

PROPUESTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DEL
SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGIA ELECTRICA DE LA ESTACIÓN EL
PORVENIR

CARLOS ALBEIRO CUCANCHON CARDENAS
BRAYAN ALEXANDER OROZCO BARRERA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2018

PROPUESTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DEL
SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGIA ELECTRICA DE LA ESTACIÓN EL
PORVENIR

CARLOS ALBEIRO CUCANCHON CARDENAS
BRAYAN ALEXANDER OROZCO BARRERA

MONOGRAFIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN GERENCIA DE
MANTENIMIENTO

DIRECTOR
VLADIMIR ESCOBAR ORDOÑEZ
ING. ELECTRONICO ESP. EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2018

DEDICATORIA

A Dios quien renueva mis fuerzas y me lleva a cumplir una de mis más anheladas metas.

A mi esposa por ser mi apoyo incondicional y mi ayuda en todas las etapas de la vida.

A mis hijos por ser causa de mi esfuerzo y mi principal fuente de inspiración

A mis padres por enseñarme que a través del esfuerzo se pueden alcanzar todas las metas y los objetivos que se tengan en la vida.

Carlos Albeiro Cucanchón C.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primero que todo a Dios, por darme fuerza y entendimiento para alcanzar este logro, por guiarme y acompañarme siempre en el camino hacia mis metas.

A mis padres, Omar y Patricia, por su apoyo incondicional y motivación a lo largo de este arduo proceso . Por su ejemplo de constancia y sacrificio.

A mi hermana, Evelyn, por su gran apoyo emocional consejos y compañía a lo largo de esta etapa.

A mi novia, Laura, por estar siempre a mi lado motivándome y alentándome.

Brayan Alexander Orozco B.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

La empresa mecánicos asociados – masa, (consocio masa-vipeca) por proporcionarnos acceso a la información requerida que permitió desarrollar este trabajo.

Al ingeniero Vladimir Escobar por su apoyo y compromiso en la dirección de este trabajo.

A los docentes del programa por proporcionarnos los conocimientos necesarios para poder plantear y desarrollar esta monografía

A nuestras familias por su importante e incansable apoyo y motivación, por sus sugerencias y recomendaciones sobre el trabajo realizado.

CONTENIDO

| | Pág |
|---|-----|
| INTRODUCCIÓN | 17 |
| 1 GENERALIDADES DEL PROYECTO. | 18 |
| 1.1. CONTEXTO DE LA EMPRESA | 18 |
| 1.1.1. Estación de Generación el Porvenir..... | 20 |
| 1.1.2. Contexto Operativo | 21 |
| 2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 23 |
| 2.1. Demanda Futura | 23 |
| 2.2. OBJETIVOS..... | 24 |
| 2.2.1. Objetivo General. | 24 |
| 2.2.2. Objetivos Específicos..... | 24 |
| 2.3. JUSTIFICACION DEL PROYECTO | 24 |
| 3 MARCO TEORICO | 26 |
| 3.1. EL MANTENIMIENTO EN LAS EMPRESAS | 26 |
| 3.2. EVOLUCION DEL MANTENIMIENTO | 26 |
| 3.3. PMO 2000™ (Planned Maintenance Optimization) | 28 |
| 3.3.1. Pasos del PMO 2000 | 31 |
| 3.4. ANÁLISIS DE CRITICIDAD | 39 |
| 4 MARCO NORMATIVO | 42 |
| 4.1. ISO 14224..... | 42 |
| 4.2. NORSOK Z-008 | 44 |
| 5 RECOLECCION Y TRATAMIENTO DE INFORMACIÓN | 46 |
| 5.1. DIAGNÓSTICO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL..... | 46 |
| 6 ÁRBOL DE EQUIPOS | 50 |
| 7 ANÁLISIS DE CRITICIDAD | 54 |

| | |
|--|----|
| 7.1. DEFINICION DE LA MATRIZ RAM..... | 54 |
| 7.2. MATRIZ DE CRITICIDAD | 60 |
| 8 OROPUESTA DE MEJORA..... | 63 |
| 8.1. OPORTUNIDADES DE MEJORA..... | 63 |
| 8.1.1. Según el diagnóstico del plan actual..... | 63 |
| 8.1.2. Según el árbol de equipos | 65 |
| 8.1.3. Según el análisis de criticidad..... | 65 |
| 8.2. DIAGRAMA DE DECISION..... | 69 |
| 9 CONCLUSIONES | 73 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Diagnóstico del plan de mantenimiento actual basado en SAP | 47 |
| Tabla 2 Descripción base para jerarquización de equipos del sistema de generación de la estación Porvenir. | 51 |
| Tabla 3 Distribución de ítems según la matriz de criticidad | 62 |
| Tabla 4 Equipos críticos que no cuentan con un plan de mantenimiento. | 66 |
| Tabla 5 Equipos a los que se debe realizar un PMO | 71 |
| Tabla 6 Agrupación de equipos críticos para realización de PMO..... | 71 |
| Tabla 7 Equipos críticos recomendados para realizar AMEF | 72 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Logo de mecánicos asociados – masa..... | 18 |
| Figura 2 Vista de la estación de generación El porvenir – Páez..... | 21 |
| Figura 3. Vista aérea de la estación de generación El porvenir – Páez..... | 22 |
| Figura 4. 1Evolución del mantenimiento | 27 |
| Figura 5. Ciclo reactivo del mantenimiento. | 30 |
| Figura 6. Pasos del PMO 2000™ | 31 |
| Figura 7. Fuentes de información del PMO | 32 |
| Figura 8. Ejemplo tabla para análisis modos de falla. | 33 |
| Figura 9. Ejemplo racionalización y revisión del FMA..... | 34 |
| Figura 10. Ejemplo análisis funcional..... | 35 |
| Figura 11. Ejemplo modelo para evaluación de consecuencias. | 35 |
| Figura 12. Flujograma metodología PMO 2000™..... | 39 |
| Figura 13 Árbol de quipos – Taxonomía. | 43 |
| Figura 14 Definiciones Jerárquicas..... | 44 |
| Figura 15 Hoja de Excel estructura piramidal para jerarquización de equipos según ISO14224..... | 52 |
| Figura 16 Hoja de Excel consolidado jerarquización de equipos ISO14224..... | 53 |
| Figura 17 Criterio de evaluación de la probabilidad en la matriz RAM..... | 55 |
| Figura 18 Criterios de valoración del impacto a la salud y seguridad de personas en la matriz RAM | 55 |
| Figura 19 Criterios de valoración del impacto económico en la matriz RAM | 56 |
| Figura 20 Criterios de valoración del impacto sobre el ambiente en la matriz RAM | 57 |
| Figura 21 Criterios de valoración del impacto social en la matriz RAM | 57 |
| Figura 22 Criterios de valoración del impacto a la imagen y reputación en la matriz RAM..... | 58 |
| Figura 23 Niveles de criticidad de la matriz RAM..... | 59 |
| Figura 24 Matriz de valoración de riesgos RAM 2018 (masa) | 60 |

| | |
|--|----|
| Figura 25 Vista de la matriz de criticidad de equipos principales..... | 61 |
| Figura 26 Estado actual de la gestión de mantenimiento. | 64 |
| Figura 27 Estado de equipos críticos en el plan de mantenimiento actual | 66 |
| Figura 28 Estado de equipos esenciales en el plan de mantenimiento actual | 67 |
| Figura 29 Estado de equipos No críticos en el plan de mantenimiento actual | 68 |
| Figura 30 Diagrama de decisión propuesto para el mejoramiento de la estrategia | 70 |

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. JERARQUIA_DE_EQUIPOS_ISO14224

ANEXO B. ANÁLISIS_DE_CRITICIDAD

ANEXO C. AMEF_EQUIPOS_CRITICOS_SIN_PLAN

RESUMEN EN ESPAÑOL

TITULO: PROPUESTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGIA ELECTRICA DE LA ESTACIÓN EL PORVENIR*.

AUTORES: CARLOS ALBEIRO CUCANCHON CARDENAS
BRAYAN ALEXANDER OROCO BARRERA**

PALABRAS CLAVE: Criticidad, Diagnóstico, Jerarquización, Mantenimiento, Mejora, Planeado, Propuesta.

DESCRIPCION:

La presente monografía tiene como objetivo presentar una propuesta para mejoramiento del plan de mantenimiento actual del sistema de generación de la estación El Porvenir basado en la metodología PMO2000™, la presentación de una propuesta de mejora al plan de mantenimiento actual surge gracias a la sugerencia del ingeniero de confiabilidad de la estación quien detectó que algunos equipos presentan fallas que pueden ser evitadas si se mejora el mantenimiento planeado.

Para la elaboración de la propuesta de mejora se comienza por realizar un diagnóstico al plan actual, recopilando y analizando la información almacenada en las bases de datos del software SAP, acerca de la programación y ejecución del mantenimiento planeado. Seguidamente se realiza una jerarquización de equipos con base en la norma ISO 14224 para facilitar su identificación y clasificación dentro de la organización.

Con base en el árbol de equipos, resultado de la jerarquización, se identifican los equipos principales para la operación del sistema, seguidamente se realiza un análisis de criticidad sobre el cual se basará la decisión de realizar una mejora en la estrategia de mantenimiento siguiendo los lineamientos de la metodología PMO2000™.

Finalmente se presentan las recomendaciones de mejora para la estrategia de mantenimiento actual en aspectos como: rutinas de mantenimiento faltantes o no programadas, equipos no incluidos en la lista de equipos cargada en SAP, falta de rutinas de mantenimiento para algunos equipos, entre otros.

* Monografía de especialización

** Facultad de ingenierías físico-mecánicas. Especialización en gerencia de mantenimiento. Director: Vladimir Escobar Ordoñez, ingeniero electrónico – especialista en gerencia de mantenimiento.

ABSTRACT

TITLE: PROPOSAL FOR THE OPTIMIZATION OF THE MAINTENANCE PLAN OF THE ELECTRICAL ENERGY GENERATION SYSTEM OF EL PORVENIR STATION *.

AUTHORS: CARLOS ALBEIRO CUCANCHON CARDENAS
BRAYAN ALEXANDER OROCO BARRERA**

KEYWORDS: Classification, Criticality, Diagnosis, Maintenance, Improvement, Planned, proposal.

DESCRIPCION:

This monograph aims to present a proposal to improve the current maintenance plan of the Porvenir station system based on the PMO2000™ methodology, the presentation of a proposal for improvement to the current maintenance plan arising from the suggestion of the engineer of reliability of the station who detected fault systems that can be avoided to improve planned maintenance.

The elaboration of the improvement proposal is carried out through a diagnosis of the current plan, the collection and analysis of the information stored in the SAP software databases, about the programming and execution of the planned maintenance. A hierarchy of equipment is then carried out based on the ISO 14224 standard to facilitate its identification and classification within the organization.

Based on the tree of the teams, as a result of the hierarchy, the main teams are identified for the operation of the system, followed by an analysis of the criticism on which the decision to carry out an improvement in the maintenance strategy will be based. the guidelines of the PMO2000™ methodology.

Finally, we present the improvement recommendations for the current maintenance strategy in aspects such as missing or unscheduled maintenance routines, equipment not included in the list of equipment loaded in SAP, lack of maintenance routines for some equipment, among others.

* Specialization monograph.

** Faculty of Engineering Physical - Mechanical. Specialization in maintenance management. Director: Vladimir Escobar Ordoñez, Electronic Engineer – maintenance management specialist.

INTRODUCCIÓN

En el ámbito industrial día a día se hace más sentida la necesidad de mejorar los estándares en términos de seguridad, medio y productividad de las instalaciones y sus procesos, lo que obliga a incorporar nuevas tecnologías que brinden aumentos de productividad y eficiencia en las compañías para que puedan lograr sus objetivos estratégicos. En el ámbito internacional las compañías han empezado a dar un rol diferente al área de mantenimiento, pasando de ser una dependencia que debía existir por obligación a ser parte estructural de la organización aportando a la rentabilidad de la misma y generando valor mediante la estructuración de sus procesos e implementando procesos de mejora continua en su funcionamiento.

La generación de energía eléctrica es un proceso de etapas en línea, lo que significa que todos los eslabones de la cadena están enlazados en el momento de la operación, los equipos eléctricos de bombeo de la estación Porvenir se alimentan únicamente con la energía producida por las dos unidades de generación a gas instaladas en campo. En el marco de un proyecto para aumento de la eficiencia y mejoramiento de la estación se aumentará la carga instalada lo que aumentará de manera directa la demanda de energía sobre los generadores, obligando a cambiar la filosofía de operación de los mismos, que ahora deberán opera con una disponibilidad total y una altísima disponibilidad.

Dentro de la estrategia actual de mantenimiento implementada por la organización se detectan varias falencias que bajo las nuevas condiciones de operación impactan drásticamente las metas de confiabilidad y disponibilidad, es por esto que este trabajo se realiza un diagnóstico de estas falencias, se identifican las oportunidades de mejora para cada una de ellas y se propone un plan de mejoramiento para el plan de mantenimiento actual.

1 GENERALIDADES DEL PROYECTO.

1.1. CONTEXTO DE LA EMPRESA

Como lo referencia HERNANDEZ¹ Mecánicos Asociados (MASA) nació hace 30 años en el departamento del Huila, como respuesta a las oportunidades que ofrecía el sector petrolero en la región. En un medio de fuertes competidores con mayor trayectoria y experiencia en este gremio, se dio inicio a un proceso de crecimiento y desarrollo sostenible, paulatinamente se fue adquiriendo el conocimiento para especializarse en los servicios de operación y mantenimiento eléctrico, electrónico y mecánico, tanto preventivo como correctivo, para así comenzar operaciones con Hocol S.A

Figura 1. Logo de mecánicos asociados – masa.



Fuente. <https://latam.businesschief.com/MASA-y-STORK/profiles/210/MASA-y-STORK:-confiabilidad-en-manejo-y-cuidado-de-activos-para-sectores-de-minera-oil-gas-energia-y-petroquimica>.

Tras varios años de operaciones, se ampliaron las fronteras y se empezaron a desarrollar proyectos en diferentes zonas del país, con clientes como *Occidental*

¹ HERNÁNDEZ, Saúl. Metodología para optimizar la gestión de mantenimiento basado en PMO para las plantas y centros de generación Tello y Dina bajo ibm-maximo. Bucaramanga, 2016. P.15

Petroleum Corporation, Petrobras y Ecopetrol, manteniéndose en el sector de hidrocarburos. Sólo hasta 1993 la compañía obtiene el primer contrato de mantenimiento electromecánico, latonería y pintura de equipo de soporte minero con Cerrejón, lo que le abriría las puertas a una nueva industria.

Con la llegada de un nuevo siglo, la compañía se enfrentó a nuevos retos y desafíos, lo que implicó un gran esfuerzo para prepararse, mejorar sus procesos y ampliar el portafolio de servicios, de tal manera que lograra mantenerse en el mercado y sobresalir en medio de un gremio altamente competitivo. Ejemplo de esto fue la creación de la unidad de negocio Proyectos y Construcciones en el 2002, dedicada a la realización de proyectos desde su concepción hasta la puesta en marcha, garantizando altos estándares de calidad y eficiencia para los clientes. Para el 2004 la compañía inició operaciones en plataformas off-shore con Chevron, única compañía operadora con plataformas marinas en el país. La adjudicación de dicho contrato, el cual incluye el soporte a la operación y mantenimiento de las instalaciones de producción de las plataformas Chuchupa A y Chuchupa B de la concesión de la Guajira; ha significado para MASA tener una experiencia exportable a otros países de la región que puedan requerir de estos servicios en un futuro cercano.²

Hoy en día, MASA pertenece en su totalidad a la multinacional holandesa Stork Technical Services, lo que le ha permitido ampliar los conocimientos y recursos para fortalecer su posicionamiento en el mercado no sólo nacional sino internacional, liderando en seguimiento y apoyo constante en la gestión integral de activos de sus clientes. Es así como MASA le apuesta a seguir creciendo, a contribuir al desarrollo y progreso tanto de sus empleados y clientes, como del país y Latinoamérica, desarrollo que viene de la mano de la experiencia y posicionamiento ganado en el mercado en casi 30 años de historia construidos por MASA y con la trayectoria y

² *Ibíd.*, p.16

conocimiento de más de un siglo que Stork Technical Services tiene en tres continentes.

1.1.1. Estación de Generación el Porvenir La planta de generación de la estación Porvenir fue puesta en servicio en el mes de septiembre del año 2016 como parte del proyecto de expansión y optimización en el Oleoducto central.

Está equipada con dos unidades SGT-400 de instalación móvil, los dos (2) turbogeneradores (GE), identificados como GE-22110/22120 son equipos esenciales de generación de energía eléctrica en la planta y están diseñados para operar al aire libre.

El aire necesario para la combustión se toma del ambiente por medio de un sistema de admisión que incluye un sistema de filtrado del aire. Este caudal de aire se introduce en un compresor de flujo axial multi-etapa, donde se eleva su presión hasta la requerida por el sistema de combustión.

Los gases generados en la combustión, con un alto contenido energético, se expanden a través de las etapas de la turbina, transformándose la energía térmica de estos gases calientes en energía mecánica, la cual es transmitida por medio del eje del rotor al generador eléctrico, transformándose ésta en energía eléctrica.

Figura 2 Vista de la estación de generación El porvenir – Páez



1.1.2 Contexto Operativo: El sistema de generación de la estación Porvenir cuenta con dos turbogeneradores SGT-400 con una capacidad de 12,9 MW ISO cada uno. Estos generan energía eléctrica con un nivel de tensión de 13,8 KV el cual se reduce a 6,9 KV a través de 2 transformadores de 15 MVA, para que aguas abajo se distribuyan en un SWG de dos barras con acople en donde se realiza el sincronismo de las unidades si la operación así lo requiere. El SWG está compuesto por 13 Celdas, dos de entrada de energía proveniente de los turbogeneradores, una celda en la cual se encuentra la frontera comercial o la salida de energía de la estación, la celda de acople, 7 reservas para salidas futuras y otra celda por la cual se energiza un transformador reductor a 480 Vac desde el cual se alimentan todos los sistemas auxiliares de la estación como son: el sistema de aire de instrumentos, el sistema de bombeo de agua y los dos centros de control de motores para los auxiliares de las unidades turbogeneradoras. Estos sistemas auxiliares cuentan con un generador Black start para su sustento ante eventos de salida de operación, fallas de los turbogeneradores y arranques desde cero del sistema. El generador

Black start es el encargado de suministrar energía a los sistemas auxiliares hasta que los turbogeneradores se encuentren en la capacidad de suministrar energía al sistema. De acuerdo a la filosofía de operación, el sistema actualmente está concebido para generar 10 MW, es decir, que una de las unidades puede satisfacer la energía demandada sin inconvenientes, mientras la otra se encuentra disponible como respaldo para el sistema.

Figura 3. Vista aérea de la estación de generación El porvenir – Páez



2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Demanda Futura

En estos momentos la estación se encuentra en un proceso de optimización y mejoramiento, dentro del cual se ejecutará un proyecto de reemplazo de bombas diésel por bombas eléctricas, este cambio hará que la carga del sistema eléctrico aumente de 10 MW a 20 MW, una vez el proceso de montaje llegue a su fin, dará paso a la etapa de operación productiva del sistema de generación, en la cual se requieren las dos unidades turbogeneradoras operando en línea las 24 horas del día, los 7 días a la semana.

Con esta nueva configuración operativa del sistema de generación, se requiere de una alta disponibilidad y confiabilidad de los equipos. Adicional a esto, el tiempo de operación del sistema ha permitido evidenciar que no existe una jerarquización de los equipos que permita dar prioridad en los mantenimientos realizados a los equipos que son primordiales para la operación, lo que ha llevado a tener fallas que pueden ser evitadas si se cuenta con una estrategia de mantenimiento más idónea para cada sistema y subsistema.

Esto ha expuesto la necesidad de realizar una optimización del plan de mantenimiento que permita preservar la vida útil de los equipos y su funcionalidad, garantizando siempre la alta disponibilidad del sistema para cumplir con el objetivo establecido por la operación.

2.2. OBJETIVOS

2.2.1. Objetivo General. Proponer un plan de mejoramiento basado en PMO que permita optimizar la estrategia de mantenimiento del sistema de generación de la estación el Porvenir.

2.2.2. Objetivos Específicos

- Auditar el plan de mantenimiento actual con el fin de identificar sus posibles falencias usando como guía la metodología PMO2000™.
- Clasificar e identificar los equipos del sistema de generación de acuerdo a lo establecido en la norma ISO 14-224.
- Realizar un análisis de criticidad a los equipos principales del sistema de generación y de esta forma poder identificar los equipos a tener en cuenta en el desarrollo futuro de un PMO.
- Identificar y presentar las oportunidades de mejora para la estrategia de mantenimiento actual.
- Proponer un plan de mejoramiento para la estrategia de mantenimiento actual basado en las oportunidades de mejora identificadas alineadas con la metodología PMO2000™.

2.3. JUSTIFICACION DEL PROYECTO

El alto desarrollo tecnológico que ha venido ocurriendo en los últimos años nos ha llevado a que actualmente los procesos productivos industriales sean movidos principalmente por la energía eléctrica llevando a que los sistemas de generación de energía cuenten con un plan de mantenimiento que garantice una alta confiabilidad y disponibilidad, ya que, constantes fallas y salidas del suministro de energía se ven traducidos en altas pérdidas económicas y productivas para los clientes, así como posibles reclamaciones y demandas.

Actualmente el sistema de generación de la estación el porvenir se encuentra en una fase de optimización y mejoramiento, dentro de la cual se desarrolla un proyecto que aumentará la carga instalada de la estación, por lo que consecuentemente aumentará la demanda de energía eléctrica del sistema, causando que la operación de los dos turbogeneradores sea constante.

El presente documento tiene como propósito fundamental optimizar el plan de mantenimiento planeado de la estación de generación de energía eléctrica el Porvenir, así como establecer un nivel jerárquico de los equipos que permita realizar una correcta evaluación de su criticidad que permita ajustar las actividades de mantenimiento a los requerimientos operativos de forma tal que se pueda garantizar la confiabilidad, disponibilidad y eficiencia del proceso productivo en el nivel más alto posible.

3 MARCO TEORICO

3.1. EL MANTENIMIENTO EN LAS EMPRESAS

Dentro del campo del mantenimiento, en especial del mantenimiento preventivo es robusta la información desarrollada orientada a la mejora de las estrategias de mantenimiento, esto tendiente a mantener una alta confiabilidad y disponibilidad de los equipos, lo cual impacta de manera positiva y directa la producción.³

Dentro del pensamiento actual frente al mantenimiento se maneja el concepto de que el mantenimiento es una inversión y no un gasto, como solía verse décadas atrás, lo anterior afirma que el pensamiento de las compañías ha cambiado y hoy se piensa en tener una mejora continua en la gestión del mantenimiento.

Las organizaciones industriales existen para generar un beneficio; usan equipos y mano de obra para transformar materias primas en productos acabados de mayor valor. El mantenimiento está relacionado con la rentabilidad a través de la productividad de los equipos y el gasto de explotación.

Los trabajos de Mantenimiento elevan el nivel de rendimiento de los equipos y su disponibilidad, pero al mismo tiempo incrementan los gastos de la operación. El objetivo de un departamento de mantenimiento industrial debe ser la consecución del equilibrio óptimo entre estos factores⁴.

3.2. EVOLUCION DEL MANTENIMIENTO

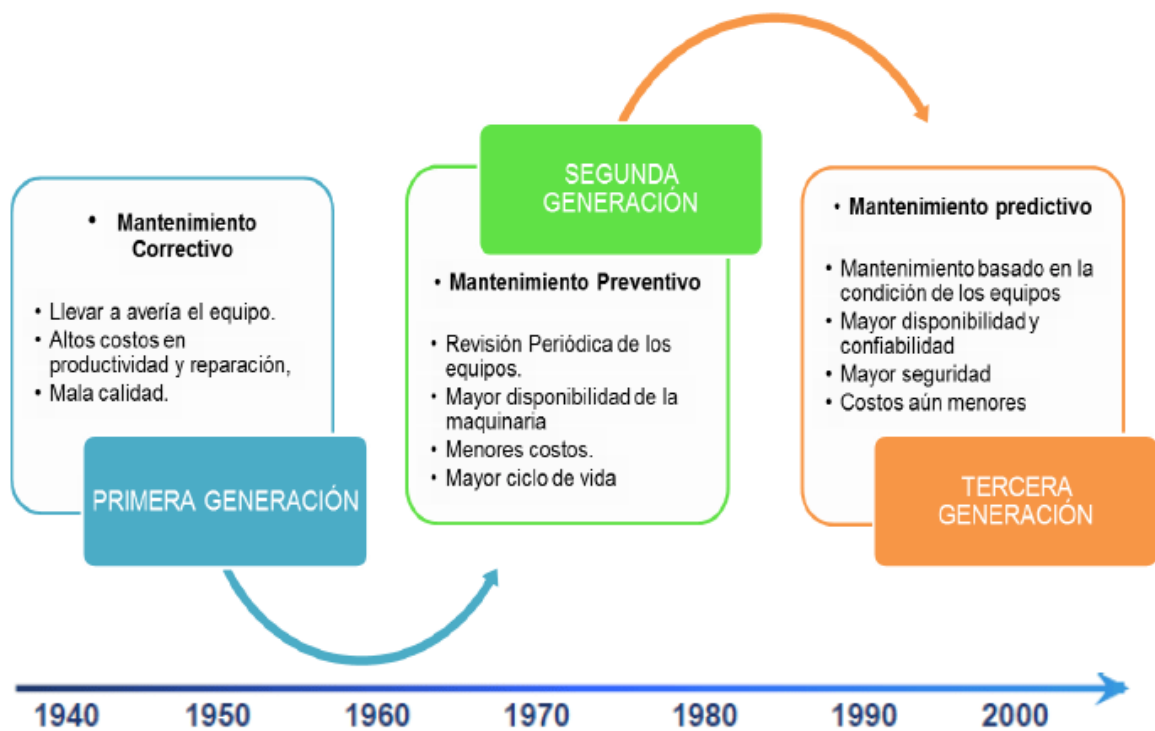
El mantenimiento se define como un conjunto de cuidados permanentes que se observan en las máquinas y equipos para conservar sus mecanismos y su precisión por largo tiempo. Además, se puede describir como el conjunto de observaciones, revisiones, ajustes, cambios y reparaciones que se ejecutan sobre una máquina y/o

³ GUERRERO ORTEGA, Mónica del pilar. Optimización de planes de mantenimiento basados en la metodología PMO para los sistemas principales de una locación remota de producción de gas. Trabajo de grado especialización en gerencia de mantenimiento. Bucaramanga: Universidad industrial de santander, 2017, p.48.

⁴ HERNANDEZ. Op. cit, p.23

proceso para alargar su vida útil y reducir costos de operación y producción. Una máquina sólo puede ser eficiente en su trabajo cuando éste también resulta económico. Para contextualizar el estado actual del mantenimiento es preciso dar una mirada a su evolución, en la Figura 3 se presenta un resumen de esta evolución con las principales características desarrolladas en cada etapa.

Figura 4. 1Evolución del mantenimiento



Fuente. Optimización de planes de mantenimiento basados en la metodología PMO para los sistemas principales de una locación remota de producción de gas. Trabajo de grado especialización en gerencia de mantenimiento. Bucaramanga: Universidad industrial de Santander.

Las nuevas tendencias en gestión de activos promueven que los procesos de gestión de mantenimiento posean metodologías óptimas para la planeación y

ejecución de los programas de mantenimiento, para garantizar que los equipos pueden tener una mayor mantenibilidad y disponibilidad operacional.

En la industria se implementan de forma predominante dos técnicas para la planeación y ejecución de mantenimiento, con el objetivo principal de optimizar sus procesos de gestión, las cuales son:

- RCM (Reliability Centered Maintenance) (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad)
- PMO (Optimización de mantenimiento planeado)

En el desarrollo de este trabajo se plantea usar elementos relevantes de ambas técnicas, partiendo de un análisis de criticidad para finalmente proponer una opción de mejora al plan de mantenimiento basada en los conceptos del PMO 2000.

Se tiene referencia de varios trabajos desarrollados en torno a la implementación o propuesta de implementación de PMO 2000 en el mismo campo o en áreas similares, es decir, generación eléctrica, más exactamente en generación eléctrica usando turbinas de gas en las cuales se han propuesto o implementado planes programas de mejora en mantenimiento basados en PMO 2000

3.3. PMO 2000™ (Planned Maintenance Optimization)

Estadísticas comparadas de encuesta sobre eficacia del mantenimiento en procesos industriales, han demostrado que existen Problemas con la mayoría de los programas de Mantenimiento Preventivo a pesar de que los responsables de su administración cumplen estrictamente los calendarios y sus ejecuciones, tanto en plantas, procesos y flotas de equipos.

El problema más común con los programas de mantenimiento de las plantas maduras que no fueron diseñados sólidamente desde un principio, es que entre el 40% y 60% de las tareas de Mantenimiento Preventivo hacen muy poco por el

desempeño de la planta (Moubray 1997). Las conclusiones de varios estudios de PMO son:

- Existen tareas duplicadas.
- Algunas tareas se hacen muy frecuentemente y otras muy distantes.
- Algunas tareas no generan beneficios más bien acumulan gastos.
- Algunas tareas son intrusivas o basadas en *overhauls*, cuando deberían ser basadas en condición.
- Se presentan muchas fallas que son costosas y fácilmente han podido ser prevenibles.⁵

Es un método diseñado para revisar los requerimientos de mantenimiento, el historial de fallas y la información técnica de los activos en operación. La teoría básica del PMO parte del análisis del ciclo reactivo del mantenimiento mostrado en la figura 5⁶.

⁵ OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PLANEADO – PMO (Planned Maintenance Optimization) [En línea] (recuperado en 8 de octubre 2018) Disponible en <https://www.ipeman.com/cursos/2009/enero/26-27/articulo.doc>

⁶ TURNER, Steve. MBA. OMCS.PM Optimization Programs Maintenance, Analysis for Results. 2002. (Recuperado en 12 de junio 2018) Disponible en Internet: info@omcsinternational.com, <https://www.maintenance.org/topic/comparingrcm-with-pmo2000>

Figura 5. Ciclo reactivo del mantenimiento.



Fuente. OMCS. PM Optimization Programs Maintenance

El PMO facilita el diseño de un marco de trabajo racional y rentable cuando un sistema de PM está consolidado y los equipos están bajo control. Esto implica una buena experiencia en hacer mantenimiento planeado. A partir de ahí, las mejoras se pueden alcanzar fácilmente con la adecuada asignación de recursos y el personal de mantenimiento puede enfocar sus esfuerzos en los defectos de diseño de la planta y equipos, o en las limitaciones operativas⁷.

Un sistema PMO es base para una ingeniería de confiabilidad efectiva y para la adecuada eliminación de defectos, teniendo en cuenta que:

- Se reconocen y resuelven con la información exacta.
- Se logra un efectivo uso de los recursos.
- Se mejora la productividad de los operarios y del personal de Mantenimiento.

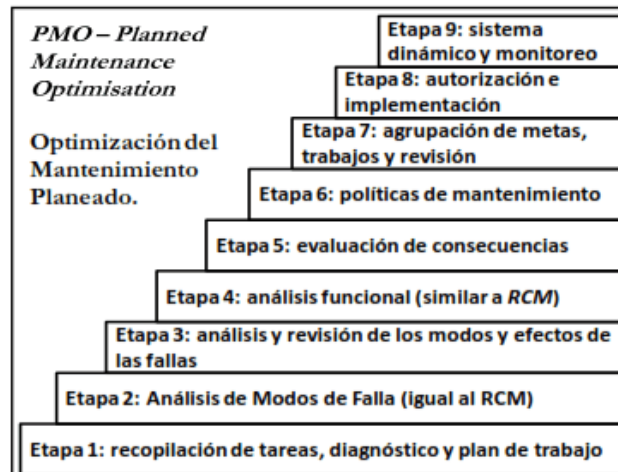
⁷ BALLESTEROS CORREA, Freddy. "Metodología para Implementar Modelo de Confiabilidad Basado en PMO para Concretos Argos S.A.". Trabajo de Grado presentado ante la Universidad Industrial de Santander, para optar al Grado de Especialista en Gerencia de Mantenimiento. 2012. P. 35

- El sistema se adapta a las situaciones y los objetivos específicos de cada cliente.
- La optimización del PM motiva al personal.

Mientras que el PMO utiliza el historial de fallas existentes como una entrada en la revisión de actividades del PM, reconoce que en la gran mayoría las empresas, la información contenida en sistemas CMMS, tiende a ser inexacta e incompleta. La fuerza fundamental de un programa de PMO es que todas las acciones de Mantenimiento tienen valor agregado y que el sistema motiva mejoras en muchos otros aspectos del manejo de los activos físicos de la empresa, aparte de los análisis básicos de mantenimiento.

3.3.1. Pasos del PMO 2000 En el PMO se reconocen 9 pasos los cuales se muestran en la figura 6

Figura 6. Pasos del PMO 2000™

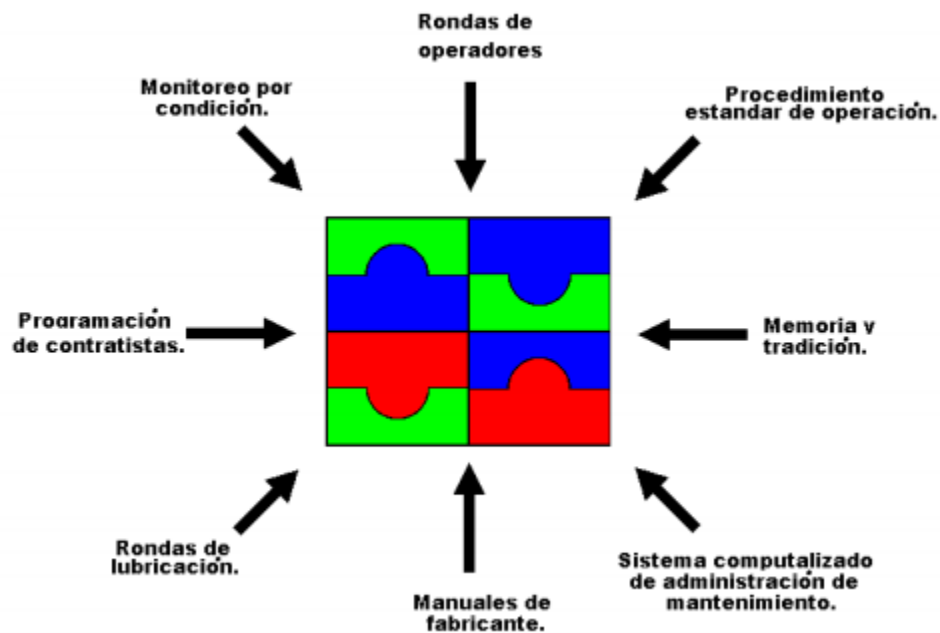


Fuente. Alberto Mora. (Gutierrez, 2005)⁸

⁸ MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento industrial Efectivo. 1 ed. Medellín. Editorial AMG, 2005.p.306

- **Paso 1 Recopilación de Tareas:** PMO2000™ inicia recopilando o documentando el programa de mantenimiento existente (formal o informal) y almacenándolo en una base de datos. Es importante entender que el mantenimiento lo realiza un grupo amplio de personas, incluyendo los operadores. También es muy importante entender que en la mayoría de organizaciones el PM se hace por iniciativa propia de los técnicos o de los operadores y no existe documentación formal; cuando esta situación se presenta simplemente se debe documentar lo que el personal ya ha estado haciendo. Es muy común que las organizaciones de mantenimiento tengan algún tipo de PM, ya sea formal o informal; es raro encontrar organizaciones que no tengan ningún tipo de PM.

Figura 7. Fuentes de información del PMO



Fuente. MODELO PARA IMPLEMENTACIÓN DE PMO (PLANNED MAINTENANCE OPTIMIZATION)⁹

- **Paso 2 - Análisis de Modos de Falla (FMA):** En el Paso 2 se debe involucrar a todo el personal de la planta, se trabajará con equipos multidisciplinarios quienes se encargarán de identificar para qué modos de falla están enfocadas las tareas de mantenimiento, con lo que se podrá identificar si las labores de mantenimiento definidas son eficaces para evitar o minimizar la ocurrencia de fallas en los equipos.

Figura 8. Ejemplo tabla para análisis modos de falla.

| Tarea | Frecuencia | Responsable | Falla |
|---------|------------|--------------|---------|
| tarea 1 | diario | operador | falla A |
| tarea 2 | diario | operador | falla B |
| tarea 3 | semestral | instalador | falla C |
| tarea 4 | semestral | Instalador | falla A |
| tarea 5 | anual | electricista | falla B |
| tarea 6 | semanal | operador | falla C |

Fuente. OMCS Internacional.

- **Paso 3 - Análisis y revisión del FMA:** Ordenando la información por Modos de Falla se hace más fácil la identificación de duplicación de tareas. La duplicación de tareas se presenta cuando al mismo Modo de Falla se le aplican varias rutinas

⁹ CHICA, Gustavo; HERNANDEZ, Juan. MODELO PARA IMPLEMENTACIÓN DE PMO (PLANNED MAINTENANCE OPTIMIZATION). Medellín: Universidad EAFIT, 2009.p.24

de PM por parte de las diferentes especialidades, por parte de los operadores y por parte de los especialistas de monitoreo.

En este paso el equipo de trabajo revisa los modos de falla resultado del FMA y agrega aquellos modos de falla faltantes. La lista de los modos se elabora con base en el historial de fallas, documentación técnica (usualmente diagramas de tubería e instrumentación (P&IDs)) o simplemente con la experiencia del equipo de trabajo.

Figura 9. Ejemplo racionalización y revisión del FMA

| Tarea | Frecuencia | Responsable | Falla |
|---------|------------|--------------|---------|
| tarea 1 | Diario | operador | falla A |
| tarea 4 | Semestral | instalador | falla A |
| tarea 2 | Diario | operador | falla B |
| tarea 5 | Anual | electricista | falla B |
| tarea 3 | Semestral | instalador | falla C |
| tarea 6 | Semanal | operador | falla C |

Fuente. OMCS Internacional.

- **Paso 4 - Análisis Funcional (Opcional):** La función que se pierde con cada falla se puede determinar en este paso. Este paso es opcional y se justifica en caso de que se deban realizar análisis a equipos bastantes críticos o muy complejos, en donde es esencial el entendimiento detallado de todas las funciones del equipo para el aseguramiento de un programa de mantenimiento sólido. Para aquellos equipos poco crítico o sistemas simples, la identificación de las funciones agrega tiempo y costo, más no beneficios tangibles.

Figura 10. Ejemplo análisis funcional.

| Tarea | Frecuencia | Responsable | Falla | Función |
|---------|------------|--------------|---------|-----------|
| tarea 1 | diario | operador | falla A | función 1 |
| tarea 4 | semestral | instalador | falla A | |
| tarea 2 | diario | operador | falla B | función 3 |
| tarea 5 | anual | electricista | falla B | función 2 |
| tarea 3 | semestral | instalador | falla C | función 1 |
| tarea 6 | semanal | operador | falla C | |
| | | | falla D | función 1 |

Fuente. OMCS Internacional

- **Paso 5 - Evaluación de Consecuencias:** En este paso cada modo de falla es analizado para determinar si las fallas son ocultas o evidentes. Para aquellas fallas evidentes se realiza un análisis de riesgos y consecuencias operacionales, se puede usar una matriz de valoración del riesgo.

Figura 11. Ejemplo modelo para evaluación de consecuencias.

| Tarea | Frecuencia | Responsable | Falla | Función | consecuencia |
|---------|------------|--------------|---------|-----------|--------------|
| tarea 1 | Diario | Operador | falla A | función 1 | operacional |
| tarea 4 | semestral | Instalador | falla A | | |
| tarea 2 | Diario | Operador | falla B | función 3 | operacional |
| tarea 5 | Anual | Electricista | falla B | función 2 | oculta |
| tarea 3 | semestral | Instalador | falla C | función 1 | oculta |
| tarea 6 | Semanal | Operador | falla C | | |

Fuente. OMCS Internacional

- **Paso 6 - Definición de la Política de Mantenimiento:** La filosofía moderna de mantenimiento se basa en la premisa que “los programas de mantenimiento exitosos se enfocan más en las consecuencias de las fallas que en los activos en sí”.

En este paso, cada modo de falla es analizado bajo los principios del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) y se establecen las políticas nuevas o revisadas de mantenimiento haciendo evidente lo siguiente:

1. Los elementos del programa actual de mantenimiento que son costo-efectivos y los que no lo son, estos últimos deben eliminarse,
2. Que tareas serán más efectivas y menos costosas si fueran basadas en condición, en lugar de llevarlas a falla y viceversa,
3. Que tareas no aportan beneficios y deben ser eliminadas del programa,
4. Que tareas serán más efectivas si se realizaran bajo diferentes rutinas,
5. Que fallas se manejan mejor por medio del uso de tecnología avanzada o simple,
6. Qué tipo de información se debe recolectar para predecir mejor el comportamiento del equipo durante su ciclo de vida, y
7. Que fallas se deben eliminar con la ayuda de un Análisis de Causa Raíz (RCA)

- **Paso 7 - Agrupación de metas, trabajos y Revisión:** Una vez el análisis de las tareas haya finalizado, el equipo de trabajo establece el método más eficiente y efectivo para administrar el mantenimiento de los activos teniendo en cuenta limitantes de producción y otros. En este paso es posible que haya transferencia de responsabilidades en la ejecución de las tareas de PM entre los especialistas de mantenimiento y los operadores para lograr eficiencia y ganancias en producción.

- **Paso 8 - Aprobación e Implementación:** En este paso, el resultado del análisis se presenta a la alta dirección para su revisión y comentarios. El equipo de trabajo realiza la presentación usando reportes generados por el software, dicho software muestra de forma detallada los cambios a implementar y su justificación.

Una vez se ha aprobado el programa, inicia la etapa más importante de PMO2000TM, su implementación. La implementación es la etapa que consume más tiempo y en que se pueden presentar más dificultades. Es importante ejercer liderazgo y estar atento a los detalles para hacer de la implementación un éxito.

La implementación sólo se puede llevar a cabo si la alta dirección brinda las herramientas necesarias y garantiza su continuidad hasta alcanzar la madurez.

- **Paso 9 - Programa Dinámico:** Durante el desarrollo de los Pasos 1 al 9, el proceso de PMO 2000 ha establecido una estructura racional y costo efectiva de PM. En el “Programa Dinámico”, el plan de PM se consolida y se toma control de la planta, cuando se reemplaza el mantenimiento reactivo por uno planeado. De este punto en adelante el mejoramiento puede acelerarse fácilmente y los recursos que se liberan pueden enfocarse a corregir defectos de diseño o limitaciones inherentes a la operación.

El PMO busca evaluar principalmente las acciones de tipo planeado, es decir las del mantenimiento preventivo y predictivo, por esta razón es importante que la ejecución se realice mediante un trabajo multidisciplinario que lleve a alcanzar el objetivo. Esto demanda un estricto seguimiento, monitoreo y control, hasta su total culminación e implementación.

La eficacia del PMO se fundamenta en los sistemas de gestión y operación del mantenimiento, bajo un enfoque de proceso, lo cual garantiza que no haya: dualidad de funciones en los departamentos, metas comunes, grupos poco efectivos de trabajo, demasiado roles y funciones en el personal de Mantenimiento y producción,

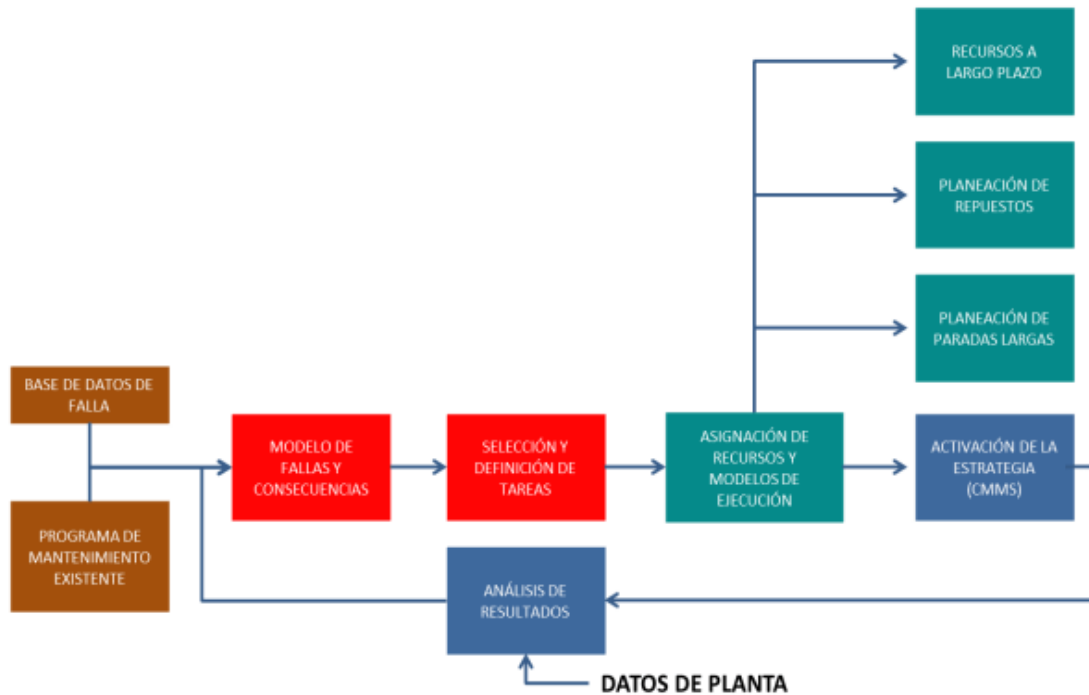
demasiada especialización en la realización de los análisis, control y eliminación de fallas (donde la mayoría del recurso humano, práctica estas metodologías), bases de datos independientes para cada uno de los departamentos (administración, recursos humanos contabilidad, finanzas, inventarios, almacenes, compras, mantenimiento, producción, etc.); sino que todo esté en una misma plataforma de información.¹⁰

La intención final de PMO es la de crear una organización que busca su mejoramiento continuamente, para esto se debe crear conciencia que es importante evaluar todas las tareas que se realizan y todas las fallas que se presenten. Para logra las metas es importante contar con personal capacitado en técnicas de análisis e igualmente contar con la motivación al personal por parte de la dirección para crear en el trabajador un sentido de pertenencia, de compromiso y de creatividad para mejorar su trabajo y optimizar costos de producción.

En el flujograma mostrado en la figura 12 se muestra una representación de la integración de los nueve (9) pasos de la metodología PMO 2000™

¹⁰ Ibid. p.306

Figura 12. Flujograma metodología PMO 2000™



Fuente. OMSC Internacional.

Es necesario mencionar que la metodología PMO 2000™ debe estar basada en una evaluación o análisis de criticidad de los equipos de la planta. Para obtener esta criticidad de los equipos es necesario acudir a la estructura de jerarquización de equipos o priorización de trabajos programados y realizando un filtro de sistemas, equipos o partes para su análisis.

3.4. ANÁLISIS DE CRITICIDAD

El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer jerarquías de acuerdo con su impacto en el negocio, la planta, línea o equipo, ella se aplica principalmente a:

- Instalación

- Sistemas
- Subsistemas
- Equipos
- Componentes

La catalogación de un componente como crítico supondrá la exigencia de establecer alguna tarea eficiente de mantenimiento preventivo o predictivo que permita impedir sus posibles causas de fallo. Para la determinación de la criticidad del fallo de un equipo deben considerarse dos aspectos: su probabilidad de aparición y su severidad. La probabilidad de aparición mide la frecuencia estimada de ocurrencia del fallo considerado, mientras que la severidad mide la gravedad que el impacto que ese fallo puede provocar sobre la instalación.¹¹

Si no se dispone de una base de datos fiable y eficiente para el cálculo de las probabilidades mencionadas, se puede considerar como criterio único para catalogar la criticidad de los fallos de los equipos su impacto sobre la función o funciones definidas para el sistema objeto de análisis¹².

El análisis de criticidad es, en esencia, un análisis de fiabilidad del sistema considerado y suele consumir un importante nivel de recursos. El método clásico de evaluación de la criticidad de los componentes de un sistema consiste en la determinación, en primer lugar, de las funciones que debe realizar el sistema considerado dentro del conjunto de la instalación, así como de sus fallos funcionales asociados. Para cada uno de estos fallos funcionales, se identifican aquellos componentes cuyo fallo da lugar al fallo funcional en estudio, provocando efectos negativos en la instalación. A estos componentes se les denomina "componentes

¹¹ NORSOK STANDARD. Criticality analysis for maintenance purposes. Z-008: 2001. Rev 2. Oscarsgt. Norwegian Technology Centre, 2001. p. 7

¹² *Ibíd*, p.10

críticos". Esta evaluación se realiza normalmente mediante la conocida técnica de fiabilidad denominada "Análisis de los Modos de Fallo y de sus Efectos" (FMEA)¹³.

Para casi todos los sistemas, se suele plantear la optimización de los recursos dedicados al análisis de la criticidad de sus componentes, reduciendo el nivel sistemático del proceso de análisis que supone el desarrollo de un FMEA (Análisis de los Modos, los Efectos, las Criticidades de las Fallas) y el notable volumen de documentación que se genera. En tales casos, se suele usar un método simplificado de análisis, siendo la "Lista de Criticidad" uno de los más utilizados. Este método, basado en la identificación de las consecuencias negativas que pueden producir los fallos potenciales de los diferentes componentes sobre el sistema bajo estudio, consiste en la aplicación de una lista o batería de preguntas a cada componente del sistema considerado, en función de sus respuestas, catalogarlo como crítico o no crítico. Dichas preguntas tienen que ver, entre otros aspectos, con la pérdida de producción, de seguridad, de condiciones adecuadas de operación o el incremento de contaminación ambiental¹⁴.

La criticidad se obtiene del producto de la frecuencia de fallas o su probabilidad y la consecuencia o severidad de su ocurrencia, esta última teniendo en cuenta elementos como afectaciones sobre población, daños al personal, impacto ambiental, pérdida de producción, costos de mantenimiento, pérdida de imagen y daños en la instalación entre otros.

Este análisis apoya la toma de decisiones para administrar esfuerzos y los recursos hacia donde más se requieren.

¹³ Ibíd, p.14

¹⁴ MOUBRAY, John. RCM Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. 1ª Edición en español. Buenos Aires. 2004. 433p.

4 MARCO NORMATIVO

Una de las etapas importantes para el desarrollo de la metodología se encuentra en la definición de una jerarquización de los equipos de forma que nos permita identificar los activos que son críticos para la gestión del mantenimiento, para lo cual usaremos como referencia la estructuración del árbol de equipos conforme a lo establecido por la norma ISO 14224, para posterior a esto realizar el análisis de criticidad basados en el estándar NORSOK Z-008

4.1. ISO 14224

Recopilar y analizar todos los datos de los activos sobre el de mantenimiento de estos y convertirlos en información es una de las tareas más difíciles del proceso en un comienzo ya que la información es abundante. Para esto un grupo de compañías petroleras exitosas se unieron en la época de los ochentas y desarrollaron un sistema común que les permitió, primero solucionar el problema de lenguaje, identificar sus problemas, compararse entre sí y ver los problemas de los otros y la manera cómo los resolvían. Este programa tuvo éxito y se convirtió en la Norma ISO 14224, estándar internacional acogida para la industria de petróleo y gas natural, que recomienda un método práctico y sencillo que estructura la base de datos de las fallas de los equipos de tal manera que se puedan identificar fallas crónicas, hacer análisis de desviaciones a la estrategia y mejorar la Confiabilidad de los activos de una compañía¹⁵.

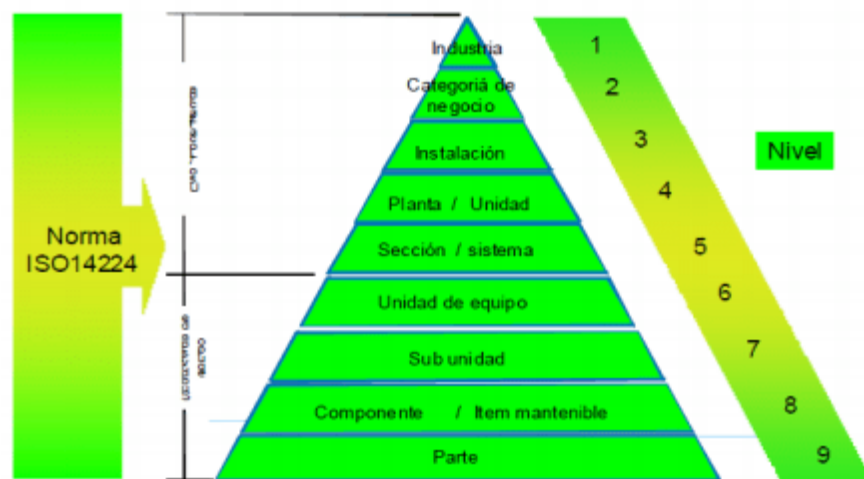
La norma mencionada nos indica que para obtener información centrada en confiabilidad es necesario estructurar los equipos y establecer un proceso que permita obtener la información buscada (manifestaciones de Fallas en todas sus formas). La estructura se refiere a la manera adecuada para organizar los activos

¹⁵ BRITISH STANDARD. Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. BS EN ISO 14224: 2006. Brussels. Management Centre, 2007.p.

origen de acuerdo al mantenimiento y como se relaciona a las fallas. Existen dos tipos de datos que se deben tomar en cuenta de los equipos: Su localización y sus características.

La localización se organiza de acuerdo con la taxonomía mostrada en la siguiente figura y para el manejo de esta, se le asigna un TAG que se refiere a un código inteligente, el cual permite identificar la localización y clase de equipo determinando los diferentes niveles de la taxonomía. Para nuestra aplicación y dada la complejidad de los equipos del sistema se llegará a la taxonomía hasta el nivel 7, Sub unidad.

Figura 13 Árbol de quipos – Taxonomía.



Fuente. ISO 14224.

La taxonomía o árbol de equipos permite asociar el equipo a sistemas, plantas, instalaciones, categoría del negocio y tipo de industria en donde se encuentra localizado el equipo. También acota el equipo en subsistemas o componentes, que pueden ser clases, y subcomponentes, es decir, partes de un componente. El último elemento es la parte que falla, que es el repuesto. Lo que se debe cambiar o reparar. Este último nivel normalmente se conoce como la parte que falla y va asociada en la orden de trabajo como un código de cierre. El control debe hacerse a nivel de

ítem mantenible, o sea el menor subcomponente. A continuación, se muestra en detalle la definición de cada nivel y ejemplos de cada uno¹⁶

Figura 14 Definiciones Jerárquicas.

| | Nivel | Descripción | Definición | Ejemplos |
|-----------------------------|-------|------------------------------|--|---|
| Datos de uso / localización | 1 | Industria | Tipo principal de industria | Petróleo, petroquímico, alimentos, minería, |
| | 2 | Categoría del negocio | Tipo de negocio o proceso | Extracción, producción, refinación, petroquímica |
| | 3 | Categoría Instalación | Tipo de facilidad | Producción, transporte, perforación, |
| | 4 | Planta / Unidad | Tipo de planta o unidad | Plataforma, estación de compresión, planta de metanol |
| | 5 | Sección / Sistema | Sección principal / sistemas de la planta | Compresión, licuefacción, regeneración, oxidación |
| Subdivisión de equipos | 6 | Clase de equipo / unidad | Clase de equipos similares. Cada clase contiene unidades de equipos comparables | Intercambiador de calor, compresor, tubería, bomba, caldera |
| | 7 | Sub sistema | Subsistema necesario para que el equipo funcione | Lubricación, enfriamiento, control, calentamiento |
| | 8 | Componente / Item mantenible | Grupo de partes del equipo que son mantenidos (reparados / restaurados) como un todo | Enfriador, reductor, bomba de aceite, loop de instrumentos, válvula |
| | 9 | Parte (Opcional) | Una pieza o repuesto de un equipo | Sello, tubo, carcaza, impeller |

Fuente. ISO 14224

4.2. NORSOK Z-008

El objetivo del estándar NORSOK Z-08 es proporcionar los requisitos y directrices para establecer una base para la preparación y optimización de programas de mantenimiento para instalaciones nuevas y en servicio en alta mar y en tierra teniendo en cuenta los riesgos relacionados con:

- Personal
- Ambiente
- Pérdida de Producción
- Costo económico directo

¹⁶ Ibíd, p.18

Describe un proceso de trabajo eficiente y racional que resulta en un programa de mantenimiento optimizado basado en el análisis de riesgos y los principios de costo-beneficio.

El estándar Norsok puede ser usado en las fases de operación para la optimización de programas de mantenimiento y como una guía para priorizar las órdenes de trabajo¹⁷.

¹⁷ NORSOK STANDARD. Criticality analysis for maintenance purposes. Z-008: 2001. Rev 2. Oscarsgt. Norwegian Technology Centre, 2001. p. 2

5 RECOLECCION Y TRATAMIENTO DE INFORMACIÓN

5.1. DIAGNÓSTICO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL

La compañía masa definió la utilización del software (CMMS) SAP para la gestión del mantenimiento de equipos en la estación de generación Porvenir.

Mediante una revisión exhaustiva de la información alimentada a SAP respecto a:

- Rutinas de mantenimiento (procedimientos)
- Frecuencias de ejecución (programación)
- Registros de ejecución (ordenes de trabajo ejecutadas)
- Backlog (ordenes pendientes por ejecutar)

Toda esta información se analiza a la luz del historial de fallas también obtenido de SAP para así lograr obtener una radiografía del estado actual del plan de mantenimiento definido para la estación.

En este análisis se determina cuantos equipos de los que se encuentran registrados en la base de datos de SAP no cuentan con una rutina de mantenimiento establecida, así mismo, se puede ver cuáles de estos equipos tienen una rutina de mantenimiento establecida pero no están siendo disparadas por SAP, por lo que nunca se ejecutan.

Por otro lado, de acuerdo a informes mensuales presentados sobre la gestión de mantenimiento, se evidencia que algunos sistemas se han intervenido para realizar mantenimiento sin estar dentro de la programación alimentada al SAP, es decir, se hace programación de manera manual.

En la tabla 1 se presenta un resumen del diagnóstico del plan de mantenimiento actual de la estación según la información descargada de SAP.

Tabla 1 Diagnóstico del plan de mantenimiento actual basado en SAP

| Nivel 7 | | |
|--|------------|--------------|
| Item Mantenible | PM | ESTADO DE PM |
| TRANSF ACEITE DE GE22110 13,8/6,9kV | TRANSFOR 3 | ACTIVA |
| TRANSF ACEITE DE GE22120 13,8/6,9kV | TRANSFOR 3 | INACTIVA |
| TRANSF ACEITE ENTRDA CCM DP20710 6,9/480 | TRANSFOR 3 | ACTIVA |
| TRANSF SECO AUXILIAR E-HOUSE | TRANSFOR 4 | ACTIVA |
| TRANSF SECO AUXILIAR CASETA VIGILANCIA | SIN PM | SIN PM |
| TRANSF SECO AUXILIAR TALLER DE MANTENIMIENTO | TRANSFOR 4 | ACTIVA |
| SWG-20600 | ELL1-10 | INACTIVA |
| SWG-22110 | ELL1-10 | INACTIVA |
| SWG-22120 | ELL1-10 | INACTIVA |
| DP-20600 | SIN PM | SIN PM |
| CCM-22110 | SIN PM | SIN PM |
| CCM-22120 | SIN PM | SIN PM |
| DP-20720B Tablero Taller | ELL1-10 | INACTIVA |
| DP-20730 Tablero Caseta de Vigilancia | ELL1-10 | INACTIVA |
| NG01+NG1 tablero UPS Ehouse | ELL1-10 | INACTIVA |
| NG05+NG5 Tablero de Distribución UPS Ehouse | ELL1-10 | INACTIVA |
| SSAA AC tablero no regulado Ehouse | ELL1-10 | INACTIVA |
| LP-20300 Tablero Alumbrado E-House | ELL1-10 | INACTIVA |
| 22110 Dual Incomer | ELL1-10 | INACTIVA |
| 22110 Distribución de Luz | ELL1-10 | INACTIVA |
| 22120 Dual Incomer | ELL1-10 | INACTIVA |
| 22120 Distribución de Luz | ELL1-10 | INACTIVA |
| DC | ELL1-10 | INACTIVA |
| TURBINA SGT-400 | TURBINAS-2 | ACTIVA |
| GENERADOR 14MVA | EGE-23 | ACTIVA |
| TURBINA SGT-400 | TURBINAS-2 | ACTIVA |
| GENERADOR 14MVA | EGE-23 | ACTIVA |
| MOTOR CUMMINS | EGE-26 | ACTIVA |
| GENERADOR | EGE-26 | ACTIVA |
| Cargador 110V LER22110 Baterias | SIN PM | SIN PM |
| Cargador 110V LER22110 Panel de Control | SIN PM | SIN PM |
| Cargador 24V LER22110 Panel de Control | SIN PM | SIN PM |
| Cargador 24V LER22110 Baterias | SIN PM | SIN PM |
| Cargador 110V LER22120 Panel de Control | SIN PM | SIN PM |
| Cargador 110V LER22120 Baterias | SIN PM | SIN PM |
| Cargador 24V LER22120 Panel de Control | SIN PM | SIN PM |
| Cargador 24V LER22120 Baterias | SIN PM | SIN PM |

| | | |
|--|-------------|----------|
| Cargador 24V LER22120 Baterias | SIN PM | SIN PM |
| UPS-20700 Inversor Ehouse | ERCTCPV1-3 | ACTIVA |
| UPS-20800 Inversor Ehouse | ERCTCPV1-3 | ACTIVA |
| UPS-20900 Cargador | ERCTCPV1-3 | ACTIVA |
| UPS-20910 Cargador | ERCTCPV1-3 | ACTIVA |
| BAT-20130 Banco de Baterias Ehouse | ERCTCPV1-3 | ACTIVA |
| Puesta a Tierra y Apantallamiento | SIN PM | SIN PM |
| VÁLVULA SHUTDOWN ENTRADA GAS ESDV-520001 ESDV-520001 | VALVULAS-49 | ACTIVA |
| Instrumentación Línea de Gas | SIN PM | SIN PM |
| VÁLV BLOWDOWN A ESTACA VENT BDV-520002 | VALVULAS-49 | ACTIVA |
| VISOR DE NIVEL LG-520001 ESTACA DE VENTEO | SIN PM | SIN PM |
| IJBCA-001 | SIN PM | SIN PM |
| SKID FILTRADO 22110 | SIN PM | SIN PM |
| TRASMISOR MULTIFUNCIONAL DE FLUJO FIT221101 | SIN PM | SIN PM |
| SKID FILTRADO 22120 | SIN PM | SIN PM |
| TRASMISOR MULTIFUNCIONAL DE FLUJO FIT221201 | SIN PM | C |
| CO-54010 COMPRESOR | ECO-28 | ACTIVA |
| CO-54020 COMPRESOR | ECO-28 | ACTIVA |
| PREFILTRO TFA-54030 | ECO-29 | INACTIVA |
| PREFILTRO TFA-54040 | ECO-29 | INACTIVA |
| SECADOR DE AIRE SCD-54010 | ECO-29 | INACTIVA |
| SECADOR DE AIRE SCD-54020 | ECO-29 | INACTIVA |
| SECADOR DE AIRE SCD-54030 | ECO-29 | INACTIVA |
| SECADOR DE AIRE SCD-54040 | ECO-29 | INACTIVA |
| POSTFILTRO TFA-54050 | ECO-29 | INACTIVA |
| POSTFILTRO TFA-54060 | ECO-29 | INACTIVA |
| Tanque Acomulador Aire | ECO-29 | INACTIVA |
| RED DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE | ECO-29 | INACTIVA |
| TABLERO ELECTRICO CO-54000 | ECO-28 | ACTIVA |
| F&G Generación | CIN-36 | INACTIVA |
| F&G LER 22110 | CIN-36 | INACTIVA |
| F&G LER 22110 | CIN-36 | INACTIVA |
| F&G Taller Mantto Generación | CIN-36 | INACTIVA |
| F&G Caseta de Vigilancia | CIN-36 | INACTIVA |
| F&G EHOUSE | CIN-36 | INACTIVA |
| Taller de Mantenimiento | SIN PM | SIN PM |
| Iluminación | SIN PM | SIN PM |
| Aire Acondicionado | AACON-6 | ACTIVA |
| Iluminación | SIN PM | SIN PM |
| CONTENEDOR | SIN PM | SIN PM |
| Aire Acondicionado | AACON-6 | ACTIVA |
| Iluminación | SIN PM | SIN PM |
| CONTENEDOR | SIN PM | ACTIVA |
| A/A 50600A | AACON-6 | ACTIVA |
| A/A 50600B | AACON-6 | ACTIVA |
| A/A 50600C | AACON-6 | ACTIVA |
| A/A 50600D | AACON-6 | ACTIVA |
| A/A 50600E | AACON-6 | ACTIVA |
| Iluminación | SIN PM | SIN PM |

En la tabla 1 se muestra la calificación al nivel de subsistemas del sistema de generación, que es en el que se encuentran establecidas las rutinas de mantenimiento del plan actual.

Cada subsistema creado en SAP se califica en el estado como:

- **ACTIVA:** Para rutinas de PM (mantenimiento planeado) que están creados, y cargados en SAP que aparecen en la programación.
- **INACTIVA:** Para rutinas de PM que se encuentran sin programación en SAP por lo que no generan alertas para su ejecución, al no estar programadas tampoco quedan en un registro de pendientes.
- **SIN PM:** Para los que no se registra una rutina de PM establecida, son subsistemas o equipos que en la fase inicial de la estrategia no se contemplaron como críticos y para los cuales no se calificó un potencial efecto de su falla. Varios de estos equipos han fallado por falta de mantenimiento planeado (fallas ocultas, fallas por falta de inspección y limpieza, etc.)

6 ÁRBOL DE EQUIPOS

Siguiendo lo establecido en la norma internacional ISO 14224 descrita en el numeral 4.1, se elabora un árbol de equipos principales del sistema de generación de energía eléctrica la estación logrando llegar hasta el nivel 8 de jerarquización de equipos, donde se identifican los componentes de cada equipo.

En la tabla 2 se presenta la identificación general base tenida en cuenta para realizar la jerarquización de equipos principales del sistema de generación, según lo dispuesto en ISO 14224.

Hasta el nivel 4 se proporciona la información general que contextualiza a todos los equipos de la estación, asociándolos a la industria del petróleo, en la categoría de transporte, siendo la instalación tipo estación de bombeo (recuperación de presión) y todos los equipos instalados y delimitados en la estación Porvenir.

Ya en el nivel 5 se encuentran los diferentes sistemas con los que cuenta la estación, de los cuales el de interés para realizar el proceso de taxonomía de equipos es el eléctrico, más específicamente el análisis se enfoca en los equipos de generación. La tabla 2 aparece en la primera hoja de cálculo del archivo de Excel presentado en el ANEXO A que contiene toda la información de la jerarquización de equipos (Tabla base, árbol piramidal y consolidado ISO 14224).

Tabla 2 Descripción base para jerarquización de equipos del sistema de generación de la estación Porvenir.

| Nivel | Descripción | Definición |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| 1 | Industria | Petroleo |
| 2 | Categoría del negocio | Transporte |
| 3 | Categoría de la instalación | Estación |
| 4 | Planta | Porvenir |
| 5 | Seccion/Sistema | Electrico |
| | | Combustible |
| | | Contraincendios |
| | | aire |
| | | Agua |
| 6 | Unidad / Equipo | Locativo |
| | | Turbogenerador 22110 |
| | | Turbogenerador 22120 |
| | | Generador Black Start |
| | | Shelter Ehouse |
| | | Transformadores |
| | | UPS |
| | | LER 22110 |
| | | LER 22120 |
| | | Linea de Gas Combustible |
| | | SCI Ehouse |
| | | Separador Centrifugo CE-54010 |
| | | Separador Centrifugo CE-54020 |
| | | Compresor de aire CO-54010 |
| | | Compresor de aire CO-54020 |
| | | Enfriador de aceite ICL-54010 |
| | | Enfriador de aceite ICL-54020 |
| | | Separador de aire OS-54010 |
| | | Separador de aire OS-54020 |
| | | Red de Distribución de Aire |
| | | Secador de Aire de Instrumentos |
| Acumulador de Aire TAI-54010 | | |
| Agua desmineralizada | | |
| Agua Potable | | |
| Locativo | | |
| 7 | Subsistema | - |
| 8 | Componentes | - |
| 9 | Partes | - |

En la figura 15 se muestra parte de la hoja de cálculo en Excel en la que se estructura toda la distribución de equipos hasta el nivel 8, en esta hoja se muestra de manera independiente el nivel de cada elemento mediante agrupación de elementos, La utilización de esta herramienta permite visualizar la estructura en forma de pirámide, como lo define ISO 14224, a medida que se despliega cada nivel, de igual forma cada subcategoría se identifica con un color diferente.

Figura 15 Hoja de Excel estructura piramidal para jerarquización de equipos según ISO14224

| NIVEL | | | | |
|-------------------|---------------------------------------|---|---|--|
| 5 | 6 | 7 | 8 | |
| Sección / Sistema | Unidad / Equipo | Subsistema | Componente | |
| | LINEA DE DISTRIBUCIÓN DE GAS TG-22120 | SKID FILTRADO 22120 | PDI/221205 Filtro 221201 Filtro 221202 | |
| | | TRASMISOR MULTIFUNCIONAL DE FLUJO FIT221201 | INDICADOR DE PRESIÓN PI-221201 ELEMENTO DE TEMPERATURA TE-221201 TERMOPOZO TW-221201 MEDIDOR DE FLUJO FE-221201 | |
| Aire Comprimido | COMPRESOR DE AIRE UNIDAD 54010 | CO-54010 COMPRESOR | TFA-54010 FILTRO DE AIRE DE ENTRADA TRANSMISOR DE TEMPERATURA TIT-540102 TRANSMISOR DE TEMPERATURA TIT-540104 ME-54010 MOTOR ELECTRICO COMPRESOR | |
| | | TFL-54010 FILTRO DE ACEITE | TFL-54010 FILTRO DE ACEITE TRANSMISOR DE PRESIÓN PIT-540101 | |
| | | OS-54010 SEPARADOR DE ACEITE | SEPARADOR DE ACEITE OS-54010 TRANSMISOR DE TEMPERATURA TIT-540104 | |

En la figura 16 se presenta una vista de la tercera hoja de cálculo del libro de Excel contenido en el ANEXO A, donde se muestra la jerarquización completa de equipos del sistema. Allí se muestra un consolidado de los 8 niveles de jerarquización documentados, es de resaltar que este trabajo toma bastante tiempo y requiere de un gran conocimiento de toda la planta, puesto que se incluye la información completa de cada sistema hasta llegar a la parte.

Para su elaboración se recurrió a la interpretación de planos tanto de tipo LayOut, como P&ID para lograr la correcta y completa identificación de los equipos, además de información corporativa asociada a los reportes de instalación y comisionamiento del proyecto con el fin de incluir la totalidad de equipos.

El árbol completo de equipos, estructural y consolidado, se presenta en el ANEXO A, ya que, debido a su extensión (más de 600 líneas), se dificulta su presentación en el documento. En este archivo se encuentran discriminados y clasificados todos los equipos, subsistemas y componentes principales del sistema eléctrico de generación según lo definido en la tabla 2.

Figura 16 Hoja de Excel consolidado jerarquización de equipos ISO14224

| | A | B | C | D | E | F | G | H |
|----|-----------|-----------------------|-----------------------------|----------|-----------------|-----------------|--|---|
| | Nivel 1 | Nivel 2 | Nivel 3 | Nivel 4 | Nivel 5 | Nivel 6 | Nivel 7 | Nivel 8 |
| | Industria | Categoría del Negocio | Categoría de la instalación | Planta | Sección/sistema | Unidad/Equipo | Subsistema | Componentes |
| 3 | Petroleo | Transporte | Estación | Porvenir | Eléctrico | | | |
| 4 | Petroleo | Transporte | Estación | Porvenir | Eléctrico | Transformadores | | |
| 5 | Petroleo | Transporte | Estación | Porvenir | Eléctrico | Transformadores | TRANSF ACEITE DE GE22110 13,8/6,9KV | |
| 6 | Petroleo | Transporte | Estación | Porvenir | Eléctrico | Transformadores | TRANSF ACEITE DE GE22120 13,8/6,9KV | |
| 7 | Petroleo | Transporte | Estación | Porvenir | Eléctrico | Transformadores | TRANSF ACEITE ENTRADA CCM DP20710 6,9/480 | |
| 8 | Petroleo | Transporte | Estación | Porvenir | Eléctrico | Transformadores | TRANSF SECO AUXILIAR E-HOUSE | |
| 9 | Petroleo | Transporte | Estación | Porvenir | Eléctrico | Transformadores | TRANSF SECO AUXILIAR CASETA VIGILANCIA | |
| 10 | Petroleo | Transporte | Estación | Porvenir | Eléctrico | Transformadores | TRANSF SECO AUXILIAR TALLER DE MANTENIMIENTO | |
| 11 | Petroleo | Transporte | Estación | Porvenir | Eléctrico | SWG | SWG-20600 | CELDA L01 6,9SALIDA AUXILIARES TRAF0 1 |
| 12 | Petroleo | Transporte | Estación | Porvenir | Eléctrico | SWG | SWG-20600 | CELDA L02 DE ENTRADA 1 SGT-400 |
| 13 | Petroleo | Transporte | Estación | Porvenir | Eléctrico | SWG | SWG-20600 | CELDA L03 DE SALIDA 1-L03 EPO |
| 14 | Petroleo | Transporte | Estación | Porvenir | Eléctrico | SWG | SWG-20600 | CELDA L04 DE MEDIDA BARRA A-L04 |
| 15 | Petroleo | Transporte | Estación | Porvenir | Eléctrico | SWG | SWG-20600 | CELDA DE ACOPLE-L05 EPO L05 |
| 16 | Petroleo | Transporte | Estación | Porvenir | Eléctrico | SWG | SWG-20600 | CELDA DE MEDIDA BARRA B-L06 |
| 17 | Petroleo | Transporte | Estación | Porvenir | Eléctrico | SWG | SWG-20600 | CELDA DE SALIDA 2-L07 EPO |
| 18 | Petroleo | Transporte | Estación | Porvenir | Eléctrico | SWG | SWG-20600 | CELDA DE ENTRADA 2 SGT-400-L08 |
| 19 | Petroleo | Transporte | Estación | Porvenir | Eléctrico | SWG | SWG-20600 | CELDA DE RESERVA-L09 EPO L09 |
| 20 | Petroleo | Transporte | Estación | Porvenir | Eléctrico | SWG | SWG-20600 | CELDA 6,9SALIDA AUXILIARES TRAF0 2-L10 |
| 21 | Petroleo | Transporte | Estación | Porvenir | Eléctrico | SWG | SWG-20600 | CELDA 6,9SALIDA TRAF0 OTROS-L11 EPO |
| 22 | Petroleo | Transporte | Estación | Porvenir | Eléctrico | SWG | SWG-20600 | Q01 TABLERO DE MEDIDA EN |
| 23 | Petroleo | Transporte | Estación | Porvenir | Eléctrico | SWG | SWG-20600 | Q02 TABLERO DE MEDIDA EN |
| 24 | Petroleo | Transporte | Estación | Porvenir | Eléctrico | SWG | SWG-20600 | R00+L02 Tablero protección Diferencial TR |
| 25 | Petroleo | Transporte | Estación | Porvenir | Eléctrico | SWG | SWG-20600 | R00+L08 Tablero protección Diferencial TR |
| 26 | Petroleo | Transporte | Estación | Porvenir | Eléctrico | SWG | SWG-20600 | tablero de control Remoto W05 |
| 27 | Petroleo | Transporte | Estación | Porvenir | Eléctrico | SWG | SWG-22110 | CELDA 52F1 |
| 28 | Petroleo | Transporte | Estación | Porvenir | Eléctrico | SWG | SWG-22110 | CELDA 52F2 |

7 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

7.1. DEFINICION DE LA MATRIZ RAM

Como parte del proceso de búsqueda de elementos o factores de mejora para el plan de mantenimiento actual de la estación, se realiza un análisis de criticidad a los equipos del sistema de acuerdo al listado obtenido de la jerarquización de equipos presentada en el capítulo 6.

A continuación, se presenta de manera desglosada la matriz RAM usada como base para el análisis de criticidad de los equipos, en su versión vigente 2018, la matriz está estructurada conforme a las políticas y objetivos de la compañía, los cuáles a su vez, están alineados y sujetos a los del oleoducto quien es dueño de los activos de la estación.

En la figura 17 se presenta el criterio definido para la valoración de la probabilidad de ocurrencia de los eventos, en este caso los eventos se entienden como fallas de los equipos y el denominado sistema corresponde al subsistema valorado, lo que corresponde a los ítems clasificados dentro del nivel 7 del árbol jerárquico de equipos construido en el capítulo anterior.

Figura 17 Criterio de evaluación de la probabilidad en la matriz RAM

| | | | |
|---------------------|----------------------------------|---|--|
| Probabilidad | Casi Cierto (>75%) (E) | Ha ocurrido durante el último año del sistema | Se sabe que el suceso ocurre en forma reiterada |
| | Probable (51-75%) (D) | Ha ocurrido en la industria en el último año y/o durante los últimos 5 años del sistema | Suceso que se presenta con cierta regularidad |
| | Posible (26-50%) (C) | Ha ocurrido en la industria en los últimos 5 años y/o durante los últimos 10 años del sistema | El suceso puede ocurrir en alguna circunstancias ó se presenta de forma esporádica |
| | Improbable (6-25%) (B) | Ha ocurrido en la industria en los últimos 10 años y/o durante la vida útil del sistema | El suceso es inhabitual pero podía producirse en algún momento |
| | Raro (0-5%) (A) | Ha ocurrido en la industria en los últimos 20 años | El suceso solo podría ocurrir en circunstancias excepcionales |

En la figura 18 se muestran los criterios de la valoración del impacto a la salud y seguridad de las personas, se presenta ña escala de niveles de impacto, cual es la misma para todos los aspectos y los tipos de impacto donde se describe puntualmente a que corresponde el efecto del evento asociado. El efecto sobre las personas debe ser valorado en lo posible en conjunto con el profesional de SST de la empresa y revisando la información disponible sobre eventos registrados anteriormente.

Figura 18 Criterios de valoración del impacto a la salud y seguridad de personas en la matriz RAM

| Nivel de Impacto o Consecuencia / Tipos de Impacto - Categorías | Insignificante (1) | Menor (2) | Moderado (3) | Mayor (4) | Catastrófico (5) |
|--|---|---|---|---|--|
| Salud y seguridad de las Personas | Primeros Auxilios Indisponibilidad de menos del 10% de personal no crítico | Tratamiento médico, trabajo restringido o reubicación Indisponibilidad de entre el 10% y el 20% de personal no crítico | Incapacidad temporal Indisponibilidad de menos del 10% de cargos críticos o entre el 20% y el 40% de personal no crítico Amenaza directa contra personal de la compañía o de los contratistas | Incapacidad permanente / parcial Indisponibilidad entre el 10% y el 20% de cargos críticos o de más del 40% de personal no crítico Personal de la compañía o de los contratistas heridos en un atentado | Fatalidad o invalidez Indisponibilidad de más del 20% de cargos críticos Secuestro por parte de grupos al margen de la ley |

En la figura 19 se pueden ver los impactos de los fallos en el ámbito económico de la compañía para este caso se tiene en cuenta el valor total y se compara con la afectación de movimientos generales de la empresa, es decir, teniendo en cuenta las operaciones y producción de otras locaciones en el país.

Figura 19 Criterios de valoración del impacto económico en la matriz RAM

| Nivel de Impacto o Consecuencia Tipos de Impacto - Categorías | Insignificante (1) | Menor (2) | Moderado (3) | Mayor (4) | Catastrófico (5) |
|--|---|---|---|---|--|
| Económicos | Menor de USD 10 millones (Menor al 1% de los INGRESOS) | Entre USD 10 y 30 millones (Entre el 1% y el 3% de los INGRESOS) | Entre USD 30 y 80 millones (Entre el 3% y el 8% de los INGRESOS) | Entre USD 80 y 150 millones (Entre el 8% y el 10% de los INGRESOS) | > USD 150 millones (>10% de los INGRESOS) |

La figura 20 muestra los criterios para la calificación del impacto sobre el ambiente, este es uno de los factores más importantes en el análisis asociado a las fallas de mantenimiento, ya que, por lo general las máquinas y equipos usan como parte de su funcionamiento sustancias o materiales que pueden impactar negativamente el medio si no se manejan con control. Es importante tener en cuenta que en una falla el cambio de repuestos o reposición de consumibles como los lubricantes antes del tiempo ideal causa un impacto en el medio que debe ser tenido en cuenta para la valoración.

Figura 20 Criterios de valoración del impacto sobre el ambiente en la matriz RAM

| Nivel de Impacto o Tipos de Impacto - Categorías | Insignificante (1) | Menor (2) | Moderado (3) | Mayor (4) | Catastrófico (5) |
|--|---|---|--|---|--|
| Ambientales | <p>Derrames o goteos de hidrocarburos o derivados en áreas confinadas de la compañía</p> <p>Uso Ineficiente y/o inadecuado de recursos Naturales Renovables (Agua, Aire, Suelo, Flora, Fauna)</p> | <p>Derrame en áreas no confinadas dentro de la compañía: ≤ 1 galón o contaminación ≤ 10 m3 de suelo</p> <p>Incumplimiento de procedimientos, estándares y programas ambientales incluido el Plan de Manejo Ambiental.</p> | <p>Derrames en: Áreas no confinadas empresa: > 1 galón, o > 10 m3 suelo contaminado Fuera áreas compañía: 1 galón - 1 barril, o ≤ 1 m3 suelo contaminado Off shore: < 1 galón</p> <p>Incumplimiento de los requisitos legales ambientales generales, la Licencia Ambiental y/o permisos Ambientales</p> <p>Contaminación de recursos Naturales Renovables (Agua, Aire, Suelo, Flora, Fauna) Autorizados por la Legislación General, y/o la Licencia Ambiental</p> | <p>Derrame fuera de las áreas de la compañía: On shore: 1-10 barriles, contaminación de suelo 1 - 10 m3, Off shore: 1 galón - 1 barril</p> <p>Requerimientos de las Autoridades Ambientales asociados al no cumplimiento de los requisitos legales ambientales generales, la Licencia Ambiental, Plan de Manejo Ambiental y/o permisos Ambientales</p> <p>Uso o contaminación de recursos Naturales Renovables (Agua, Aire, Suelo, Flora, Fauna) sin autorización por la Legislación General, y/o la Licencia Ambiental</p> | <p>Derrame de Petróleo fuera de las áreas de la compañía: On shore: > 10 barriles o > 10 m3 de suelo contaminado, Off shore: > 1 barril</p> <p>Sanciones de las Autoridades Ambientales por incumplimiento de la Normativa Ambiental incluida la Licencia Ambiental, Plan de Manejo Ambiental y/o permisos Ambientales</p> <p>PQRs de comunidades por contaminación de recursos Naturales Renovables (Agua, Aire, Suelo, Flora, Fauna) o por uso de los mismos sin la autorización legal.</p> |

Por último, en la figura 21 se presenta la definición de los impactos sobre el ámbito social sobre el que tiene influencia la compañía y sobre los que se realiza la clasificación de la consecuencia en este aspecto.

Figura 21 Criterios de valoración del impacto social en la matriz RAM

| Nivel de Impacto o Consecuencia Tipos de Impacto - Categorías | Insignificante (1) | Menor (2) | Moderado (3) | Mayor (4) | Catastrófico (5) |
|---|---|---|--|--|---|
| Sociales | <p>La organización no tiene ninguna afectación sobre su entorno social y los grupos de interés relacionados No hay afectación a los DD. HH. Solución de carácter inmediato.</p> | <p>La organización tiene una afectación de relaciones en su entorno social y grupos de interés que deriva en manifestaciones de inconformidad dentro del área de influencia. Afectación de un individuo particular Daño reparable en el corto plazo</p> | <p>La organización tiene una afectación en su entorno social y grupos de interés que trascienden en paros y bloqueos en áreas de influencia Afectación a individuo o comunidad. Daño reparable en el mediano plazo</p> | <p>La organización tiene una afectación en su entorno social y grupos de interés que trasciende en paros y bloqueos en áreas de influencia donde se requieren materiales esenciales para la operación óptima del oleoducto (DRA) o se prestan servicios a terceros. Afectación a comunidades. Daño reparable en el largo plazo</p> | <p>La organización tiene una afectación en su entorno social y grupos de interés que trasciende en paros y bloqueos en áreas de influencia donde se requieren materiales esenciales para la operación óptima del oleoducto (DRA), prestamos servicios a terceros, hay retención de maquinaria o toma de activos de la empresa. Afectación sobre comunidades protegidas Daño irreparable</p> |

Por último, para abarcar todos los aspectos que se pueden ver implicados debido a la ocurrencia de fallas o mal funcionamiento de un equipo, en la figura 22 se ilustra la valoración de riesgo para el impacto a la imagen y la reputación, esto hace referencia a como un evento puede afectar la imagen de la compañía de muros

hacia afuera, factor puede llegar a afectar muy seriamente los intereses económicos o estratégicos de la empresa, como planes de expansión consecución de nuevos clientes, etc.

Figura 22 Criterios de valoración del impacto a la imagen y reputación en la matriz RAM

| Nivel de Impacto o Consecuencia Tipos de Impacto - Categorías | Insignificante (1) | Menor (2) | Moderado (3) | Mayor (4) | Catastrófico (5) |
|--|--|--|--|---|--|
| Imagen y Reputación | Difusión interna sólo a nivel de proceso o equipo de trabajo Inquietudes por parte de colaboradores que no afectan el clima laboral No afecta la imagen de la organización ante sus grupos de interés* | Cobertura adversa a nivel local y/o difusión interna a nivel general en la empresa Inquietudes por parte de colaboradores o proveedores que afectan el clima laboral de la organización Observaciones administrativas por el organismo regulador Demandas a nivel local | Cobertura adversa puntual en medios a nivel regional o inquietudes por parte de grupos de interés No conformidades u observaciones disciplinarias por el organismo regulador Demandas a nivel regional | Cobertura adversa de amplia difusión en medios a nivel nacional y en redes sociales Pérdida grave o disminución sensible del apoyo o credibilidad de algunos de los grupos de interés* Sanción por el organismo regulador por incumplimientos graves Demandas a nivel nacional | Cobertura adversa de amplia difusión en medios a nivel internacional y redes sociales Pérdida grave del apoyo o credibilidad de todos los grupos de interés* Intervención o cierre parcial o total por parte de entes de control que impida la operación Demandas a nivel internacional |

Una vez presentados los criterios de valoración para cada tipo de consecuencia considerada en el análisis de criticidad y la escala de clasificación de la probabilidad de ocurrencia, en la figura 23 se muestra la relación entre estos dos criterios de selección según los cuales se clasifica el ítem evaluado en uno de los niveles de riesgo definidos como: bajo, moderado, alto y extremo.

En esta clasificación se da como resultado un nivel de riesgo para el ítem que se evalúa acorde con los principales aspectos que impactan de manera significativa y directa a la compañía y su estrategia.

Figura 23 Niveles de criticidad de la matriz RAM

| | | | | | | |
|--|------------------------|---------------------------|------------------|---------------------|------------------|-------------------------|
| Probabilidad | Casi Cierto (>75%) (E) | Moderado | Alto | Alto | Extremo | Extremo |
| | Probable (51-75%) (D) | Moderado | Moderado | Alto | Alto | Extremo |
| | Posible (26-50%) (C) | Bajo | Moderado | Moderado | Alto | Alto |
| | Improbable (6-25%) (B) | Bajo | Bajo | Moderado | Moderado | Moderado |
| | Raro (0-5%) (A) | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Moderado |
| Nivel de Impacto o Consecuencia / Tipos de Impacto - Categorías | | Insignificante (1) | Menor (2) | Moderado (3) | Mayor (4) | Catastrófico (5) |
| Salud y seguridad de las Personas | | | | | | |
| Económicos | | | | | | |
| Ambientales | | | | | | |
| Sociales | | | | | | |
| Imagen y Reputación | | | | | | |

La matriz RAM completa, con todos los componentes que se acaban de describir y presentar se puede observar en la figura 24.

Figura 24 Matriz de valoración de riesgos RAM 2018 (masa)

| MATRIZ CORPORATIVA DE VALORACIÓN DE RIESGOS 2018 | | | | | | | | |
|--|----------------------------------|---|---|--|--|---|---|--|
| Probabilidad | Casi Cierto (>75%) (E) | Ha ocurrido durante el último año del sistema | Se sabe que el suceso ocurre en forma reiterada | Moderado | Alto | Alto | Extremo | Extremo |
| | Probable (51-75%) (D) | Ha ocurrido en la industria en el último año y/o durante los últimos 5 años del sistema | Suceso que se presenta con cierta regularidad | Moderado | Moderado | Alto | Alto | Extremo |
| | Posible (26-50%) (C) | Ha ocurrido en la industria en los últimos 5 años y/o durante los últimos 10 años del sistema | El suceso puede ocurrir en alguna circunstancia ó se presenta de forma esporádica | Bajo | Moderado | Moderado | Alto | Alto |
| | Improbable (6-25%) (B) | Ha ocurrido en la industria en los últimos 10 años y/o durante la vida útil del sistema | El suceso es inusual pero podía producirse en algún momento | Bajo | Bajo | Moderado | Moderado | Moderado |
| | Raro (0-5%) (A) | Ha ocurrido en la industria en los últimos 20 años | El suceso solo podría ocurrir en circunstancias excepcionales | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Moderado |
| Nivel de Impacto o Consecuencia / Tipos de Impacto - Categorías | | | | Insignificante (1) | Menor (2) | Moderado (3) | Mayor (4) | Catastrófico (5) |
| Salud y seguridad de las Personas | | | | Primeros Auxilios Indisponibilidad de menos del 10% de personal no crítico | Tratamiento médico, trabajo restringido o reubicación Indisponibilidad de entre el 10% y el 20% de personal no crítico | Incapacidad temporal Indisponibilidad de menos del 10% de cargos críticos o entre el 20% y el 40% de personal no crítico Amenaza directa contra personal de la compañía o de los contratistas | Incapacidad permanente / parcial Indisponibilidad entre el 10% y el 20% de cargos críticos o de más del 40% de personal no crítico Personal de la compañía o de los contratistas heridos en un atentado | Fatalidad o invalidez Indisponibilidad de más del 20% de cargos críticos Secuestro por parte de grupos al margen de la ley |
| Económicos | | | | Menor de USD 10 millones (Menor al 1% de los INGRESOS) | Entre USD 10 y 30 millones (Entre el 1% y el 3% de los INGRESOS) | Entre USD 30 y 80 millones (Entre el 3% y el 8% de los INGRESOS) | Entre USD 80 y 150 millones (Entre el 8% y el 10% de los INGRESOS) | > USD 150 millones (>10% de los INGRESOS) |
| Ambientales | | | | Derrames o goteos de hidrocarburos o derivados en áreas confinadas de la compañía Uso Ineficiente y/o inadecuado de recursos Naturales Renovables (Agua, Aire, Suelo, Flora, Fauna) | Derrame en áreas no confinadas dentro de la compañía: ≤ 1 galón o contaminación ≤ 10 m3 de suelo Incumplimiento de procedimientos, estándares y programas ambientales incluido el Plan de Manejo Ambiental. | Derrames en: Áreas no confinadas empresa: > 1 galón, o > 10 m3 suelo contaminado Fuera áreas compañía: 1 galón - 1 barril, o ≤ 1 m3 suelo contaminado Off shore: < 1 galón Incumplimiento de los requisitos legales ambientales generales, la Licencia Ambiental y/o permisos Ambientales Contaminación de recursos Naturales Renovables (Agua, Aire, Suelo, Flora, Fauna) Autorizados por la Legislación General, y/o la Licencia Ambiental | Derrame fuera de las áreas de la compañía: On shore: 1-10 barriles, contaminación de suelo 1 -10 m3, Off shore: 1 galón - 1 barril Requerimientos de las Autoridades Ambientales asociados al no cumplimiento de los requisitos legales ambientales generales, la Licencia Ambiental, Plan de Manejo Ambiental y/o permisos Ambientales Uso o contaminación de recursos Naturales Renovables (Agua, Aire, Suelo, Flora, Fauna) sin autorización por la Legislación General, y/o la Licencia Ambiental | Derrame de Petróleo fuera de las áreas de la compañía: On shore: > 10 barriles o > 10 m3 de suelo contaminado, Off shore: > 1 barril Sanciones de las Autoridades Ambientales por incumplimiento de la Normativa Ambiental incluida la Licencia Ambiental, Plan de Manejo Ambiental y/o permisos Ambientales PQRs de comunidades por contaminación de recursos Naturales Renovables (Agua, Aire, Suelo, Flora, Fauna) o por uso de los mismos sin la autorización legal. |
| Sociales | | | | La organización no tiene ninguna afectación sobre su entorno social y los grupos de interés relacionados No hay afectación a los DD. HH. Solución de carácter inmediato. | La organización tiene una afectación de relaciones en su entorno social y grupos de interés que deriva en manifestaciones de incómodidad dentro del área de influencia. Afectación de un individuo particular Daño reparable en el corto plazo | La organización tiene una afectación en su entorno social y grupos de interés que trasciende en paros y bloqueos en áreas de influencia Afectación a individuo o comunidad. Daño reparable en el mediano plazo | La organización tiene una afectación en su entorno social y grupos de interés que trasciende en paros y bloqueos en áreas de influencia donde se requieren materiales esenciales para la operación óptima del oleoducto (DRA) o se prestan servicios a terceros. Afectación a comunidades. Daño reparable en el largo plazo | La organización tiene una afectación en su entorno social y grupos de interés que trasciende en paros y bloqueos en áreas de influencia donde se requieren materiales esenciales para la operación óptima del oleoducto (DRA), prestamos servicios a terceros, hay retención de maquinaria o toma de activos de la empresa. Afectación sobre comunidades protegidas Daño irreparable |
| Imagen y Reputación | | | | Difusión interna sólo a nivel de proceso o equipo de trabajo Inquietudes por parte de colaboradores que no afectan el clima laboral No afecta la imagen de la organización ante sus grupos de interés* | Cobertura adversa a nivel local y/o difusión interna a nivel general en la empresa Inquietudes por parte de colaboradores o proveedores que afectan el clima laboral de la organización Observaciones administrativas por el organismo regulador Demandas a nivel local | Cobertura adversa puntual en medios a nivel regional o inquietudes por parte de grupos de interés No conformidades u observaciones disciplinarias por el organismo regulador Demandas a nivel regional | Cobertura adversa de amplia difusión en medios a nivel nacional y en redes sociales Pérdida grave o disminución sensible del apoyo o credibilidad de algunos de los grupos de interés* Sanción por el organismo regulador por incumplimientos graves Demandas a nivel nacional | Cobertura adversa de amplia difusión en medios a nivel internacional y redes sociales Pérdida grave del apoyo o credibilidad de todos los grupos de interés* Intervención o cierre parcial o total por parte de entes de control que impida la operación Demandas a nivel internacional |

7.2. MATRIZ DE CRITICIDAD

Para la elaboración de la matriz de criticidad, primero se hace una exhaustiva revisión del árbol completo de equipos, de donde se seleccionan como base de análisis 85 ítems del nivel 7 de la jerarquía de equipos, denominados como subsistemas según la norma ISO14224.

Estos 85 equipos se seleccionan teniendo en cuenta los criterios de la operación del sistema de generación, por lo tanto, son los equipos con calificación de principales e indispensables para el funcionamiento de la unidad, para dar contexto de la evaluación en términos del mantenimiento se considera un factor adicional de valoración que es la frecuencia de falla basado en datos recopilados del sistema de información.

Con el objetivo de facilitar su revisión y verificación, y debido a su tamaño, la matriz de criticidad completa se presenta junto a la matriz RAM en un libro de Excel contenido en el ANEXO B. En la figura 25 se presenta una vista general de la matriz de criticidad para dar referencia de la valoración realizada.

Figura 25 Vista de la matriz de criticidad de equipos principales.

| Item Mantenible | Tipo de Equipo | FF - Frecuencia de fallos | Validación FF | CSS - C. para las personas | CE - Consecuencias económicas | CMC - medio ambiente y comunidad | CIR - Imagen y reputación | CS - Consecuencia Social | Riesgo a personas | Riesgo Economico | Riesgo Ambiente y comunidad | Riesgo Imagen y reputación | Riesgo Social | Riesgo total del equipo |
|--|----------------|---------------------------|---------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------|------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------|-------------------------|
| TRANSF ACEITE DE GE22110 13,8/6,9kV | Operativo | C | 7 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | Moderado | Moderado | Moderado | Moderado | Moderado | Eq. Esencial |
| TRANSF ACEITE DE GE22120 13,8/6,9kV | Operativo | C | 7 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | Moderado | Moderado | Moderado | Moderado | Moderado | Eq. Esencial |
| TRANSF ACEITE ENTRDA CCM DP20710 6,9/480 | Operativo | C | 7 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | Moderado | Moderado | Moderado | Moderado | Moderado | Eq. Esencial |
| TRANSF SECO AUXILIAR E-HOUSE | Operativo | B | 10 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Eq. No Crítico |
| TRANSF SECO AUXILIAR CASETA VIGILANCIA | Operativo | B | 10 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Eq. No Crítico |
| TRANSF SECO AUXILIAR TALLER DE MANTENIMIENTO | Operativo | B | 10 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | Bajo | Bajo | Bajo | Moderado | Bajo | Eq. Esencial |
| SWG-20600 | Operativo | C | 7 | 4 | 4 | 1 | 4 | 2 | Alto | Alto | Bajo | Alto | Moderado | Eq. Crítico |
| SWG-22110 | Operativo | C | 7 | 3 | 3 | 1 | 4 | 2 | Moderado | Moderado | Bajo | Alto | Moderado | Eq. Crítico |
| SWG-22120 | Operativo | C | 7 | 3 | 3 | 1 | 4 | 2 | Moderado | Moderado | Bajo | Alto | Moderado | Eq. Crítico |
| DP-20600 | Operativo | C | 7 | 4 | 4 | 1 | 4 | 2 | Alto | Alto | Bajo | Alto | Moderado | Eq. Crítico |
| CCM-22110 | Operativo | C | 7 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | Moderado | Moderado | Bajo | Moderado | Moderado | Eq. Esencial |
| CCM-22120 | Operativo | C | 7 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | Moderado | Moderado | Bajo | Moderado | Moderado | Eq. Esencial |
| DP-207208 Tablero Taller | Operativo | B | 10 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Eq. No Crítico |
| DP-20730 Tablero Caseta de Vigilancia | Operativo | B | 10 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Bajo | Eq. No Crítico |
| NG01+NG1 tablero UPS Ehouse | Operativo | B | 10 | 1 | 2 | 1 | 4 | 1 | Bajo | Bajo | Bajo | Moderado | Bajo | Eq. Esencial |

La valoración del nivel de criticidad se establece en tres niveles los cuales clasifican los equipos en:

- Equipo No crítico
- Equipo Esencial
- Equipo Crítico

En la tabla 3 se presenta un resumen estadístico básico, a manera de consolidado, de la matriz de criticidad, donde se muestra la distribución de los 85 ítems evaluados, en los tres niveles de clasificación de criticidad.

Tabla 3 Distribución de ítems según la matriz de criticidad

| Descripción | Cantidad | % |
|--------------------------------|-----------------|-------------|
| Total Ítems Mantenibles | 85 | 100% |
| Equipos Críticos | 22 | 26% |
| Equipos Esenciales | 24 | 28% |
| Equipos No Críticos | 39 | 46% |

De la tabla anterior se infiere que casi una cuarta parte de los equipos principales del sistema son críticos, mientras que un poco menos de la mitad de los equipos son No Críticos, también es oportuno mencionar que la proporción de equipos esenciales es casi la misma que la de equipos Críticos.

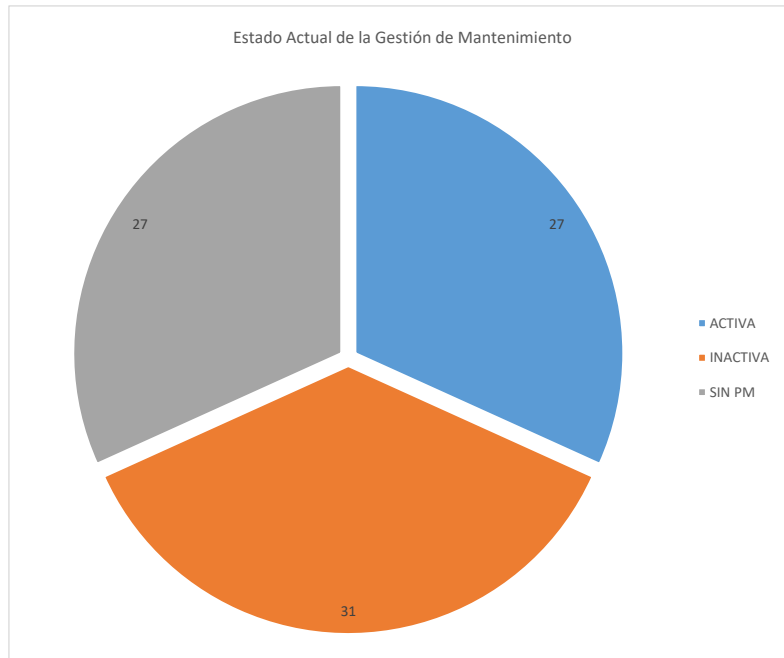
8 OROPUESTA DE MEJORA

8.1. OPORTUNIDADES DE MEJORA

En este capítulo se consolida toda la información recopilada y tratada en los capítulos del 5 al 7, tomando como punto de partida el análisis diagnóstico de la actual estrategia de mantenimiento planeado que se ejecuta actualmente en la estación, pasando por los datos revelados en la jerarquización de equipos y abordando por último el resultado del análisis de criticidad. Las observaciones resultantes del análisis de información permiten identificar algunas falencias, las cuales se abordan para convertirlas en oportunidades de mejora para la estrategia de mantenimiento.

8.1.1. Según el diagnóstico del plan actual Como primer aspecto, se mencionan las características más relevantes detectadas en la etapa de diagnóstico del plan actual, en la figura 26 se muestra la distribución de los 85 equipos principales evaluados clasificados en los tres estados definidos en el capítulo 5.

Figura 26 Estado actual de la gestión de mantenimiento.



Como se puede observar en la figura 26, durante la auditoría realizada se logra identificar que el 32% de los ítems mantenibles (subsistemas) cuentan con planes de mantenimiento que se generan con alertas enviadas desde SAP y están adjuntos a órdenes de trabajo generadas, las cuales, se llevan a cabo de acuerdo a la planeación y programación, realizando una correcta gestión del mantenimiento en cuanto al cumplimiento de las tareas de preventivo.

Sin embargo, el otro 68% de los ítems no están cumpliendo con esta misma estrategia, es aquí donde se encuentran grandes oportunidades de mejora en la gestión, puesto que el 32% de los ítems mantenibles no cuentan con un plan de mantenimiento y el otro 36% aunque cuenta con planes de mantenimiento elaborados, estos no se encuentran activos en el CMMS (SAP), por lo cual, no se envían las alertas, ni las ordenes de mantenimiento para su ejecución.

En estos dos últimos grupos de activos, se logró identificar que se realizan solicitudes de mantenimiento de forma manual, pero sin llevar una trazabilidad

correcta o una rutina estandarizada para su ejecución, si no que por el contrario se realizan de acuerdo a las necesidades de la operación o de los recordatorios brindados por los técnicos, causando así muchos re trabajos y en algunos casos, equipos sin ejecución de acciones de mantenimiento, es decir, que están completamente fuera d la estrategia de mantenimiento.

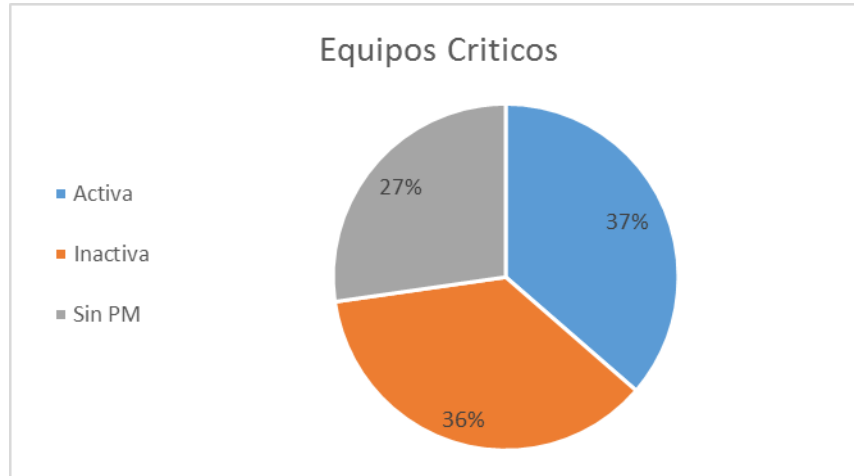
8.1.2. Según el árbol de equipos: En el diagnóstico inicial (auditoria) realizado con base en la información contenida en SAP, se cuenta con 85 equipos del tipo subsistema, mientras que en el consolidado del árbol de equipos se enumeran 137 equipos en el nivel 7, correspondiente a subsistemas como se puede constatar revisando el consolidado contenido en el ANEXO A.

En este aspecto, la propuesta de mejora consiste realizar una actualización de la base de datos de los equipos cargados en SAP, de acuerdo a la jerarquización de equipos presentada en este mismo trabajo, realizando la respectiva verificación y actualización de los códigos internos o TAGs, así como de su ubicación física en la estación, lo que facilitara las cosas en el momento de realizar las tareas de mantenimiento planeado.

8.1.3. Según el análisis de criticidad: En esta última etapa se presenta la propuesta de mejoramiento desde un punto de vista global basada en los resultados del análisis de criticidad de equipos principales.

En la figura 26 se ve el diagrama de distribución de los equipos clasificados como críticos (22) según su estado en el plan de mantenimiento actual.

Figura 27 Estado de equipos críticos en el plan de mantenimiento actual



Al realizar el análisis de los datos arrojados por el análisis de criticidad y combinados con los de la auditoria a la estrategia de mantenimiento, se logra identificar que 6 de los equipos críticos (22%), no cuentan con un plan de mantenimiento establecido que ayude a preservar sus funciones y que 8 (36%) de los equipos, a pesar de contar con planes de mantenimiento, no se encuentran activos en el CMMS (SAP) generando riesgos altos de afectación en base a la matriz RAM. A continuación, en la tabla 4 se listan los equipos críticos que no cuentan con plan de mantenimiento.

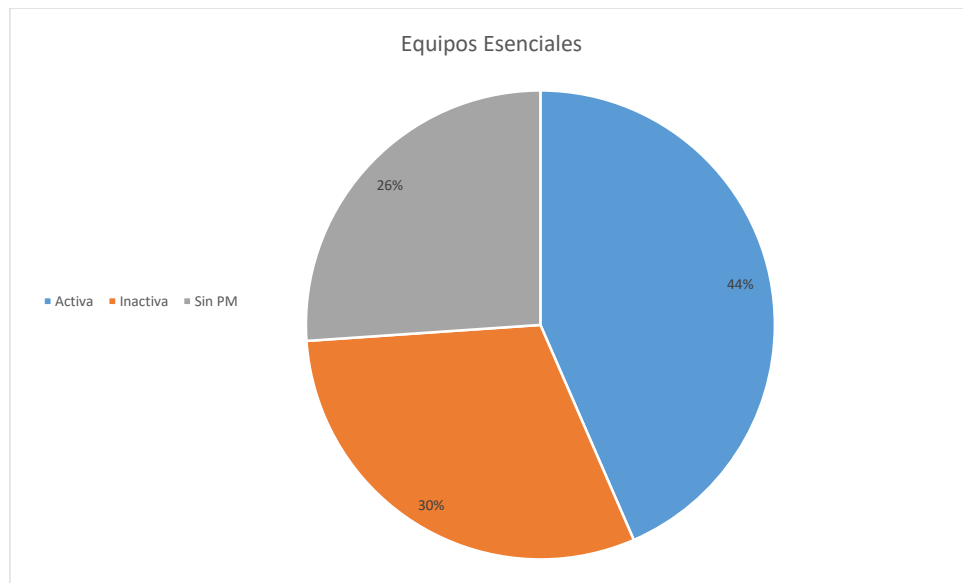
Tabla 4 Equipos críticos que no cuentan con un plan de mantenimiento.

| Ítem Mantenible |
|--|
| CCM DP-20600 |
| Cargador 24V LER22110 Panel de Control |
| Cargador 24V LER22110 Baterías |
| Cargador 24V LER22120 Panel de Control |
| Cargador 24V LER22120 Baterías |
| Puesta a Tierra y Apantallamiento |

La información presentada respecto a los equipos críticos pone en evidencia una de las principales falencias detectadas en la actual estrategia, para lo que igualmente se genera una excelente oportunidad de mejora que podría impactar directamente la clasificación de criticidad de algunos de estos equipos, para esto se propone realizar de manera urgente la creación de los planes (rutinas) de mantenimiento planeado o preventivo para los equipos críticos buscando con esta acción disminuir su criticidad.

En cuanto a los equipos esenciales, su distribución se muestra en la figura 28, allí se identifica que 10 de los 24 equipos cuenta con plan de mantenimiento ejecutándose de forma adecuada, otros 7 cuentan con un plan de mantenimiento inactivo en SAP y que lleva a ejecutar solicitudes de trabajos de mantenimiento de forma manual y no por alerta automática del CMMS (SAP) y por último se identifican 7 equipos que no cuentan con un plan de mantenimiento establecido.

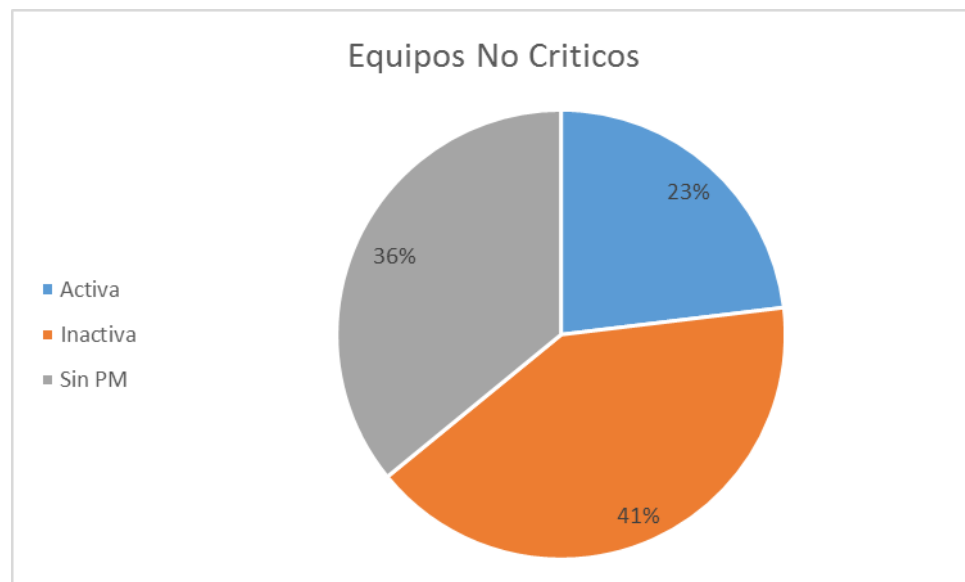
Figura 28 Estado de equipos esenciales en el plan de mantenimiento actual



Para este grupo de equipos esenciales, se propone cargar de manera oportuna en el CMMS (SAP) todas las rutinas (planes) de mantenimiento que ya se encuentran elaborados para así poder incluirlos en la programación del mantenimiento preventivo. Por otra parte, se deben crear los planes para los equipos que aún no lo tienen, usando los reportes manuales realizados según el histórico y en base a los manuales técnicos de cada equipo.

De los equipos no críticos, se identificó que 9 de ellos cuentan con planes de mantenimiento activos que se disparan de forma automática desde el CMMS y que se ejecutan de forma adecuada según los registros, sin embargo, 16 equipos cuentan con plan de mantenimiento pero que no se encuentra activado desde el CMMS, por lo que hay que realizar las solicitudes de forma manual y por último, 14 equipos que no cuentan con plan de mantenimiento y no cuentan con trazabilidad dependiendo de la experticia humana del encargado de la gestión del mantenimiento.

Figura 29 Estado de equipos No críticos en el plan de mantenimiento actual



En esta categoría, la de mayor contenido de equipos, se propone una mejora muy similar a la de los equipos esenciales, se deben incluir en la programación del mantenimiento en SAP, los subsistemas que ya tienen su respectivo plan de mantenimiento, dada su clasificación de no críticos, se recomienda elaborar paulatinamente los planes para los equipos faltantes, evaluando y considerando cuales en realidad lo necesitan y cuáles no, para ésta determinación es de gran ayuda consultar el histórico de falla para cada ítem.

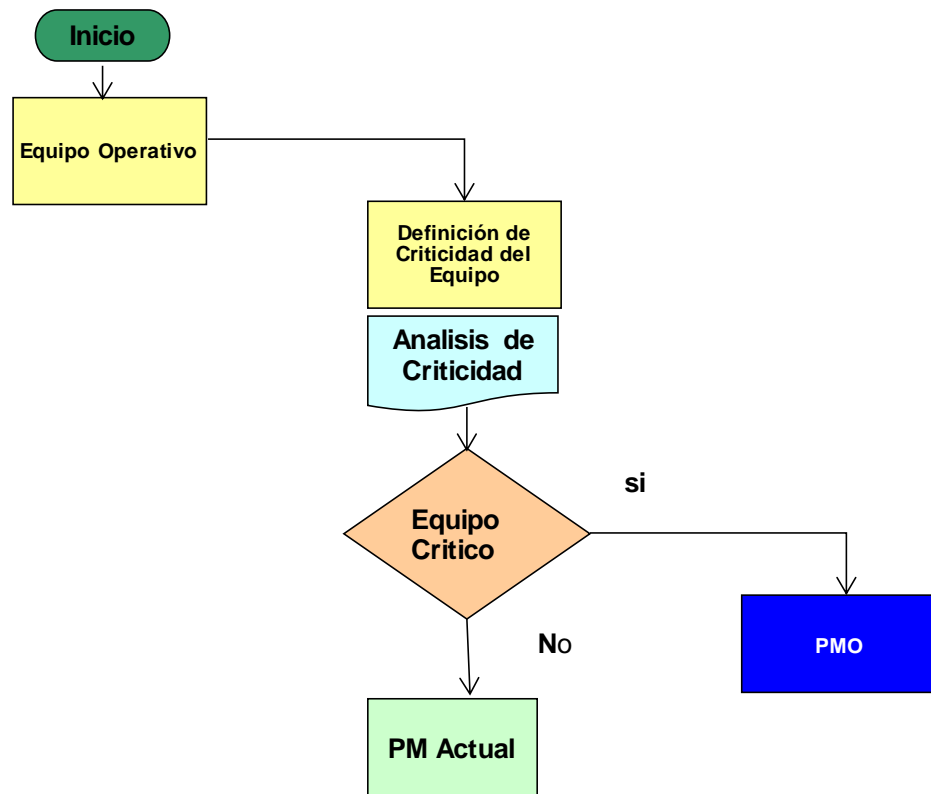
8.2. DIAGRAMA DE DECISION

Como propuesta general para contribuir al mejoramiento de la actual estrategia de mantenimiento se diseñó un diagrama de decisión el cual, basa su determinación (el hacer), desde el punto de vista del análisis de criticidad, el diagrama diseñado se puede observar en la figura 30.

El objetivo principal de este diagrama de decisión, es brindar un lineamiento y criterio de elección claro y preciso sobre el tratamiento que debe darse a cada uno de los activos pertenecientes al sistema de generación evaluados.

El flujo para la decisión es sencillo, iniciando con la selección del equipo a evaluar según el árbol de equipos desarrollado, luego, realizar la valoración de criticidad de acuerdo a la matriz, por último, si el equipo resulta crítico se propone realizar su inclusión en la estrategia de PMO y si no lo es, entonces se mantiene acorde con el plan actual siempre y cuando lo tenga si no, se debe iniciar proceso para su creación.

Figura 30 Diagrama de decisión propuesto para el mejoramiento de la estrategia



De acuerdo al diagrama de decisión propuesto, los equipos a los cuales se les debe realizar la metodología PMO2000 son:

Tabla 5 Equipos a los que se debe realizar un PMO

| Ítem Mantenible | Tipo de Equipo | Clase de Equipo |
|--|----------------|-------------------------|
| SWG-20600 | Operativo | switchgear |
| SWG-22110 | Operativo | switchgear |
| SWG-22120 | Operativo | switchgear |
| DP-20600 | Operativo | CCM |
| DC | Operativo | Tablero de Distribución |
| TURBINA SGT-400 | Operativo | Turbina |
| GENERADOR 14MVA | Operativo | Generador |
| TURBINA SGT-400 | Operativo | Turbina |
| GENERADOR 14MVA | Operativo | Generador |
| MOTOR CUMMINS | Contingencia | Motor de combustión |
| GENERADOR | Contingencia | Generador |
| Cargador 24V LER22110 Panel de Control | Operativo | Cargador |
| Cargador 24V LER22110 Baterías | Contingencia | Cargador |
| Cargador 24V LER22120 Panel de Control | Operativo | Cargador |
| Cargador 24V LER22120 Baterías | Contingencia | Cargador |
| BAT-20130 Banco de Baterías Ehouse | Contingencia | Baterías |
| Puesta a Tierra y Apantallamiento | Operativo | SPT |
| VÁLV BLOWDOWN A ESTACA VENT BDV-520002 | Contingencia | Válvula |
| F&G Generación | Contingencia | F&G |
| F&G LER 22110 | Contingencia | F&G |
| F&G LER 22110 | Contingencia | F&G |
| F&G EHOUSE | Contingencia | F&G |

De estos equipos críticos, de acuerdo a su clase, es posible agruparlos de forma que se simplifique la implementación de la metodología PMO de la siguiente manera:

Tabla 6 Agrupación de equipos críticos para realización de PMO

| Grupo | Cantidad de Equipos |
|-------------------------|---------------------|
| Cargador | 5 |
| F&G | 4 |
| Generador | 3 |
| Motor de combustión | 1 |
| SPT | 1 |
| Switchgear | 3 |
| Tablero de Distribución | 1 |
| Turbina | 2 |
| Válvula | 1 |
| CCM | 1 |

Como se mencionó anteriormente, en el análisis de la auditoria se identificó que 6 de los 22 equipos críticos no cuentan con planes de mantenimiento en la actualidad, por lo cual para estos equipos se plantea realizar un análisis FMEA que permita contar con el plan de mantenimiento correcto, teniendo en cuenta su importancia dentro del sistema.

A estos 6 equipos es posible agruparlos de la siguiente manera:

Tabla 7 Equipos críticos recomendados para realizar AMEF

| Ítem Mantenible | Cantidad |
|--|----------|
| CCM | 1 |
| Cargador | 4 |
| Sistema de Puesta a tierra y apantallamiento | 1 |

Como complemento para la propuesta de mejoramiento y a manera de guía para la realización de los faltantes, en el ANEXO C se presentan los AMEF para los equipos contenidos en la tabla 7.

9 CONCLUSIONES

La auditoría a la gestión del mantenimiento permite identificar falencias en los diferentes procesos del área de mantenimiento de forma que se puedan estructurar planes de acción en búsqueda la mejora continua y la optimización de los costos.

Es recomendable establecer como política de la organización la realización de auditorías periódicas y cada vez que se realicen proyectos que puedan llegar a afectar la estructura de la estrategia.

La base para estructurar el plan de mantenimiento de una organización es una correcta taxonomía de los diferentes equipos e ítems mantenibles, puesto que ayuda a tener claro el tipo y la cantidad de equipos para poder plantear las políticas correctas y la adecuada selección de las acciones que lleven a garantizar el funcionamiento correcto de los activos.

La organización de los activos según la norma ISO14424 permitió identificar de forma más sencilla las falencias en la estrategia de mantenimiento actual.

La identificación de los activos críticos de la organización permite establecer tareas de mantenimiento predictivo adicionales a las tareas de mantenimiento preventivo para garantizar que los modos de falla no se presenten dado su alto impacto a la organización

La propuesta de mejora presentada es de fácil y rápida implementación en la organización, lo que permitirá ver el impacto positivo en la estrategia de mantenimiento en un corto plazo.

BIBLIOGRAFIA

BALLESTEROS CORREA, Freddy. “Metodología para Implementar Modelo de Confiabilidad Basado en PMO para Concretos Argos S.A.”. Trabajo de Grado presentado ante la Universidad Industrial de Santander, para optar al Grado de Especialista en Gerencia de Mantenimiento. 2012.

BRITISH STANDARD. Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. BS EN ISO 14224: 2006. Brussels. Management Centre, 2007.

CHICA, Gustavo; HERNANDEZ, Juan. MODELO PARA IMPLEMENTACIÓN DE PMO (PLANNED MAINTENANCE OPTIMIZATION). Medellín: Universidad EAFIT, 2009.93 p

GUERRERO ORTEGA, Mónica del pilar. Optimización de planes de mantenimiento basados en la metodología PMO para los sistemas principales de una locación remota de producción de gas. Trabajo de grado especialización en gerencia de mantenimiento. Bucaramanga: Universidad industrial de Santander, 2017, 86 p.

HERNÁNDEZ, Saúl. Metodología para optimizar la gestión de mantenimiento basado en PMO para las plantas y centros de generación Tello y Dina bajo IBM-MAXIMO. Bucaramanga, 2016. 72 p.

MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento industrial Efectivo. 1 ed. Medellín. Editorial AMG, 2005.306p

MOUBRAY, John. RCM Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. 1ª Edición en español. Buenos Aires. 2004. 433p.

NORSOK STANDARD. Criticality analysis for maintenance purposes. Z-008: 2001. Rev 2. Oscarsgt. Norwegian Technology Centre, 2001.

OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PLANEADO – PMO (Planned Maintenance Optimization) [En línea] (recuperado en 8 de octubre 2018) Disponible en <https://www.ipeman.com/cursos/2009/enero/26-27/articulo.doc>

TURNER, Steve. MBA. OMCS.PM Optimization Programs Maintenance, Analysis for Results. 2002. (Recuperado en 12 de junio 2018) Disponible en Internet: infola@omcsinternational.com, <https://www.maintenance.org/topic/comparingrcm-with-pmo2000>

ANEXOS

ANEXO A. JERARQUIA_DE_EQUIPOS_ISO14224

ANEXO B. ANÁLISIS_DE_CRITICIDAD

ANEXO C. AMEF_EQUIPOS_CRITICOS_SIN_PLAN