

**FORMULACIÓN DE UN MODELO DE PLAN DE MANTENIMIENTO
BASADO EN PMO PARA UNA PLANTA DE COGENERACION DE
ENERGIA CON UN MOTOGENERADOR A GAS HYUNDAI HIMSEN
14H35/40GV DE 6.5 MW Y UNA CALDERA PIROLUBULAR JCT PHG145-
3 DE 145 BHP**

**JUAN CAMILO BROCHERO BRAVO
ALAIN ERNESTO DE LA HOZ LAGUNA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO- MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA**

2019

**FORMULACIÓN DE UN MODELO DE PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO
EN PMO PARA UNA PLANTA DE COGENERACION DE ENERGIA CON UN
MOTOGENERADOR A GAS HYUNDAI HIMSEN 14H35/40GV DE 6.5 MW Y
UNA CALDERA PIROLUBULAR JCT PHG145-3 DE 145 BHP**

**JUAN CAMILO BROCHERO BRAVO
ALAIN ERNESTO DE LA HOZ LAGUNA**

**Monografía de grado presentada como requisito para optar al título de
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO**

**Director:
INGENIERO EVER ROMERO VARGAS
Ingeniero Mecánico
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO- MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2019**

DEDICATORIA

Dedicamos este proyecto, en primera medida, a Dios por permitirnos llegar hasta este momento de nuestras vidas y darnos el conocimiento necesario para cumplir este objetivo de trazado.

Seguido, dedicamos este logro a nuestras familias que han sido el pilar donde hemos edificado cada esfuerzo para llegar hasta esta etapa en nuestro desarrollo como profesionales.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por permitirnos llegar hasta este nivel de conocimiento y obteniendo el nuestro título de postgrado como especialistas, por la salud y todas las bendiciones que nos ha traído.

Agradecemos a nuestros padres Esperanza Bravo, Julio Brochero y Eucaris Laguna, Ernesto De la Hoz, por todos sus esfuerzos en la educación brindada desde que éramos niños, sin duda hoy somos lo que somos gracias a ellos.

A nuestras parejas Andrea García y Katerin Cortés por el apoyo incondicional que siempre nos brindaron y por el tiempo sacrificado sin nuestra compañía, el cual fue fundamental para el logro de esta nueva meta.

A sí mismo, agradecemos a los educadores, personal de una Universidad Industrial de Santander y compañeros de clase por todas las vivencias y conocimiento adquirido durante el periodo de duración de la especialización.

Y por último agradecemos a nuestro director de monografía Ever Romero Vargas, por su dedicación, empeño, conocimiento brindado y el acompañamiento durante la realización de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	12
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	14
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	14
1.1.1 LA COMPAÑÍA	14
1.1.3 EL PROYECTO DE COGENERACIÓN	17
2. JUSTIFICACIÓN	19
3. OBJETIVOS	21
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	21
3.2 OJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
4. JUSTIFICACION	22
5. MARCO TEORICO	24
5.1 SISTEMAS DE COGENERACIÓN CON MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	24
5.2 DEFINICIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	26
5.3 PMO – OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PLANEADO	28
5.3.1 CARACTERÍSTICAS DEL PMO.....	28
5.3.2 ETAPAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PMO	29
5.4 MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD	31
5.5 COMPARACIÓN ENTRE LA METODOLOGÍA DE LA OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PLANEADO Y EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD.....	33
5.5.1 DIFERENCIAS FUNCIONALES ENTRE RCM Y PMO	33
5.5.2 DIFERENCIAS METODOLÓGICAS ENTRE RCM Y PMO	34
5.6 ACTIVOS ESTRATÉGICOS.	34
5.7 CONTEXTO OPERACIONAL.	34
5.8 FALLAS FUNCIONALES.....	35

5.9 MODOS DE FALLA.	35
5.10 CONSECUENCIAS DE FALLA.	35
6. FORMULACION DEL PLAN DE MANTENIMIENTO OPTIMIZADO	37
6.1 LISTADO DE EQUIPOS	37
6.1.1 MOTOR HYUNDAI.....	38
6.1.2 CALDERA	42
6.2. RECOPILACIÓN DE TAREAS, PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL	43
6.3. ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA.	49
6.4. ANÁLISIS FUNCIONAL.	54
6.5. EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS.	57
7. RESULTADOS	63
8. CONCLUSIONES	67
BIBLIOGRAFIA	70

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Motogenerador del Proyecto Unibol.....	15
Figura 2. Ubicación de la Fábrica de papeles Unibol.	16
Figura 3. Ubicación del proyecto de Unibol.....	18
Figura 4. Esquema comparativo del proceso de obtención de energía eléctrica.....	24
Figura 5. Bomba de Precalentamiento.....	39
Figura 6. Enfriador de Aceites. Intercambiador de Placas.....	40
Figura 7. Secador de Aire.	41
Figura 8. Gráfica de Distribución de asignaciones por áreas	64
Figura 9. Distribución de las Tareas de Mantenimiento.....	65

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Requisitos de sistemas y enfoque de los indicadores	27
Tabla 2. Listado de los activos de la planta.....	37
Tabla 3. Sistemas del Motor	38
Tabla 4. Componentes del Sistema de Lubricación	39
Tabla 5. Componentes del Sistema de Refrigeración	40
Tabla 6. Componentes del Sistema de Aire Comprimido	41
Tabla 7. Sistemas de la Caldera	42
Tabla 8. Componentes de la Válvula de Tres Vías	42
Tabla 9. Componentes del Medidor de Nivel Analógico	42
Tabla 10. Componentes de las Bombas de Llenado de Agua.....	43
Tabla 11. Componentes del Cuerpo de la Caldera	43
Tabla 12. Tareas Actuales Sistema de Lubricación, Motor	44
Tabla 13. Tareas Actuales Sistema de Refrigeración, Motor	45
Tabla 14. Tareas Actuales Sistema de Aire Comprimido. Motor	46
Tabla 15. Tareas Actuales Válvula de tres vías. Caldera	47
Tabla 16. Tareas Actuales Medidor de Nivel Analógico. Caldera.....	47
Tabla 17. Tareas Actuales Bomba de llenado de agua. Caldera.....	48
Tabla 18. Tareas Actuales Cuerpo de Caldera. Caldera.....	49
Tabla 19. Análisis Modo de Falla. Sistema de Lubricación	50
Tabla 20. Análisis Modo de Falla. Sistema de Refrigeración	51
Tabla 21. Análisis Modo de Falla. Sistema de Aire Comprimido	52
Tabla 22. Análisis Modo de Falla. Válvula de tres vías	52
Tabla 23. Análisis Modo de Falla. Bombas de llenado de agua	53
Tabla 24. Análisis Funcional, Sistema de Lubricación	54
Tabla 25. Análisis Funcional, Sistema de Refrigeración.....	55
Tabla 26. Análisis Funcional, Medidor de Nivel Analógico.	56
Tabla 27. Evaluación de las Consecuencias. Sistema de Lubricación.....	57
Tabla 28. Evaluación de las Consecuencias. Sistema de Refrigeración	58
Tabla 29. Evaluación de las Consecuencias. Válvulas de tres vías.	58
Tabla 30. Evaluación de las Consecuencias. Bombas de llenado de agua.....	59

Tabla 31. Tareas de Mantenimiento propuesta. Sistema de Refrigeración	60
Tabla 32. Tarea de Mantenimiento propuesta. Bomba de Llenado de Agua	61

RESUMEN

TÍTULO: FORMULACIÓN DE UN MODELO DE PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN PMO PARA UNA PLANTA DE COGENERACION DE ENERGIA CON UN MOTOGENERADOR A GAS HYUNDAI HIMSEN 14H35/40GV DE 6.5 MW Y UNA CALDERA PIROLUBULAR JCT PHG145-3 DE 145 BHP.¹

AUTOR(ES): JUAN CAMILO BROCHERO BRAVO / ALAIN ERNESTO DE LA HOZ LAGUNA

PALABRAS CLAVES: COGENERACIÓN, OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PLANEADO (PMO), ANÁLISIS FUNCIONAL, MODO DE FALLA.

DESCRIPCIÓN:

El presente proyecto tiene como objetivo formular un modelo de plan de mantenimiento basado en PMO, que ayude a mejorar los índices de disponibilidad y confiabilidad de los equipos en el proceso de cogeneración del proyecto Unibol.

La metodología implementada para analizar los requerimientos de mantenimiento para el Proyecto Unibol, fue la de Mantenimiento Planeado Optimizado, también conocido como PMO. En el cual se recopiló información referente a historial de fallas y se estudió información técnica referente a los equipos principales de la operación. Seguido a esto, se divide el proyecto en cuatro áreas principales, las cuales se dividen a su vez en sus diferentes componentes. Luego, a cada uno de los componentes se le realizó un análisis funcional con el cual se puede identificarlos modos de falla y la repercusión operacional de ésta. Lo anterior, sentó la base para definir el tipo de tarea a realizar, la frecuencia y el responsable.

Este trabajo se formula en un departamento de mantenimiento joven que no cuenta con las herramientas necesarias para alcanzar los objetivos estratégicos definidos por su junta directiva, por lo que el resultado obtenido tiene el gran potencial de convertirse en una herramienta poderosa para generar estrategias de mejoras significativas.

Adicionalmente a convertirse en una gran herramienta para el desarrollo de sus funciones, el proyecto generó nuevos conocimientos en el personal de Axía Energía, dándoles conciencia en la importancia de tener cada equipo en las condiciones óptimas de operación para evitar fallas operacionales imprevistas.

¹Monografía

Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.

Director: Ever Romero. Ingeniero Mecánico.

SUMMARY

TITLE: FORMULATION OF A PMO-BASED MODEL FOR A MAINTENANCE PLAN ON AN ENERGY COGENERATION PLANT WITH A 6.5 MW, 14H35 / 40GV HYUNDAI HIMSEN GAS GENERATOR AND A 145BHP PHG145-3 JCT FIRE-TUBE BOILER.²

AUTHORS: JUAN CAMILO BROCHERO BRAVO / ALAIN ERNESTO DE LA HOZ LAGUNA

KEYWORDS: COGENERATION, PREVENTIVE MAINTENANCE OPTIMIZATION (PMO), FUNCTIONAL ANALYSIS, FAILURE MODE.

DESCRIPTION:

The objective of this project is to formulate a model PMO-based plan which helps to improve the availability and reliability of the equipment in the cogeneration process of Unibol Project.

The methodology implemented to analyze the maintenance requirements for Unibol Project was the Planned Maintenance Optimization, also known as PMO. In which information regarding the fault history was collected and technical information regarding the main equipment of the operation was studied. Following this, the project was divided into four main areas, which are divided into their different components. Then, it was carried out a functional analysis to each component in order to identify the failure mode and the operational consequences for each one. The above, laid the basis to determine the type of task to be performed, the frequency and the people responsible to make it.

This work is formulated in a young maintenance department that does not have the necessary tools to achieve the strategic objectives defined by its board of directors, so the result obtained has the great potential of becoming a powerful tool to generate strategies for significant improvements

The project generated new knowledge in Axia Energia staff, generating awareness of the importance of having each equipment in the optimal operating conditions to avoid unforeseen operational failures.

² Monograph

School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization.

Director: Ever Romero, Mechanical Engineer.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento industrial en Colombia ha sido una constante en los últimos años. Un reporte muy reciente por parte de la revista Dinero afirma que en los primeros nueve meses del año 2018, la producción real de la industria presentó una variación positiva del 2.9% y del 3.1% en las ventas.³

Esta alza en la demanda y exigencias de producción está llevando a diferentes empresas a aumentar su capacidad, así como garantizar sus fuentes de energía con mejores tiempos operacionales; cada vez son más las empresas que funcionan las 24 horas del día, los 7 días de la semana; las cuales requieren de una fuente de energía estable y continua para que no se vean afectadas sus operaciones. En muchos casos, esta necesidad se suple por medio de los procesos de autogeneración o cogeneración, dependiendo cual sea la necesidad.

Como en cualquier proceso industrial importante, para asegurar la disponibilidad del proceso de cogeneración, se debe plantear una estrategia de mantenimiento adecuada, debido a que en muchos casos reaccionar ante una falla puede resultar poco agradable además de muy costoso, como consecuencia de la salida de funcionamiento las plantas de producción. Una estrategia de mantenimiento contempla un conjunto de funciones o tareas determinadas mediante una frecuencia de realización, las cuales son asignadas a personal muy específico dependiendo de cada labor a desempeñar. En muchos casos, estas tareas son asignadas mediante las recomendaciones que hace el fabricante, el cual se basa en situaciones estándar a las que puede estar

³ Revista Dinero. Producción y ventas de la industria crecieron 2,9% en septiembre.[En línea]. (Recuperado el 17 de Diciembre de 2018). Disponible en: <https://www.cogeneracioneficiente.cl/que-es-cogeneracion/>

expuesto cada componente, sin tener en cuenta el contexto operacional, la criticidad dentro del sistema y los tiempos de funcionamiento de cada equipo.

Lo anterior, lleva a obtener un plan de mantenimiento poco eficiente, generando sobre costos y mala utilización de los recursos con los que se cuenta; obligando a los ingenieros de mantenimiento a un estudio continuo de las estrategias a implementar, para suplir todas las necesidades que vayan apareciendo en la operación de la industria.

El PMO busca mejorar las tareas de mantenimiento que sean repetitivas o que no generen un impacto significativo en el proceso, de manera tal que se pueda enfocar toda la atención en las tareas que, por cada contexto operacional, sean más críticas para el proceso. Esta estrategia de mantenimiento hace uso de los conocimientos de las diferentes áreas de las compañías, motivando a todo el personal, mitigando la negligencia y reduciendo las fallas.

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1.1 LA COMPAÑÍA. Axia Energía es una empresa colombiana de capital privado con sede principal en la ciudad de Barranquilla - Atlántico, creada en el año 2014 con el objetivo de convertirse en la empresa generadora de energía número uno de su tipo. En marzo del año 2016 pone en operación su primera proyecto de cogeneración para suplir la energía de la Fábrica de Papeles Unibol en el municipio de Soledad - Atlántico, cuatro meses después en Julio de 2016, pone en operación su segundo proyecto de cogeneración para suplir de energía a la fabrica Productos Familia en Medellín – Antioquia. Siguiendo su ritmo acelerado de crecimiento, hoy cuenta con proyectos en construcción en las ciudades de Barranquilla, y los municipios de Galapa y Juan de Acosta en el Atlántico, Montelíbano – Córdoba y la Paz – Cesar, así como otros proyectos en negociación.

Axia Energía es un proveedor de servicios energéticos que se ajusta a las necesidades operativas de sus clientes en todas las industrias, brindándoles soluciones eficientes y confiables.

El modelo de negocio de Axia Energía consiste en brindar a sus clientes un sistema integral de generación de energía, a través de plantas de autogeneración o cogeneración, que satisfagan parcial o totalmente sus necesidades de energía eléctrica y térmica de calidad. Adicionalmente, Axia Energía es un comercializador de energía que hace parte del Mercado Energético Mayorista en Colombia, teniendo la posibilidad de exportar a la Red

Pública los excedentes de energía que se generan en cada proyecto y comercializarlos en todas las Zonas Interconectadas de Colombia.

Entre los proyectos más reconocidos por la compañía, se encuentran el proyecto de cogeneración permanente UNIBOL, con una capacidad instalada de generación eléctrica de 6.7 MW y una capacidad de generación de vapor de 5000 libras/hora, ubicado en el municipio de Soledad - Atlántico; otro proyecto, es el de cogeneración en la fábrica de productos Familia con una capacidad instalada de 5.8MW y una capacidad de generación de vapor de 5000 libras/hora, ubicada en la ciudad de Medellín, Antioquia.

Figura 1. Motogenerador del Proyecto Unibol



Fuente: Experiencia, Proyectos. 2019. Axia Energía

Adicionalmente, Axia Energía es un proveedor de servicios energéticos que se ajusta a las necesidades operativas de sus clientes en todas las industrias, brindándoles soluciones eficientes y confiables.

1.1.2 EL CLIENTE. La Fábrica de Papeles Unibol es una compañía manufacturera con una trayectoria de más de 68 años, produciendo productos en papel craft y papel tissue. Inicia su operación a mediados de 1949 como Fabrica de Bolsas y Sacos de Papel Unión, en 1968 se convirtió en Papeles del Norte S.A. luego de la compra de dos máquinas para hacer papel y en 1997 se funciona con Unibol S.A. creando la nueva razón social Fábrica de Papel Unibol S.A.

En la actualidad la Fábrica de Papeles Unibol, se encuentra en el municipio de Soledad – Atlántico, en el Km 7 de la vía que conduce al aeropuerto de pasajeros de Barranquilla, frente al aeropuerto de carga.

Figura 2. Ubicación de la Fábrica de papeles Unibol.



Fuente: Google Earth. 2018

En sus inicios, se dedicó a la manufactura de productos con papel Craft, línea que hasta la actualidad se sigue elaborando, sin embargo, durante los últimos

años ha potencializado sus otras líneas de productos con papel tissue: papel higiénico, toallas de cocina y servilletas.

1.1.3 EL PROYECTO DE COGENERACIÓN. La producción de Unibol está dividida en varias áreas: fabricación, transformación y empaque, con una capacidad instalada de 5 MW que son alimentados con la conexión a cola del circuito Industrial Sur desde la subestación Malambo de Electricaribe. Por tener esta característica, la operación de la Fábrica de Papeles Unibol es muy inestable, ya que está expuesta a que cualquier falla o anomalía en el circuito Industrial Sur les genere una salida de funcionamiento y un periodo perdido de restablecimiento de por lo menos una hora, tiempo en el que se pierde producción.

Atendiendo a la necesidad inicial de mejorar la confiabilidad del suministro de energía eléctrica, se pone en marcha el proyecto Unibol, el cual corresponde a una planta de cogeneración que consta de un Motogenerador Hyundai Himsen 14H35/40GV con capacidad nominal de 6.7 MW en conjunto con una Caldera Pirotubular JCT PHG145-3 con capacidad nominal de 145 BHP, el cual se encuentra ubicado dentro de la Fábrica de Papeles Unibol.

Con esta configuración, el proyecto de cogeneración es capaz de suplir el 100% de la energía eléctrica y un 40% del vapor que necesita Unibol para su producción de papel, convirtiéndose en un recurso vital para cumplir con el objetivo estratégico de mejorar los índices productivos basados en el ahorro por costos de la energía y la disponibilidad de la misma.

Figura 3. Ubicación del proyecto de Unibol



Fuente: Google Earth. 2018

El proyecto Unibol, está constituido por cuatro áreas principales, las cuales contiene todos los equipos necesarios para el correcto funcionamiento del mismo: Cuarto de Máquinas, en el que se encuentra el motogenerador y todos sus equipos auxiliares; el Cuarto de Caldera; la Subestación de Potencia, donde se encuentra el tren de celdas de media tensión para el manejo de la energía eléctrica suministrada al cliente y el tren de celdas de baja tensión para la alimentación de los auxiliares necesarios para su funcionamiento; y el Cuarto de Control, donde se encuentran los equipos con los que se monitorea y controlan la operación de los equipos.

2. JUSTIFICACIÓN

En años anteriores, para optar por implementar un nuevo proyecto de cogeneración, Fábrica de Papeles Unibol ya contaba con su propia planta de cogeneración, sin embargo, no cumplía el objetivo deseado, dado que contaba con dos motogeneradores de 1.75 MW cada uno y sus respectivas calderas. Por lo que en condiciones de producción normales, cualquier falla en la red pública le representaría a Unibol no solo una parada de todos sus procesos, sino también una pérdida de por lo menos una hora de producción gracias al tiempo que debe tomarse para la restitución de todos sus equipos.

Conscientes de su necesidad, Fábrica de Papeles Unibol contrató a Axia Energía para que les preste el servicio de suministro de energía eléctrica y vapor para su proceso, con el objetivo de obtener ahorros en los costos de energía y confiabilidad del fluido eléctrico, garantizando una disponibilidad de por lo menos 96%. Para Axia Energía, no cumplir con esto, no solo significaría no cumplir con algunos apartes de este contrato, sino también generaría pérdidas de dinero por la energía que se deje de producir y por las compensaciones económicas que deberían pagarse.

Aun cuando la exigencia en cuanto a confiabilidad y disponibilidad es clara, por ser una empresa nueva y en crecimiento, todos los proyectos que actualmente se encuentran en funcionamiento solo cuentan con un programa de mantenimiento basado en las recomendaciones que el fabricante de sus equipos hace a través de los manuales de operación y mantenimiento, limitando la eficacia del mismo para mantener la exigencia de este tipo de proyectos.

Con el presente trabajo se pretende formular un modelo de plan de mantenimiento basado en PMO que apunte a mejorar la disponibilidad,

confiabilidad y mantenibilidad de los equipos del proyecto de cogeneración Unibol, así como establecer una metodología que permita evitar al máximo la implementación de mantenimientos correctivos por fallas o emergencias que se puedan presentar.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Formular un modelo de plan de mantenimiento utilizando la metodología PMO para el proyecto de cogeneración Unibol, que pueda impactar positivamente los indicadores operativos del proyecto, en un entorno de costos y riesgos controlados.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 3.2.1** Identificar las actividades de mantenimiento que permitan la prevención de fallas, que incrementen la disponibilidad de los equipos del proyecto de cogeneración Unibol, de acuerdo con los objetivos corporativos de Axia Energía.
- 3.2.2** Determinar las tareas y frecuencias adecuadas que mitiguen al máximo los modos de falla que se han presentado en el proyecto de cogeneración de Unibol.
- 3.2.3** Fortalecer la gestión de riesgo en las operaciones de Axia Energía, mediante la identificación, evaluación e implementación de planes de acción necesarios para reducir los riesgos de los equipos analizados.
- 3.2.4** Incrementar las competencias del personal de Axia Energía, a través de la transferencia de conocimiento durante la ejecución de los estudios de optimización de planes de mantenimiento.

4. JUSTIFICACION

Antes de optar por implementar un nuevo proyecto de cogeneración, Fábrica de Papeles Unibol ya contaba con su propia planta de cogeneración, sin embargo, no cumplían el objetivo deseado, dado que contaba con dos motogeneradores de 1.75 MW cada uno y sus respectivas calderas. Esta condición técnica implica que la generación instalada fuese menor a la demanda total de carga, por lo que en condiciones de producción normales, cualquier falla en la red pública representaría para Unibol una sobrecarga de su sistema de generación y consecuentemente una parada de todos sus procesos, que traería consigo adicionalmente una pérdida de por lo menos una hora de producción gracias al tiempo que debe tomarse para la restitución de todos sus equipos.

Conscientes de su necesidad, Fábrica de Papeles Unibol contrata a Axia Energía para que les preste el servicio de suministro de energía eléctrica y vapor para su proceso, con el objetivo de obtener ahorros en los costos de energía y aún más importante, confiabilidad del fluido eléctrico, garantizando una disponibilidad de por lo menos 96%.

Para Axia Energía, tener una disponibilidad inferior, no solo significa no cumplir con algunos apartes de este contrato, sino también genera pérdidas económicas por la energía que se deje de producir y por las compensaciones económicas que debe pagar.

Aun cuando la exigencia en cuanto a confiabilidad y disponibilidad es clara, por ser una empresa nueva y en crecimiento, todos los proyectos que actualmente se encuentran en funcionamiento solo cuentan con un programa de mantenimiento basado en las recomendaciones que el fabricante de sus equipos

hace a través de los manuales de operación y mantenimiento, limitando la eficacia del mismo para mantener la exigencia de este tipo de proyectos.

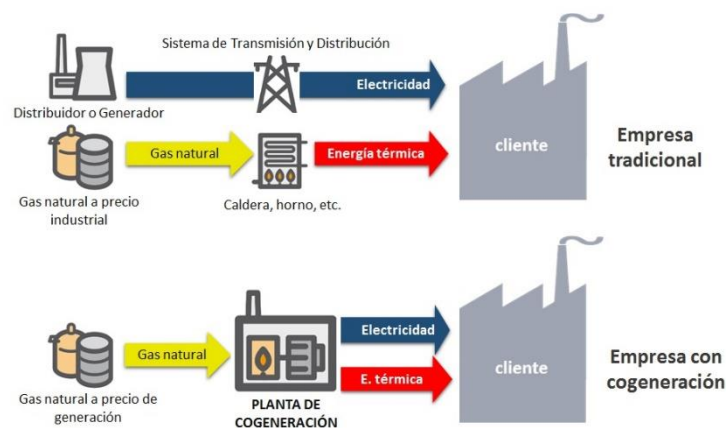
Con el presente trabajo se pretende formular un modelo de plan de mantenimiento basado en PMO que apunte a mejorar la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad de los equipos del proyecto de cogeneración Unibol, así como establecer una metodología que permita evitar al máximo la implementación de mantenimientos correctivos por fallas o emergencias que se puedan presentar.

5. MARCO TEORICO

5.1 SISTEMAS DE COGENERACIÓN CON MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

El término cogeneración se utiliza para llamar al procedimiento que se utiliza para obtener simultáneamente dos tipos de energía, normalmente energía eléctrica y energía térmica en forma de vapor. En otras palabras, el objetivo de un proyecto de cogeneración es aumentar al máximo el aprovechamiento de los recursos destinados para la obtención de la energía necesaria para un proceso, normalmente de producción de algún producto.

Figura 4. Esquema comparativo del proceso de obtención de energía eléctrica



⁴En línea. (Recuperado el 17 de Diciembre de 2018). Disponible en: <https://www.canadaperu.org/noticia/ferreenergy-promueve-soluciones-co-generacion-forma-mas-eficiente-generar-energias>

En un proyecto de cogeneración utilizando un motor de combustión interna se pueden identificar dos ciclos que lo componen.

En el primero el motor de combustión interna toma la energía química contenida en un combustible (normalmente gas natural por consideraciones de costo, sin embargo, es posible utilizarse otros combustibles fósiles o incluso biomásas) y la transforma en movimiento, el cual implementando las leyes de la teoría electromagnética y la física eléctrica, utilizando un alternador se transforma en energía eléctrica.

En el segundo ciclo, dado que un motor no es 100% eficiente, lo que deja de ser transformado en energía eléctrica, se disipará como calor a través de los elementos que conforman al conjunto motor-alternador y los gases de escape que se producen como resultado del proceso de combustión que se da al interior del motor. Dicho calor de los gases de escape es introducido a un equipo intercambiador de calor que implementará las leyes de la física termodinámica para la producción ya sea de vapor o frío. Para la generación de vapor se implementará una caldera de recuperación y para la generación de frío un chiller de absorción, respectivamente.

De esta forma el aprovechamiento o eficiencia de un ciclo combinado como este, pasará de estar en el mejor de los casos alrededor de un 45% a convertirse en un aprovechamiento de aproximadamente el 80%, entregando notorias mejoras en los costos de la generación de energía, lo que en muchos casos podría llegar a representar un 40% de los costos fijos de producción.

5.2 DEFINICIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Borras Pinilla en su libro *Mantenimiento Preventivo, Especialización en Gerencia del Mantenimiento* define el mantenimiento preventivo como una forma de neutralizar los efectos que se producen con la aparición de las fallas funcionales de un equipo o sistema. En él, se establece una lista de acciones con diferentes periodos de frecuencia, con el objetivo de disminuir los índices de frecuencias en fallas comunes y prematuras, disminuyendo las consecuencias negativas”

Este tipo de mantenimiento, asegura unos buenos índices tanto en la disponibilidad y confiabilidad de los equipos. La disponibilidad es definida como la capacidad que tiene un equipo o sistema, para operar cuando el usuario lo requiera. En la práctica, la disponibilidad se expresa como el porcentaje de tiempo en que el equipo se encuentra listo para participar en la operación.

Por otro lado, Mesa, Ortiz, Pinzón (2006) definen la confiabilidad como un índice que muestra la posibilidad de que el equipo/sistema, desempeñe su función básica en un momento algún momento específico, bajo condiciones típicas de operación. Para poder conseguir elevados índices de confiabilidad, se necesita de una inversión de capital.

Tabla 1. Requisitos de sistemas y enfoque de los indicadores

	REQUISITOS	EJEMPLOS
1	Alta confiabilidad Poca disponibilidad	Generación de electricidad Tratamiento de agua
2	Alta disponibilidad	Refinerías de petróleo Acerías
3	Alta confiabilidad Alta mantenibilidad	Incineradores hospitalarios
4	Disponibilidad basada en buena práctica	Procesamiento por etapas
5	Alta disponibilidad Alta confiabilidad	Sistema de emergencias Plataformas petroleras

Fuente: *Dialnet. La Confiabilidad, la Disponibilidad y la Mantenibilidad, Disciplinas Modernas Aplicadas al Mantenimiento.*

Aparece un nuevo término empleado en el mantenimiento, la mantenibilidad. Se define como la capacidad de un equipo en falla, de ser reparado para que pueda cumplir nuevamente sus funciones operacionales. Algunos autores definen la mantenibilidad como “la probabilidad de reestablecer las condiciones específicas de funcionamiento de un sistema, en límites de tiempo deseados, cuando el mantenimiento es realizado en las condiciones y medios predefinidos”.

Para que una planta pueda aumentar su capacidad de producción, se debe crear una armonía entre la mantenibilidad, la confiabilidad y la disponibilidad. Por lo tanto, el primer paso para conseguir lo anterior, es aumentar la disponibilidad de

los sistemas y equipos en la planta, para lo que se necesita que se genere un aumento en la confiabilidad y un aumento en el tiempo medio entre fallas, reduciendo los tiempos medios de reparación.

5.3 PMO – OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PLANEADO

La optimización del mantenimiento planeado, por sus siglas en inglés, PMO; es una metodología que busca mejorar las prácticas de mantenimiento por medio del análisis de los requerimientos de los equipos, historiales de falla y datos técnicos de los activos presentes en el plan de mantenimiento.

Uno de los grandes beneficios que ofrece esta metodología, radica en la adaptación rápida y personalizada en los procesos operacionales de cada empresa. Además, por medio de un PMO, se genera un aumento en los índices de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de los diferentes activos de la compañía. Se genera, también, una reducción significativa de fallas y paradas operacionales imprevistas, optimizando el recurso humano, aumentando la productividad y disminuyendo los tiempos de inactividad.

A pesar de lo anterior, la principal desventaja del PMO proviene de la recolección de información del historial de fallas, ya que muchas veces esta información es inexacta, incompleta y carece de un concepto profesional e imparcial.

5.3.1 Características del PMO. La optimización de los planes de mantenimiento cuenta con las siguientes características:

- Maximiza la capacidad de los activos de estar aptos funcionalmente para cuando se necesiten. Aumenta la capacidad de producción, mediante la reducción de los tiempos de intervención de equipos.

- Algunos expertos afirman que el tiempo de implementación el PM, plan de mantenimiento, se reduce de seis a ocho meses.
- Maximiza la eficacia de las tareas de mantenimiento, reduciendo gastos del área.
- El PMO cuenta con un porcentaje de implementación alto. Según Mejía y Hernández (2009) 40% de las empresas las cuales las cuales implementan PMO, ya han tratado anteriormente de utilizar RCM.

5.3.2 Etapas para la implementación de un PMO. Según un informe de la OMCS LatinAmerica, se proponen nueve etapas para la implementación de un PMO.

- Etapa 1 - Recopilación de tareas.

Para esta primera etapa se deben tener dos elementos importantes, el plan de mantenimiento actual de la compañía y una base de datos donde se pueda guardar toda la información que se va captando de esta metodología.

- Etapa 2 - Análisis de modos de falla.

Por medio de la colaboración de todo el personal de mantenimiento y operarios de planta, se debe identificar los diferentes modos de falla que se quieren proveer con las actividades de mantenimiento existentes.

- Etapa 3 - Racionalización y revisión del análisis de modos de falla.

Se analizan y se ordena por fallas, la información obtenida del análisis de modos de falla. En este punto también se debe tener en cuenta aquellos modos de falla no predecibles con las tareas de mantenimiento, sino identificados por medio de los historiales de falla. En esta etapa, podemos hacer un análisis de la duplicidad de tareas entre las diferentes áreas.

- Etapa 4 - Análisis funcional.

Este paso es importante para tener presente las funciones que se dejan de generar ante la presencia de cada falla. Esta etapa es útil cuando el análisis se realiza a equipos críticos, debido a la importancia de generar un plan de mantenimiento sólido y detallado.

- Etapa 5 - Evaluación de consecuencias.

Al conocer los modos de falla y las funciones operacionales que se pueden ver afectadas, se debe evaluar el tipo de falla; ocultas o a la vista.

- Etapa 6 - Definición de la política de mantenimiento.

En esta etapa se analiza de manera detallada cada modo de falla. Esta política ayuda a eliminar las tareas de mantenimiento que no son costo efectivas. Además, identifica las tareas que serían más económicas pero, a su vez, más efectivas si fueran basadas en condición. También se pueden discriminar aquellas tareas que no aportan beneficios a la metodología.

Por otro lado, también se analizan cuales fallas pueden ser analizadas con tecnologías modernas y avanzadas, o por el contrario, cuáles deben ser analizadas de manera simple. Además, se establece que información se debe captar para predecir el comportamiento de los equipos.

- Etapa 7 - Agrupación y Revisión.

Habiendo analizado las tareas, se debe definir la metodología más eficaz para el mantenimiento de los activos, siempre teniendo presente las restricciones de diseño y producción.

Es ideal que se compartan o se deleguen tareas de mantenimientos entre los especialistas y operadores, analizando previamente desempeños y habilidades del capital humano para que estas tareas sean lo más eficientes posibles.

- Etapa 8 - Aprobación e implementación

Delante de la junta directiva se debe presentar los resultados obtenidos del análisis, mediante un software se presenta un informe detallado de cada cambio y su respectiva justificación. A su vez, la etapa de implementación es la que más tiempo desgasta, respecto a las anteriores; siendo más complejo ejercerla en empresas que manejan muchos turnos operacionales.

5.4 MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD

El mantenimiento basado en confiabilidad, también conocido como RCM, es una técnica de mantenimiento que se basa en el análisis de fallas de los equipos,

estableciendo tareas preventivas que eviten la aparición de posibles fallas en la operación.

Uno de los más grandes exponentes de esta metodología, John Moubray, definió el RCM como un proceso que determina que se debe hacer para asegurar que la funcionalidad de los equipos en el contexto operacional. Por su parte, Anthony R. Smith, lo definió como “una filosofía de gestión de mantenimiento en la cual un equipo multidisciplinario de trabajo se encarga de optimizar la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento, en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, tomando en cuenta los posibles efectos que originarán los modos de falla de estos activos a la seguridad, al ambiente y las operaciones.”

Para poder implementar el RCM, se debe definir siete preguntas básicas sobre el equipo o el sistema que se analizará:

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

5.5 COMPARACIÓN ENTRE LA METODOLOGÍA DE LA OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PLANEADO Y EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD

Oliveros, Zambrano (2016) El PMO puede llegar a obtener iguales soluciones de problema que los mantenimientos centrados en confiabilidad, mejor conocidos por sus siglas en inglés como, RCM. Esto se debe en parte, a que el PMO toma como base el mantenimiento planeado que se encuentre activo en la empresa, desligando de esta forma, costos de diseño e implementación.

A pesar de que se puede implementar de manera eficiente tareas de mantenimiento por ambas metodologías, éstas presentan grandes diferencias entre ellas, así como lo mencionan Chica y Hernández (2009) El RCM enfoca su metodología en planes de mantenimiento que ya están implementados, pero a su vez, la optimización del mantenimiento planeado, nace desde la estrategia de planes de mantenimientos en activos operativos los cuales no tenían”.

5.5.1 Diferencias Funcionales entre RCM y PMO. El objetivo común entre estas dos metodologías es definir los requerimientos de mantenimiento necesarios para los activos operacionales. Según OMCS LatinAmerica en PMO, el RCM fue diseñado para desarrollar el programa inicial de mantenimiento durante la etapa de diseño del ciclo de vida de los activos, mientras el PMO ha sido diseñado para usarlo una vez los activos están en uso. El PMO es un análisis mucho más efectivo y flexible que RCM, tanto en tiempo de ejecución como en costos, ya que inicia el trabajo desde un programa de mantenimiento razonablemente bueno y toma en cuenta el conocimiento adquirido por la experiencia en las operaciones mismas y las características de falla más comunes, históricamente en la planta.

5.5.2 Diferencias Metodológicas entre RCM y PMO. Metodológicamente la diferencia se basa en la forma como se generan los modos de falla. RCM genera una lista de los modos de falla desde un meticuloso análisis de todas las funciones, después de considerar todas las posibles fallas funcionales en la operación. Busca analizar todos los modos de falla en cada equipo del sistema a analizar.

A su vez, el PMO genera una lista de modos de falla desde el plan de mantenimiento actual, de una evaluación del historial de fallas y de la revisión de la documentación técnica. Por lo tanto, maneja una cantidad mucho menor de modos de falla que RCM y llega a los modos de falla con más porcentaje de incidencia en el proceso, de manera más rápida. El PMO es seis veces más rápido que RCM en generación de resultados.

5.6 ACTIVOS ESTRATÉGICOS

Los activos estratégicos de la planta de cogeneración de energía, Axia Energía son aquellos equipos que tiene una relación directa en la generación de los ingresos, o bien, aquellos activos de funcionalidad crítica en los objetivos de la empresa. Estos activos pueden ser fijos, físicos, tangibles y el capital.

En las plantas de generación eléctrica es necesario tener instalaciones con reducidos problemas para poder cumplir con las expectativas del cliente, entregando una excelente calidad el servicio. En empresas denominadas manufactureras, la situación es diferente, ya que para cumplir los objetivos, se deben manejar los tiempos de funcionamientos de los activos presente.

5.7 CONTEXTO OPERACIONAL

El contexto operacional ayuda al personal de mantenimiento a dimensionar las posibles afectaciones que puede presentar un equipo. En base a esto, se puede

desarrollar las tareas de mantenimiento más adecuadas de los equipos. De esta forma, si existen dos equipos con las mismas características en dos plantas de diferentes objetivos productivos, se pueden generar planes de mantenimientos totalmente distintos, ya que el contexto operacional afectará de una manera particular en los equipos de cada planta.

5.8 FALLAS FUNCIONALES

El objetivo principal de los planes de mantenimiento, es poder asegurar que los equipos o activos de la empresa puedan cumplir con sus funciones operacionales bajo los parámetros del usuario. Cuando un activo no puede desempeñar la función deseada, se considera como una falla funcional. El PMO identifica, bajo un análisis de las tareas de mantenimiento actuales de la compañía, los tipos de falla más comunes que se pueden presentar en el proceso.

5.9 MODOS DE FALLA

Los modos de falla son los hechos que llevan a los equipos a presentar las fallas funcionales. El deterioro, problemas de lubricación, errores humanos en la intervención de los equipos, sobrecarga externa en las entradas del sistema, son algunos de los modos de falla más comunes en los activos de una compañía.

5.10 CONSECUENCIAS DE FALLA

Existen cuatro tipos de consecuencias de falla: las consecuencias de falla oculta, las consecuencias ambientales y de seguridad en el trabajo, las consecuencias operacionales y las no operacionales.

Por medio de las consecuencias de la falla, y analizando el contexto operacional, se pueden priorizar las fallas funcionales

6. FORMULACION DEL PLAN DE MANTENIMIENTO OPTIMIZADO

6.1 LISTADO DE EQUIPOS

Para poder realizar la formulación de optimización del plan de mantenimiento, se procedió a definir los activos que conforman el proyecto de cogeneración, enlistados en la siguiente tabla:

Tabla 2. Listado de los activos de la planta

COD	SISTEMA DE COOGENERACIÓN
A	Motor Hyundai
B	Cuarto de control
C	Cuarto de máquinas
D	Cuarto de potencia
E	Caldera

Una vez definidos los activos, éstos se dividieron en sistemas y luego en componentes. A continuación se procede a registrar este proceso para el motor y la caldera; en los anexos se puede encontrar la información completa de los demás activos que conforman el proyecto.

6.1.1 Motor Hyundai. Teniendo en cuenta la función de cada componente del motor, estos se agruparon en 10 sistemas que lo conforman:

Tabla 3. Sistemas del Motor

COD	A. MOTOR HYUNDAI
A1	Sistema de Lubricación
A2	Sistema de refrigeración
A3	Sistema de entrada de Aire
A4	Sistema de Aire Comprimido
A5	Sistema de ignición
A6	Sistema de GAS
A7	Sistema de Arranque
A8	Alternador
A9	Motor
A10	Gas Supply System

Cada uno de estos sistemas, fueron subdivididos por componentes, de manera que se pueda hacer un análisis más detallado, que genere tareas más puntuales en la formulación.

Tabla 4. Componentes del Sistema de Lubricación

COD	A1. Sistema de Lubricación
A1.1	LO MistSeparator_SEPARADOR CENTRIFUGO
A1.2	Bomba Precalentamiento (LO PRE-HEATER PUMP)
A1.3	PRE LO PUMP YRB 500
A1.4	LUB OIL PUMP
A1.5	Aceite
A1.6	Filtro Automático

Figura 5. Bomba de Precalentamiento.



Tabla 5. Componentes del Sistema de Refrigeración

COD	A2. Sistema de refrigeración
A2.1	Enfriador de Aceite - Intercambiador de placas
A2.2	J.W. PRE-HEATER UNIT - Calentador de Agua
A2.3	COOLING RADIATOR – Radiador
A2.4	HT / LT COOLING WATER VALV (Válvulas 3 vías).
A2.5	CoolingWaterPump_ Bombas de agua

Figura 6. Enfriador de Aceites. Intercambiador de Placas



Tabla 6. Componentes del Sistema de Aire Comprimido

COD	A4. Sistema de Aire Comprimido
A4.1	Secador de aire
A4.2	Compresor
A4.3	Tanque Pulmón

Figura 7. Secador de Aire.



6.1.2 Caldera. La caldera se estudió en 5 sistemas, la válvula de tres vías, el medidor de flujo de vapor, el medidor de nivel analógico, las bombas de llenado de agua y el cuerpo de la caldera.

Tabla 7. Sistemas de la Caldera

COD	E. CALDERA
E1	Válvula de tres vías
E2	Medidor de flujo de vapor
E3	Medidor de nivel analógico
E4	Bombas de llenado de agua
E5	Cuerpo de la caldera

Al igual que con el motor, estos sistemas fueron estudiados por componentes agrupados en cada uno.

Tabla 8. Componentes de la Válvula de Tres Vías

COD	E1. Válvula de tres vías
E1.1	Actuador y válvula de tres vías

Tabla 9. Componentes del Medidor de Nivel Analógico

COD	E3. Medidor de nivel analógico
E3.1	Medidor de nivel analógico
E3.2	Medidor de nivel de electrodos

Tabla 10. Componentes de las Bombas de Llenado de Agua

COD	E4.Bombas de llenado de agua
E4.1	Bomba Grundfos
E4.2	Sensor temperatura entrada de gases caldera PT100
E4.3	Sensor temperatura salida de gases caldera PT100
E4.4	Warrick (Dispositivo de seguridad)
E4.5	Válvula de seguridad (cantidad 2)
E4.6	Switch de presión
E4.7	Transmisor de presión

Tabla 11. Componentes del Cuerpo de la Caldera

COD	E5. Cuerpo de la caldera
E5.1	Casco

6.2. RECOPIACIÓN DE TAREAS, PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL

Se realizó una indagación de información en base a la política de mantenimiento que se implementa actualmente en la compañía. Como resultado, se pudo

registrar las tareas asignadas por componentes, la frecuencia de realización y el responsable de la ejecución. A continuación, se presentan el registro para los componentes de los sistemas del motor. Las frecuencias establecidas están en días.

Tabla 12. Tareas Actuales Sistema de Lubricación, Motor

COD	TAREAS	FREC.	RESPONSABLE
A1.1	Inspección visual del cuerpo del separador en busca de fugas	7	Operador/Electricista
	Inspección de temperaturas y ruidos extraños	7	Operador/Electricista
A1.2	Inspección visual, fugas de aceite por cuerpo, bridas y/o sello mecánico, ruidos extraños y reporte y tendencia de temperatura y presión a la succión y descarga	7	Operador/Electricista
	Medición de corriente en cada una de las fases, llevar tendencia y comparar vs corriente nominal.	30	Operador/Electricista
	Medición de aislamiento (Megguero)	180	Operador/Electricista
A1.3	Inspección visual, fugas de aceite por cuerpo, bridas y/o sello mecánico, ruidos extraños y reporte y tendencia de temperatura y presión.	1	Operador/Electricista
	Medición de aislamiento (Megguero)	180	Operador/Electricista
A1.4	Revisar ruidos extraños		Operador/Electricista
	Reemplazar rodamientos	365	Operador/Electricista
A1.5	Toma de muestra y análisis de laboratorio.	30	Operador/Electricista
A1.6	Retirar el filtro, limpiar e inspeccionar integridad de las mallas filtrantes	180	Operador/Electricista

Tabla 13. Tareas Actuales Sistema de Refrigeración, Motor

COD	TAREAS	FREC.	RESPONSABLE
A2.1	Inspección visual de bridas, empaques del intercambiador, válvulas y accesorios del intercambiador en busca de fugas	7	Operador/Electricista
	Inspección visual de bridas, empaques del intercambiador, válvulas y accesorios del intercambiador en busca de fugas	7	Operador/Electricista
A2.2	Inspección visual, fugas por cuerpo, bridas y/o sello mecánico, identifique ruidos extraños y reporte y tendencia de temperatura y presión.	7	Operador/Electricista
	Medición de aislamiento (Megguero)	180	Operador/Electricista
	Inspección visual de las electroválvulas, inspeccionar fugas.	7	Operador/Electricista
A2.3	Inspección visual en busca de fugas Circuito HT y LT	7	Operador/Electricista
	Medición de aislamiento (Megguero)	180	Operador/Electricista
A2.4	Pruebas funcionales de los posicionadores, confirmar el ECS (EngineControl System)	365	Operador/Electricista
	Inspección visual, verificar la alimentación inspeccione defectos en la acometida de la válvula	180	Operador/Electricista
	Inspección visual, búsqueda de fugas.	7	Operador/Electricista
A2.5	Inspección visual en busca de fugas, revisar el testigo de indicación de falla de sello, inspeccionar ruidos extraños.	7	Operador/Electricista

Tabla 14. Tareas Actuales Sistema de Aire Comprimido. Motor

COD	TAREAS	FREC.	RESPONSABLE
A4.1	Inspección visual, ruidos extraños, revisar ausencia de fugas	7	Operador/Electricista
	Inspeccionar indicador de temperatura (si se encuentra en rojo requiere atención)	7	Operador/Electricista
A4.2	Análisis de aceite en laboratorio	90	Operador/Electricista
	Inspección visual en busca de fugas de aire y aceite	7	Operador/Electricista
	Realizar limpieza del filtro de aire	90	Operador/Electricista
	Cambio de filtro de aire	60	Operador/Electricista
	Medición de corriente en cada una de las fases, llevar tendencia y comparar vs corriente nominal.	180	Operador/Electricista
	Lubricación de rodamientos 6212 (30 g) (23 bombazos) Lubricación de rodamiento 6313 (45 g) (35 bombazos)	365	Operador/Electricista
	Medición de aislamiento (Megguero)	180	Operador/Electricista
A4.3	Calibración de válvula de seguridad	365	Contratista
	Calibración de switch de presión (cantidad 3)	365	Contratista

Al igual que los sistemas del motor, se registró las tareas de mantenimiento que actualmente se ejecutan para los sistemas y componentes que conforman la caldera.

Tabla 15. Tareas Actuales Válvula de tres vías. Caldera

COD	TAREAS	FREC.	RESPONSABLE
E1.1	Inspección visual y ronda operacional, verificar fugas en uniones, bridas y conexiones	7	Operador/Electricista
	Inspección visual y ronda operacional, verificar condición de integridad, corrosión, grietas, golpes en cuerpo de la válvula, actuador, conexiones, uniones y tubería	7	Operador/Electricista
	Realizar pruebas de apertura y cierre desde el HMI, verificar en campo	180	Operador/Electricista
	Limpieza de conexiones eléctricas, verificar ajustes y continuidad de conductores. Verificar hermeticidad del instrumento	365	Operador/Electricista

Fuente: Los Autores.

Tabla 16. Tareas Actuales Medidor de Nivel Analógico. Caldera

COD	TAREAS	FREC.	RESPONSABLE
E3.1	Inspección visual y ronda operacional, verificar lecturas de nivel en HMI, en el instrumento vs ventana operativa	30	Contratista
	Prueba funcional del instrumento, envío de señal (Local). Verificar indicación en HMI vs Indicación en instrumento	30	Operador/Electricista
	Limpieza de conexiones eléctricas, verificar ajustes y continuidad de conductores. Verificar hermeticidad del instrumento	180	Operador/Electricista
E3.2	Limpieza de electrodos, inspección visual de conectores y pruebas funcionales	180	Operador/Electricista

Tabla 17. Tareas Actuales Bomba de llenado de agua. Caldera

COD	TAREAS	FREC.	RESPONSABLE
E4.1	Verificar pernos de sujeción y anclaje. Utilizar torquímetro de acuerdo con fuerza establecida.	365	Operador/Electricista
	Inspección visual y ronda operacional, verificar fugas en uniones, bridas y conexiones. Verificar funcionamiento de la bomba, fugas en sello, cambiar de acuerdo con condición	7	Operador/Electricista
	Limpieza de conexiones eléctricas, verificar ajustes (ponchado) y continuidad de conductores. Verificar hermeticidad de la caja de conexión. Tomar registro de variables eléctricas (Tensión, corriente).	365	Operador/Electricista
	Inspección de válvulas de venteo, cheques, válvulas manuales, filtros a la entrada de la bomba, prueba funcional de apertura y cierre de válvulas, verificar atascamientos	365	Contratista
	Prueba de aislamiento al devanado del motor (Megguero)	180	Operador/Electricista
E4.4	Limpieza de electrodos, inspección visual de conectores y pruebas funcionales	180	Contratista
E4.6	Realizar prueba funcional del switch y verificar interlock con la válvula tres vías	30	Contratista
E4.7	Inspección visual, identificar fugas	7	Contratista

Tabla 18. Tareas Actuales Cuerpo de Caldera. Caldera

COD	TAREAS	FREC.	RESPONSABLE
E5.1	END, inspección visual, medición de espesores UT, Tintas penetrantes en soldaduras y/o phasearray	365	Contratista
	Inspección visual en busca de fugas.	7	Contratista

6.3. ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA

Para realizar el análisis de falla, se recolecto información con el personal de mantenimiento, con el objetivo de conocer más al detalle las fallas recurrentes en la planta. Al igual, se indagó en registro e historiales de correcciones reportadas por el personal de mantenimiento encargado, para tener en cuenta los efectos operacionales que se han tenido cuando se presenta alguna falla.

Tabla 19. Análisis Modo de Falla. Sistema de Lubricación

COD	MODO DE FALLA	EFFECTOS OPERACIONALES
A1.1	Taponamiento entre canales de los platos	No hay afectación operacional, se genera contaminación atmosférica y pérdida de aceite, se hace bypass para no permitir presurización del Carter
	Falla de los rodamientos del motor	Paro del motor por sobre corriente sin efecto operacional, saca de servicio el separador
	Falla del devanado del motor	Paro del motor por cortocircuito sin efecto operacional, saca de servicio el separador
A1.2	Daño en el acople motor - bomba	No es posible arrancar el motor de combustión, se genera paro de proceso.
	Daño en el motor eléctrico	No es posible arrancar el motor de combustión, se genera paro de proceso.
	Escape de aceite por el sello mecánico	Escape de aceite a la atmosfera. Cambiar sello mecánico de la bomba.
	Daño de la resistencia de calentamiento	No es posible arrancar el motor de combustión, se genera paro de proceso.
A1.3	Daño en el acople motor - bomba	No es posible arrancar el motor, se genera paro de proceso.
	Descalibración de la válvula de seguridad	No hay perdida de generación. Calibrar válvula de alivio de bomba de aceite.
A1.4	Daño en componentes internos	En ausencia de presión apaga automáticamente el motor de combustión, generando paro de proceso
	Descalibración de válvula de seguridad	Pérdida de eficiencia de la bomba, calibración de la válvula de seguridad
A1.5	Deterioro de las propiedades	Desgaste progresivo del motor
A1.6	Rompimiento de malla filtrante	Pierde capacidad de retirar impurezas del aceite, no genera paro de proceso, pero deteriora el equipo a largo plazo

Tabla 20. Análisis Modo de Falla. Sistema de Refrigeración

COD	MODO DE FALLA	EFFECTOS OPERACIONALES
A2.1	Obstrucción y/o restricción en el lado de aceite y/o agua LT en el enfriador	Aumento de la temperatura del aceite, se genera alarma alta temperatura (80°C) y apaga el equipo a 83°C
	Escape de aceite y/o agua LT por empaques y accesorios,	Escape de aceite y/o agua a la atmósfera, baja la presión del sistema apagando el equipo
	Fuga interna	Contaminación del agua de refrigeración
A2.2	Daño en las resistencias eléctricas	No calienta el agua, por lo cual no permite el arranque del motor.
	Cero o Bajo flujo de agua a través del calentador. Problema en la bomba, centrifuga	No recircula el agua, no calienta el agua, no permite arranque del motor.
	Daño de electroválvula (entrada y salida) falla al abrir/Cerrar	No permite recirculación, no permite calentamiento por lo tanto no arranca motor
A2.3	obstrucción interna y/o externo del radiador	Interna: No fluye el refrigerante, aumenta la presión y la temperatura en el sistema, se genera alarma y apaga el equipo.
	Escape por bridas, empaques y accesorios	Baja presión del sistema y sale de operación
A2.4	Daño del posicionador	Enfría o calienta el refrigerante fuera de los rangos permitidos, alarmando el motor de combustión y parando el proceso.
	Fuga por el cuerpo de la válvula	Baja presión del sistema y sale de operación
A2.5	Fuga externa de agua	Aumento de la temperatura del motor
	Baja presión	Aumento de la temperatura del motor

Tabla 21. Análisis Modo de Falla. Sistema de Aire Comprimido

COD	MODO DE FALLA	EFFECTOS OPERACIONALES
A4.1	Daño en el secador de aire	Paso de aire húmedo a las válvulas del tren de gas afectando el suministro de combustible generando paro de proceso
	Alarma por alta temperatura	Falla del secador, permitiendo paso de humedad a la instrumentación
A4.2	Falla del devanado del motor	Paro del compresor, generando paro del proceso de generación
	Taponamiento del filtro de aceite o ruptura	Sobre temperatura en el compresor, generando paro de proceso
	Taponamiento del filtro de aire o ruptura	Pérdida de eficiencia del compresor, se incrementa la temperatura hasta parar el equipo
	Falla de los rodamientos del motor	Paro del compresor, generando paro del proceso de generación
A4.3	Descalibración válvula de seguridad	No protege el equipo y las personas
	Corrosión interna y externa	Fugas

Tabla 22. Análisis Modo de Falla. Válvula de tres vías

COD	MODO DE FALLA	EFFECTOS OPERACIONALES
E1.1	Fuga externa de fluido utilitario	Afectación al personal y la eficiencia de la caldera , no hay paro de proceso de generación
	Falla al cerrar cuando se requiere	Presurización de la caldera
	Falla al abrir cuando se requiere	No inicia proceso de generación de vapor.

Tabla 23. Análisis Modo de Falla. Bombas de llenado de agua

COD	MODO DE FALLA	EFFECTOS OPERACIONALES
E4.1	Alta vibración, anormal	Cavitación de la bomba, rotura de discos desajuste pernos de sujeción y anclaje. Paro del proceso de generación de vapor.
	Fuga externa de agua cruda	Derrame de agua no contenida por sellos mecánicos y empaquetaduras rotas, bridas y uniones desajustadas.
	Pérdida de aislamiento en el devanado del motor	Paro del proceso de generación de vapor.
E4.2	Señal errónea o ausente	No se visualiza el parámetro , no afecta operación de vapor
E4.3	Señal errónea o ausente	No se visualiza el parámetro , no afecta operación de vapor
E4.4	Aislamiento de la señal de control	En caso de bajo nivel de agua y no se envía señal para cierre de válvula de entrada de gases a la caldera.
E4.5	Válvulas descalibradas	En caso de descalibración las válvulas no actúan generando rompimiento por la parte más débil de la caldera.
E4.6	Descalibración	No hay protección por sobrepresión
	Ausencia de señal	No hay protección por sobrepresión
E4.7	Descalibración	No se logra lectura de la presión en HMI
	Ausencia de señal	No se logra lectura de la presión en HMI
	Fuga	Alivia presión constantemente, pérdida de vapor

El análisis detallado de todos los modos de falla y los efectos operacionales se encuentra completo en el archivo anexo.

6.4. ANÁLISIS FUNCIONAL

Teniendo bien definido cada equipo en sistema y componente, se define la función y el desempeño esperado de cada uno, para luego conocer la falla funcional. Por lo tanto se tabulo esta información (se encuentra completa en los anexos).

Tabla 24. Análisis Funcional, Sistema de Lubricación

COD	FUNCIÓN Y DESEMPEÑO ESPERADO DEL ACTIVO	FALLA FUNCIONAL
A1.1	Recuperar el aceite formado como "neblina" e introducirlo nuevamente al Carter. Aliviar la presión del Carter, <1	No Recuperar el aceite formado como "neblina" e introducirlo nuevamente al Carter
A1.2	Recircular el aceite y elevarlo a una temperatura entre 55°C y 65°C previo al arranque del motor. Presión y flujo no disponibles	No recircula ni eleva la temperatura del aceite a la presión y flujo requerido
A1.2	Transferir 50,2 m ³ /h de aceite a una presión entre 1 y 3,5 bar a cada una de las partes internas móviles del motor de combustión antes del arranque es usada solo para el arranque.	No transferir aceite a la presión y flujo requerido
A1.4	Recircular aceite en todos los componentes internos del motor de combustión entre 4,2 y 4,8 bar	No recircula aceite en todos los componentes internos del motor de combustión entre 4,2 y 4,8 bar
A1.5	Prevenir el desgaste de partes internas del motor, refrigerar el motor, limpiar.	No previene el desgaste
A1.6	Filtrar las partículas que se acumulan en el aceite debido a la operación normal, con capacidad de retención de 34 y 60 micras	No filtra

Tabla 25. Análisis Funcional, Sistema de Refrigeración

COD	FUNCIÓN Y DESEMPEÑO ESPERADO DEL ACTIVO	FALLA FUNCIONAL
A2.1	Enfriar el aceite (170 m ³ /h) (0.6 Mpa) de lubricación de 77,2°C a 65°C y a su vez calentar el refrigerante (140 m ³ /h) (0,18 Mpa) de 46°C a 52.4°C	No ser capaz de enfriar el aceite de lubricación a la temperatura adecuada
	Contener el aceite de lubricación y el agua LT dentro del mismo	Presentar escape de aceite a través de la placa al lado agua (fuga interna)
A2.2	Calentar y recircular el agua > 60°C HT (12,3 m ³ /h) para arranque del motor MG1	No ser capaz de calentar el agua HT cuando se requiere
A2.3	Enfriar el agua del sistema de alta y baja temperatura HT y LT (delta de temp: 10°C)	No ser capaz de enfriar el agua HT y LT a la temperatura adecuada
	Contener el agua de Alta Temperatura HT dentro del radiador	No contener el agua de alta temperatura HT dentro del mismo
	Enfriar el agua del sistema de baja temperatura LT	No ser capaz de enfriar el agua LT a la temperatura adecuada
	Contener el agua de Baja Temperatura LT dentro del radiador	No contener el agua de baja temperatura LT dentro del mismo
A2.4	Direccionar el flujo de agua hacia el motor o hacia el radiador	No actúan, no direccionan flujo
A2.5	Transferir / recircular agua entre el motor y el radiador a una presión de HT: 2-3 bar y LT: 1,2 - 2 Bar	No recircula

Tabla 26. Análisis Funcional, Medidor de Nivel Analógico.

COD	FUNCIÓN Y DESEMPEÑO ESPERADO DEL ACTIVO	FALLA FUNCIONAL
E3.1	Permitir visualización del nivel de agua en la caldera y control de nivel de agua,	No permite visualización ni control.
E3.2	Controlar el nivel a través de señales de apagado y encendido de la bomba de agua.	No controla nivel

6.5. EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS

Para cada una de las fallas funcionales de los componentes de cada sistema, se determinó el tipo de consecuencia en la cual repercute. De esta manera, se determina si la falla es evidente, si genera riesgos para la seguridad o en el medio ambiente o si genera efectos sobre la producción / operación. A continuación, este proceso enfocado en algunos modos de falla de los componentes, la información completa se encuentra adjunta en los anexos.

Tabla 27. Evaluación de las Consecuencias. Sistema de Lubricación

COD	MODO DE FALLA	H	S&E	O
A1.1	Taponamiento entre canales de los platos	NO	SI	NO
	Falla de los rodamientos del motor	NO	NO	SI
	Falla del devanado del motor	NO	NO	SI
A1.2	Daño en el acople motor – bomba	NO	NO	SI
	Daño en el motor eléctrico	NO	NO	SI
	Escape de aceite por el sello mecánico	SI	SI	SI
A1.3	Daño en el acople motor – bomba	NO	NO	SI
	Descalibración de la válvula de seguridad	NO	NO	SI
A1.4	Daño en componentes internos	NO	NO	SI
	Descalibración de válvula de seguridad	SI	SI	SI
A1.5	Deterioro de las propiedades	NO	NO	SI
A1.6	Rompimiento de malla filtrante	NO	NO	SI

Tabla 28. Evaluación de las Consecuencias. Sistema de Refrigeración

COD	MODO DE FALLA	H	S&E	O
A2.1	Obstrucción y/o restricción en el lado de aceite y/o agua LT en el enfriador	NO	NO	SI
	Escape de aceite y/o agua LT por empaques y accesorios,	NO	NO	SI
	Fuga interna	NO	NO	SI
A2.2	Daño en las resistencias eléctricas	NO	NO	SI
	Cero o Bajo flujo de agua a través del calentador. Problema en la bomba, centrifuga	NO	NO	SI
	Daño de electroválvula (entrada y salida) falla al abrir/Cerrar	NO	NO	SI
A2.3	obstrucción interna y/o externo del radiador	NO	NO	SI
	Escape por bridas, empaques y accesorios	NO	NO	SI
A2.4	Daño del posicionador	NO	NO	SI
	Fuga por el cuerpo de la válvula	NO	NO	SI
A2.5	Fuga externa de agua	NO	NO	SI
	Baja presión	NO	NO	SI

Tabla 29. Evaluación de las Consecuencias. Válvulas de tres vías.

COD	MODO DE FALLA	H	S&E	O
E1.1	Fuga externa de fluido utilitario	NO	SI	SI
	Falla al cerrar cuando se requiere	NO	SI	SI
	Falla al abrir cuando se requiere	NO	NO	SI

Tabla 30. Evaluación de las Consecuencias. Bombas de llenado de agua

COD	MODO DE FALLA	H	S&E	O
E4.1	Alta vibración, anormal	NO	NO	SI
	Fuga externa de agua cruda	NO	NO	SI
	Pérdida de aislamiento en el devanado del motor	NO	NO	SI
E4.2	Señal errónea o ausente	NO	NO	SI
E4.3	Señal errónea o ausente	NO	NO	SI
E4.4	Aislamiento de la señal de control	NO	NO	SI
E4.5	Válvulas descalibradas	SI	SI	SI
E4.6	Descalibración	SI	SI	SI
	Ausencia de señal	SI	SI	SI
E4.7	Descalibración	SI	SI	SI
	Ausencia de señal	NO	SI	SI
	Fuga	NO	SI	SI

6.6. DEFINICIÓN DE LA POLÍTICA DE MANTENIMIENTO

Para la propuesta de definición de la política de mantenimiento, se hacen los ajustes en la segunda fase del proceso de la metodología PMO, para lo cual se realizaron reuniones junto a supervisores de mantenimiento y de producción, con una intensidad de 2 horas diarias, 1 vez a la semana. de estas reuniones, se propuso diferentes actividades de mantenimiento, donde se mejoran frecuencias de intervención de los equipos y tiempos de ejecución de cada tarea, el área responsable de realizarlas.

Agregado a esto, se analiza si cada modo de falla se cubre con una tarea de mantenimiento, teniendo en cuenta si son costo – efectivas para el proyecto de cogeneración. Con esto, se proponen tareas más efectivas que las encontradas actualmente en el plan de mantenimiento de la empresa, para reducir los costos de mantenimiento y simplificar tareas que no agregan valor a la operación.

A continuación, se presenta el nuevo plan de mantenimiento propuesto a la compañía con las mejoras, antes mencionadas. (La información se encuentra completa y detallada en los Anexos).1

Tabla 31. Tareas de Mantenimiento propuesta. Sistema de Refrigeración

CO D	TAREA PROPUESTA	FREC (DÍAS)	RESPONSAB LE
A2. 1	Monitorear presión y temperatura para identificar pérdida de eficiencia del intercambiador. Registrar y llevar tendencia.	1	OPERACIONE S
	Inspección visual de bridas, empaques del intercambiador, válvulas y accesorios del intercambiador en busca de fugas	1	OPERACIONE S
	Inspección visual de bridas, empaques del intercambiador, válvulas y accesorios del intercambiador en busca de fugas	1	OPERACIONE S
A2. 2	Medición de ohmios, registrar valor y revisar tendencia, registre temperatura y tiempo de calentamiento.	30	ELEC
	Inspección visual, fugas por cuerpo, bridas y/o sello mecánico, identifique ruidos extraños y reporte y tendencia de temperatura y presión.	30	MEC
	Medición de corriente en cada una de las fases, llevar tendencia y comparar vs corriente nominal.	Mtto por oportu nidad	ELEC
	Medición de aislamiento (Megguero)	365	ELEC
	Inspección visual de las electroválvulas, inspeccionar fugas.	30	ELEC
	Realizar prueba funcional, verificar correcto funcionamiento	30	ELEC
A2. 3	Verificar el delta de temperatura, si es menor a 10 °C realizar lavado del radiador	1	OPERACIONE S
	Inspección visual en busca de fugas Cxto HT y LT	1	OPERACIONE S
	Medición de corriente en cada una de las fases, llevar tendencia y comparar vs corriente nominal.	30	ELEC
	medición de aislamiento (Megguero)	365	ELEC
A2. 4	Pruebas funcionales de los posicionadores, confirmar el ECS (EngineControl System)	30	ELECT
	Inspección visual, verificar la alimentación inspeccione defectos en la acometida de la válvula	30	INST

	Inspección visual, búsqueda de fugas.	1	OPERACIONES
A2.5	Inspección visual en busca de fugas, revisar el testigo de indicación de falla de sello, inspeccionar ruidos extraños.	1	OPERACIONES
	Monitoreo, registro y análisis de tendencia de la presión de la bomba	30	OPERACIONES

Tabla 32. Tarea de Mantenimiento propuesta. Bomba de Llenado de Agua

COD	TAREA PROPUESTA	FREC (DÍAS)	RESPONSABLE
E4.1	Análisis de vibraciones mecánicas.	Trimestral	MEC
	Verificar pernos de sujeción y anclaje. Utilizar torquímetro de acuerdo a fuerza establecida.	Semestral	MEC
	Análisis de vibraciones mecánicas.	Trimestral	MEC
	Inspección visual y ronda operacional, verificar fugas en uniones, bridas y conexiones. Verificar funcionamiento de la bomba, fugas en sello, cambiar de acuerdo a condición	Diario	OPER
	Limpieza de conexiones eléctricas, verificar ajustes (ponchado) y continuidad de conductores. Verificar hermeticidad de la caja de conexión. Tomar registro de variables eléctricas (Tensión, corriente).	Mensual	ELEC
	Inspección de válvulas de venteo, cheques, válvulas manuales, filtros a la entrada de la bomba, prueba funcional de apertura y cierre de válvulas, verificar atascamientos	Semanal	INST
	Inspección visual y ronda operacional, verificar fugas en uniones, bridas y conexiones. Verificar grietas, fisuras, componentes corroídos	Diario	OPER
	Termografía infrarroja a conexiones eléctricas del motor, devanados, acople y rodamientos motor/bomba	Trimestral	ELECT
	Prueba de aislamiento al devanado del motor (Megguero)	365	ELECT

E4.3	Limpieza de electrodos, inspección visual de conectores y pruebas funcionales	Semestral	Instrumentista.
E4.5	Calibración periódica de switch de presión	365	INST
	Realizar prueba funcional del switch y verificar interlock con la válvula tres vías	90	INST
E4.6	Calibración periódica del transmisor	365	INST
	Inspección visual, identificar fugas	1	OPER
	Inspección visual, identificar fugas	1	OPER

7. RESULTADOS

Como se reseñó en las generalidades del proyecto, Axia Energía es una empresa con pocos años de experiencia en el mercado energético y a pesar de que se ejecutan planes de mantenimiento para cada una de sus plantas en cada proyecto de cogeneración, éstos están generados solamente sobre las bases, en las recomendaciones hechas por los fabricantes de sus equipos principales. De esta forma, se cuenta con un plan de mantenimiento sobre los diferentes componentes que es muy generalizado y que no tiene en cuenta diferentes variaciones introducidas por el contexto operacional de cada uno de los diferentes proyectos.

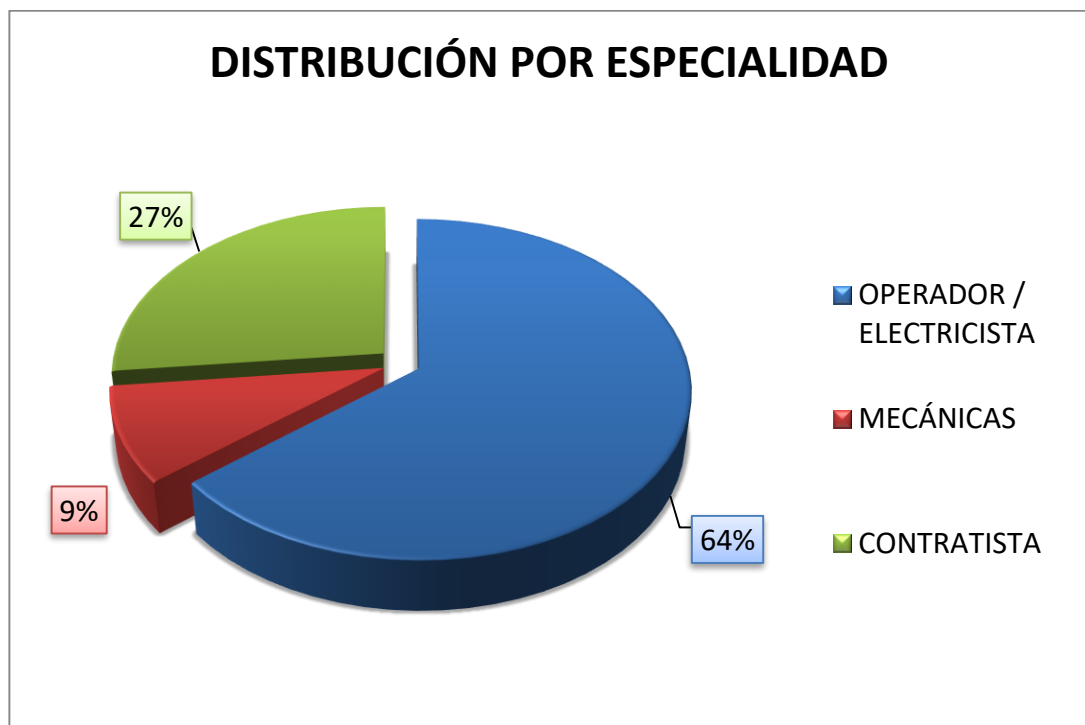
En función del aprovechamiento de las herramientas para el manejo del departamento de Mantenimiento, Axia Energía cuenta con varias particularidades en su plan de mantenimiento, éstas se fueron analizando por medio de las diferentes indagaciones, en busca de la información, que se realizan por medio de la metodología PMO. Una de las particularidades más destacadas es que el proyecto de cogeneración no cuenta con registro estadístico de fallas, por lo que se debe recurrir a la memoria y experiencia del personal involucrado en las reparaciones y actividades de mantenimiento e inspección que se realizan. Por tal motivo, no se puede tener un plan de mantenimiento funcional, capaz de reducir las consecuencias de los modos de falla que más afecten de manera negativa a la empresa.

Agregado a lo anterior, se desconocen o no se maneja un registro de los indicadores propios de la gestión de mantenimiento tales como los tiempos medios entre fallas, disponibilidad, confiabilidad, mantenibilidad de los equipos, entre otros. Esta situación, impide que se puedan manejar datos certeros de los estados de las maquinas; además, no permite optimizar los tiempos y frecuencias de las tareas asignadas de mantenimiento.

Otra condición que se encontró en el desarrollo de la metodología, es que los equipos no cuentan con una hoja de vida, en la cual se pueda encontrar de manera detallada todas las partes de cada uno; por lo cual el análisis funcional y de los modos de falla de cada equipo resulta más complejo por la falta de conocimiento, lo que afecta la capacidad de determinar las consecuencias que se pueden generar debido a la ocurrencia de las fallas.

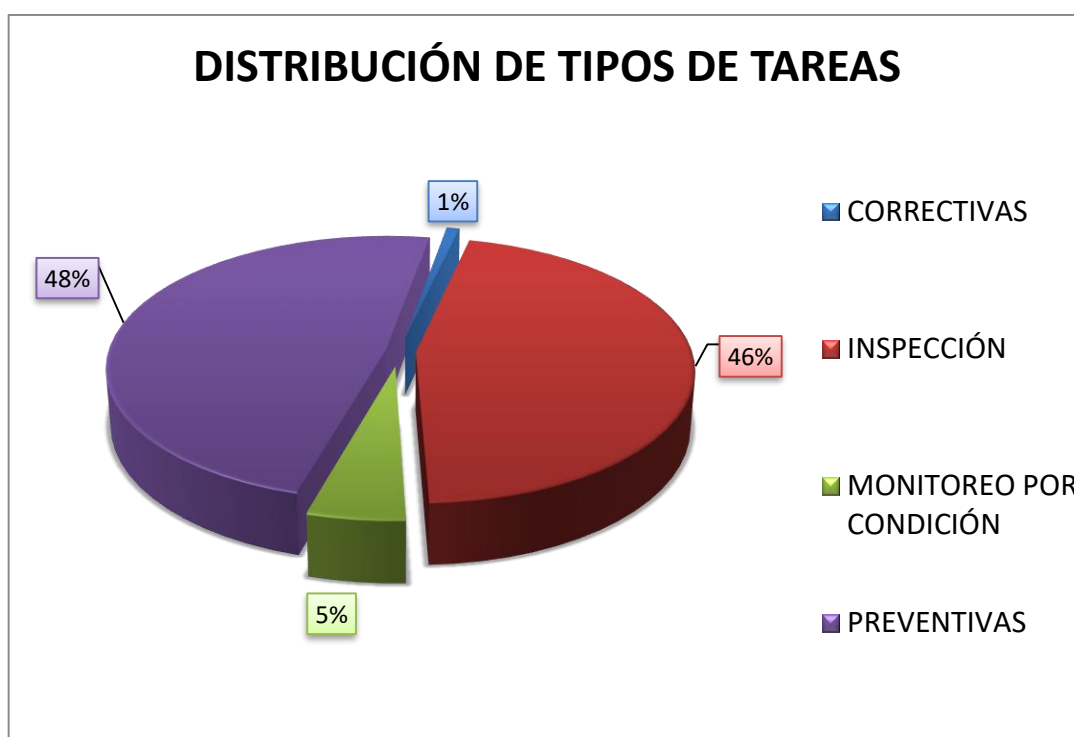
A lo que refiere a la asignación de responsabilidades de tareas, no se define específicamente el perfil del personal necesario para realizar una determinada tarea. Por lo cual, las asignaciones se realizan por áreas, donde la parte operativa / electricista tiene mayor responsabilidad en las tareas de mantenimiento.

Figura 8. Gráfica de Distribución de asignaciones por áreas



Del actual plan de mantenimiento se analizó la distribución de los tipos de tareas que se realizan. En la cual podemos notar que el mantenimiento preventivo es el mayor protagonista, a su vez que las tareas de monitoreo por condición tienen poco desarrollo dentro del plan.

Figura 9. Distribución de las Tareas de Mantenimiento



Dentro de los aportes que se pueden hacer luego del planteamiento del plan de mantenimiento optimizado, se establece el aprovechamiento de los registros de las variables operativas de los equipos como una herramienta de análisis por condición de los mismos equipos, dado que en la actualidad la única acción que se realiza es el registro de diferentes variables como lo son temperaturas y presiones en los cilindros, velocidad de los turbos, temperatura de gases de escape, temperaturas y presiones de los sistemas de refrigeración; los cuales pasan a ser archivadas, sin que pueda generar ningún tipo de procesamiento y por consiguiente ningún aporte a la tarea de mantenimiento.

8. CONCLUSIONES

El análisis de los resultados obtenidos muestra muchas oportunidades de mejora y optimización del plan de mantenimiento actual del proyecto de cogeneración Unibol.

Inicialmente se propone realizar nuevas tareas de mantenimiento enfocadas a evitar la ocurrencia de modos de falla que no se tienen contemplados atacar en el plan de mantenimiento con el que se cuenta en la planta, analizando así un total de 191 modos de falla posibles. Adicional a lo anterior, se propone incluir en el plan de mantenimiento 9 componentes más, para cubrir un total de 88 componentes del sistema.

Para los tableros eléctricos, de potencia y control, se proponen dos tareas de mantenimiento por cada modo de falla; con esto, se genera una propuesta de 203 tareas, las cuales se agrupan en preventivas, de inspección y de monitoreo por condición.

Aunque se considera meritorio, por el tipo de equipos con el que se cuenta en la planta, el plan de mantenimiento actual no contempla muchas rutinas de mantenimiento por monitoreo de condiciones, por eso se puede observar en la Figura 10, como habría un aumento en las tareas de este tipo debido a algunas de las nuevas tareas propuestas.

La propuesta del plan de mantenimiento optimizado incluye una mejoría en la distribución de la asignación de responsabilidades por áreas. El plan de mantenimiento actual descarga la mayoría de las responsabilidades sobre el operador de los equipos. De tal manera, se asignan a los técnicos electricistas un total de 89 tareas, a los técnicos instrumentistas 30 tareas y a los técnicos

mecánicos 40. Por su parte a los operadores de los equipos se les asignan 45 tareas, en su mayoría del tipo inspección.

La propuesta contempla que el porcentaje de tareas de inspección sea superior a las demás, teniendo un 40% de participación, mientras que las tareas preventivas y monitoreo por condición tengan una distribución del 31% y 29%, respectivamente.

A su vez, la especialidad electricista, abarcaría un mayor porcentaje de estas actividades de mantenimiento, equivalente a 44%. La segunda área con más participación es la operativa con un 22% de las asignaciones; mientras que las áreas mecánicas y de instrumentación, quedarían con 19% y 15%, respectivamente.

Con la propuesta de optimización del plan de mantenimiento se busca establecer una metodología que ayude a mejorar la productividad de la compañía desde el área de mantenimiento. Todas las oportunidades de mejora que se pudieron obtener por medio de esta propuesta deben ser socializadas con todo el personal involucrado en el mantenimiento de estos equipos, con el objetivo de obtener un compromiso para la correcta realización de las tareas, además de la importancia de archivar la información pertinente a cada falla y tarea de contingencia realizada.

Es de vital importancia para que el proyecto cuente con un plan de mantenimiento robusto y completo, que los análisis de modos de falla sean tenidos en cuenta en base a las condiciones operacionales y no en base a los manuales del proveedor. Si bien estos manuales marcan un camino a seguir, estos son muy generales y las condiciones operacionales hacen que muchas variables se comporten de manera diferente.

Habiendo analizado e incluido equipos y modos de falla que no estaban cubiertos por el plan de mantenimiento actual, se ayudó a disminuir los riesgos asociados a la falla de estos equipos y del proyecto como tal, dándole la posibilidad de aumentar la disponibilidad y confiabilidad del mismo.

La optimización del plan de mantenimiento del proyecto de cogeneración Unibol se realizó implementando talleres con el personal del proyecto. En su mayoría se realizó con dos de los operadores que también fungen como electricistas del mismo. A través de este proceso, se garantizó la transferencia del conocimiento de la metodología al personal de la planta, lo cual se evidenció en las últimas etapas; estos talleres fueron implementados inicialmente sobre el motor Hyundai y la caldera, para luego solicitarle a estos operadores y al supervisor de la planta, que realizaran el mismo análisis de forma autónoma, a los equipos en el Cuarto de Potencia y Cuarto de Control.

BIBLIOGRAFIA

- 1) BALLESTEROS CORREA. FREDDY Metodología para implementar modelo de confiabilidad basado en PMO para concretos argos S.A. Tesis modalidad monografía. Bucaramanga. 2012.
- 2) BORRÁS PINILLA, B. P. (s.f.). Mantenimiento Preventivo, Especialización en Gerencia del Mantenimiento. BUCARAMANGA, COLOMBIA: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.
- 3) CHICA, G. H., & Hernandez, J. G. (2009). MODELO PARA IMPLEMENTACIÓN DE PMO (PLANNED MAINTENANCE OPTIMIZATION). Recuperado de <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/4331>
- 4) INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Tesis y Otros Trabajos de Grado. Bogotá: Icontec.2002.
- 5) KARDEK, A., NASCIF, J. Mantenimiento, Función Estratégica, CIP Brasil, Rio de Janeiro, 2002
- 6) LAFRAIA, J. R Manual de confiabilidade, Manutenabilidade e disponibilidade, Qualitymark Editora, 2001.
- 7) MESA, D. H., Pinzón, M. P., & Ortiz, Y. O. (2006). La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. Scientia et Technica, ISSN 0122-1701, 1(30), 155–160.

- 8) MOUBRAY, John; PÉREZ, Carlos Mario. Mantenimiento Centrado en confiabilidad. Aplicación e Impacto. 2003
- 9) OLIVEROS, J. C., & HENRIQUEZ, V. (2016). PLAN DE MANTENIMIENTO PILOTO BASADO EN PMO PARA EL SISTEMA CON MAYOR CRITICIDAD EN UN BARCO REMOLCADOR DE LA EMPRESA INTERTUG S.A. Recuperado de http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/pags/cat/popup/pa_detalle_matbib_N.jsp?parametros=177724|%20|1|2
- 10) OMCS, & Turner, S. T. (2000). PLAINED MAINTENANCE OPTIMISATION. Recuperado de https://www.maintenance.org/fileSendAction/fcType/.../PMO_Analisis_del_futuro.pdf