500 | Realizar prueba de apertura y cierre de valvula gullitina o de cierre motor | Tarea Nueva | N/A | | | | | 1 | 0.2 | | |
| IPFT | MEDIDORES DE FLUJO SUCCION BOMBA | PREDICTIVA | Horometro | 500 | Realizar prueba funcional de sensores de flujo | Tarea Existente | N/A | | | | | 1 | 1 | 1 | |
| IPFT | MEDIDORES DE FLUJO SUCCION BOMBA | PREDICTIVA | Horometro | 500 | Realizar pruebas de izo al sistema de medicion | Tarea Nueva | N/A | | | | | 1 | 0.5 | | |
| CEDE | MOTOR DE COMBUSTION INTERNA | PREVENTIVA | Horometro | 500 | Reposicion de niveles de aceite motor de arranque | Tarea Nueva | N/A | 1 | 0.5 | | | | | | |
| ABEL | ACTUADORES ELECTRICOS | PREVENTIVA | Horometro | 500 | Retorneo y verificacion de limites de apertura y cierre actuadores | Tarea Existente. Cambio de frecuencia | 6000 | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| VUWA | VALVULAS 3 VIALS COMBUSTIBLE | PREDICTIVA | Horometro | 500 | Revision rotadores valvulas suministro de combustible | Tarea Existente. Cambio de frecuencia | 730 | | | | | 1 | 2 | | |
| CEDE | MOTOR DE COMBUSTION INTERNA | PREVENTIVA | Calendario | 730 | Drenaje de agua del tanque de combustible | Tarea Nueva | N/A | | | | | | | 1 | 0.2 |
| CEDE | MOTOR DE COMBUSTION INTERNA | PREVENTIVA | Horometro | 1000 | Ajustar manivela de valvula de cierre rapido de aire comprimido | Tarea Nueva | N/A | 1 | 0.5 | | | | | | |

| TP EQUIPO | DESCRIPCION EQUIPO | TP MANTO | TP FRECUENCIA | TaInterval | Descripción | Cambios | Frecuencia Original | TM | TATM | Tiempo Tec. Mecanicos | TE | TAVE | Tiempo Tec. Electrico | TI TAYI | Tiempo Tec. Instr. | Operador | Tiempo Operador |
|---|---|------------|---------------|------------|--|---------------------------------------|---------------------|-----|------|-----------------------|-----|------|-----------------------|---------|--------------------|----------|-----------------|
| PROTECCIONES DE TEMP. VEL. PRES. Y DET. PART. | PROTECCIONES DE TEMP. VEL. PRES. Y DET. PART. | PREVENTIVA | Horometro | 1000 | Ajuste y limpieza de conexiones de instrumentos en general (PROTECCIONES DE TEMP. VEL. PRES. Y DET. PART.) | Tarea Existente | N/A | | | | | | | 1 1 | 4 | 1 | 1 |
| EMAC ICA's | MOTORES ELECTRICOS ICA's | PREVENTIVA | Horometro | 1000 | Limpieza y ajuste de conexiones motor ICA's | Tarea Existente. Cambio de frecuencia | 1000 | | | | 1 1 | 2 | | | | 1 | 1 |
| EMAC ICA's | MOTORES ELECTRICOS ICA's | PREVENTIVA | Horometro | 1000 | Lubricar rodamientos motor ICA's | Tarea Nueva | N/A | | | | 1 1 | 1 | | | | 1 | 1 |
| EMAC ICA's | MOTORES ELECTRICOS ICA's | PREDICTIVA | Horometro | 1000 | Medición de aislamiento motor eléctrico | Tarea Existente. Cambio de frecuencia | 4000 | | | | 1 1 | 4 | | | | | |
| ADEL | ACTUADORES ELECTRICOS | PREDICTIVA | Horometro | 1000 | Pruebas de aislamiento y verificación de conexión de actuadores de válvula | Tarea Existente. Cambio de frecuencia | 6000 | | | | 1 1 | 1 | | 1 1 | 1 | 1 | 1 |
| PLC | PLC | PREVENTIVA | Horometro | 1000 | Realizar ajustes a las tarjetas de comunicación, entrada y salidas | Tarea Nueva | N/A | | | | 1 1 | 2 | | | | | |
| PTGE | INCREMENTADOR DE VELOCIDAD | PREDICTIVA | Horometro | 1000 | Verificación de alineación y medición de holguras entre cojinete y eje del tren | Tarea Nueva | N/A | 1 1 | 1 | 8 | | | | | | 1 | 1 |
| PUCE | BOMBA CENTRIFUGA | PREDICTIVA | Calendario | 1460 | Análisis de vibraciones Bomba Centrífuga | Tarea Existente. Cambio de frecuencia | 2190 | | | | | | | | | | |
| PTGE | INCREMENTADOR DE VELOCIDAD | PREDICTIVA | Calendario | 1460 | Análisis de vibraciones Incrementador de Velocidad | Tarea Existente. Cambio de frecuencia | 2190 | | | | | | | | | | |
| CEDE | MOTOR DE COMBUSTION INTERNA | PREDICTIVA | Calendario | 1460 | Análisis de vibraciones Motor Comb. Interna | Tarea Existente. Cambio de frecuencia | 2190 | | | | | | | | | | |
| EMAC ICA's | MOTORES ELECTRICOS ICA's | PREDICTIVA | Calendario | 1460 | Análisis de vibraciones Motor Eléctrico ICA's | Tarea Existente. Cambio de frecuencia | 2190 | | | | | | | | | | |
| CEDE | MOTOR DE COMBUSTION INTERNA | PREDICTIVA | Calendario | 1460 | Análisis termodinámico Motor Comb. Interna | Tarea Existente. Cambio de frecuencia | 2190 | | | | | | | | | | |
| CEDE | MOTOR DE COMBUSTION INTERNA | PREDICTIVA | Calendario | 1460 | Termografía | Tarea Existente. Cambio de frecuencia | 2190 | | | | | | | | | | |
| CEDE | MOTOR DE COMBUSTION INTERNA | PREVENTIVA | Horometro | 2000 | Calibración de válvulas de admisión y escape | Tarea Existente | N/A | 1 1 | 1 | 8 | | | | | | 1 | 1 |
| PTGE | INCREMENTADOR DE VELOCIDAD | PREDICTIVA | Horometro | 2000 | Prueba con pistola endoscópica incrementador | Tarea Nueva | N/A | 1 1 | 1 | 3 | | | | | | 1 | 1 |
| CEDE | MOTOR DE COMBUSTION INTERNA | PREDICTIVA | Calendario | 2000 | Revisión puesta a tierra unidades principales | Tarea Existente. Cambio de frecuencia | 4000 | | | | 1 1 | 1 | | 1 1 | 0,5 | | |
| CEDE | MOTOR DE COMBUSTION INTERNA | PREVENTIVA | Horometro | 4000 | Calibración de balanzas e inspección de bujes y ejes de balancines | Tarea Nueva | N/A | 1 1 | 1 | 8 | | | | | | | |
| CEDE | MOTOR DE COMBUSTION INTERNA | PREVENTIVA | Horometro | 4000 | Flushing de la línea de aceite entre filtros-carter | Tarea Existente. Cambio de frecuencia | 1000 | | | | | | | 1 1 | 2 | 1 | 1 |
| CEDE | MOTOR DE COMBUSTION INTERNA | PREDICTIVA | Horometro | 4000 | Inspección boroscópica de camisas y cabezas piston | Tarea Existente. Cambio de frecuencia | 8000 | 2 2 | 2 | 12 | | | | | | | |
| CEDE | MOTOR DE COMBUSTION INTERNA | PREDICTIVA | Horometro | 4000 | Inspeccionar el ajuste que tiene el muñón de la biela -coqueal | Tarea Existente. Cambio de frecuencia | 2000 | 1 2 | 2 | 8 | | | | | | 1 | 1 |
| PUCE | BOMBA CENTRIFUGA | PREDICTIVA | Horometro | 4000 | Medición de tensiones de tubería | Tarea Nueva | N/A | 1 2 | 2 | 8 | | | | | | 1 | 1 |
| PLC | PLC | PREVENTIVA | Horometro | 4000 | Realizar limpieza a la electrónica de la fuente | Tarea Nueva | N/A | | | | | | | 1 1 | 0,5 | | |
| CEDE | MOTOR DE COMBUSTION INTERNA | PREVENTIVA | Horometro | 8000 | Ajustar tornillos de sujeción de cada uno de los segmentos de arbol de leva | Tarea Nueva | N/A | 1 2 | 2 | 20 | | | | | | | |
| CEDE | MOTOR DE COMBUSTION INTERNA | PREVENTIVA | Horometro | 8000 | Realizar limpieza extrema serpentín | Tarea Existente | N/A | | | | | | 1 1 | 4 | | 1 | 1 |
| CEDE | MOTOR DE COMBUSTION INTERNA | PREVENTIVA | Horometro | 8000 | Realizar limpieza interna serpentín | Tarea Existente | N/A | | | | | | 1 1 | 4 | | 1 | 1 |

Anexo D. Matriz de análisis de riesgo de ECOPETROL S.A.

|  | | DIRECCIÓN DE RESPONSABILIDAD INTEGRAL | | | | ECP-DRM-F-045 | | | | |
|---|---------------------------|---------------------------------------|---|----------------------|---|--------------------------------------|---|---|---|----|
| | | MATRIZ DE VALORACIÓN DE RIESGOS - RAM | | | | ACT. 2 31 de Marzo de 2008 1/1 | | | | |
| Para mayor información sobre el uso y manejo de este formato consulte instructivo ECP-DRM-007 | | | | | | | | | | |
| CONSECUENCIAS | | | | | | PROBABILIDAD | | | | |
| Personas | Economía | Ambiental | Ciudadanos | Imagen de la Empresa | 5 | A | B | C | D | E |
| Una o más fatalidades | Catastrófica > \$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 | Quejas 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 |