

MODELO DE MANTENIMIENTO BASADO EN PMO PARA TERMOFORMADORA
MATER II DE LA EMPRESA SUPERPOLO S.A.S.

RAÚL QUINTERO GARZÓN

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BOGOTÁ
2022

MODELO DE MANTENIMIENTO BASADO EN PMO PARA TERMOFORMADORA
MATER II DE LA EMPRESA SUPERPOLO S.A.S.

RAÚL QUINTERO GARZÓN

Trabajo de grado para optar el título de especialista en gerencia de mantenimiento

DIRECTOR
JESÚS DAVID MARRIAGA RÍOS
Magister en Ingeniería Administrativa

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ
2022

DEDICATORIA

A mi pareja Bibiana.

Quien me apoyó durante todo el proceso y me alentó a continuar con mi desarrollo personal y profesional.

A mi Familia

Por siempre estar alentándome y apoyándome durante todo el tiempo incondicionalmente.

A la empresa Superpolo S.A.S

Por el desarrollo profesional, brindar los recursos y desarrolló de este trabajo en la organización.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. GENERALIDADES EL PROYECTO	17
1.1 MARCO CONTEXTUAL	17
1.1.1 GENERALIDADES	17
1.1.2 RESEÑA HISTÓRICA.....	18
1.1.3 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	21
1.1.3.1 VISIÓN.....	21
1.1.3.2 MISIÓN	21
1.1.4 PROCESO	22
1.1.4.1 FABRICACIÓN DE COMPONENTES.....	22
1.1.4.2 ESTRUCTURAS	23
1.1.4.3 MONTAJE A	24
1.1.4.4 FIBRA	26
1.1.4.5 ÁREA DE PINTURA.....	27
1.1.4.6 ÁREA DE MONTAJE B.....	28
1.1.4.7 SUBENSAMBLES.....	29

1.1.4.8 CONTROL FINAL	30
1.1.4.9 OK FINAL.....	32
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	32
1.3 OBJETIVOS.....	33
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	33
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	33
1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	34
2. MARCO TEÓRICO	35
2.1 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO.....	35
2.2. HISTORIAL DE LOS HECHOS RELEVANTES QUE INCIDEN EN EL MANTENIMIENTO VIGENTE.....	37
2.3 TIPOS DE MANTENIMIENTO	38
2.3.1 MANTENIMIENTO CORRECTIVO	38
2.3.2. MANTENIMIENTO MODIFICATIVO	39
2.3.3. MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	41
2.3.4 MANTENIMIENTO PROACTIVO.....	42
2.3.5 MANTENIMIENTO CONDICIONAL O PREDICTIVO	44
2.4 FILOSOFÍAS DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO.....	45
2.4.1 RCM, MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD.	45

2.4.1.1 LAS SIETE PREGUNTAS BÁSICAS DEL RCM.....	46
2.4.1.2 BENEFICIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL RCM.....	47
2.4.1.3 DIFERENTES TIPOS DE FUNCIONES.....	48
2.4.1.4 EQUIPO INTERDISCIPLINARIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN.....	49
2.4.2. OPTIMIZACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PMO.....	50
2.4.2.1 ETAPAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PMO.....	53
2.4.3. COMPARATIVO RCM & PMO.....	61
3. DESARROLLO.....	64
3.1. APOYO DE LA ALTA DIRECCIÓN.....	64
3.2. EQUIPOS CRÍTICOS.....	64
3.2.1. PASOS PARA DETERMINAR LA CRITICIDAD.....	65
3.3. CONFORMACIÓN DEL EQUIPO DE TRABAJO.....	69
3.4. DESARROLLO DEL PROCESO DE PMO.....	70
3.4.1. RECOPIACIÓN DE TAREAS.....	70
3.4.2. ANÁLISIS DE CAUSAS DE FALLA (FMA).....	73
3.4.3. RACIONALIZACIÓN Y REVISIÓN DEL (FMA).....	76
3.4.4. ANÁLISIS FUNCIONAL.....	78
3.4.5. EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS.....	78

3.4.6. DEFINICIÓN DE POLÍTICAS DE MANTENIMIENTO.....	80
3.4.7. AGRUPACIÓN Y REVISIÓN	83
3.4.8 APROBACIÓN E IMPLEMENTACIÓN	85
3.4.9. PROGRAMA DINÁMICO	85
4. RESULTADO OBTENIDO	86
5. COMPETENCIA TÉCNICAS.....	92
6. CONCLUSIONES	95
BIBLIOGRAFÍA.....	97
ANEXOS.....	99

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Comportamiento de los últimos tres años.....	34
Tabla 2. Metas y comportamientos de indicadores 2020.....	35
Tabla 3. Análisis De Modo De Falla OMCS.....	55
Tabla 4. Modos De Fallas dominantes OMCS.....	56
Tabla 5. Modos De Fallas dominantes OMCS.....	56
Tabla 6. Criticidad.....	65
Tabla 7. Frecuencia.....	65
Tabla 8. Ponderación de frecuencia.....	66
Tabla 9. Ponderación Impacto Operacional.....	66
Tabla 10. Impacto por flexibilidad Operacional (FO).....	67
Tabla 11. Impacto en costos de mantenimiento (CM).....	67
Tabla 12. Impacto en seguridad, higiene y ambiental.....	67
Tabla 13. Ponderación de Criticidad.....	68
Tabla 14. Matriz de Equipos críticos Superpolo SAS.....	68
Tabla 15. Recopilación de tareas.....	71
Tabla 16. Taxonomía termoformadora Mater II.....	73
Tabla 17. Histórico modos de falla.....	74
Tabla 18. Análisis modo de falla (FMA).....	75
Tabla 19. Tareas duplicadas.....	76

Tabla 20. Tareas no claras o sin relevancia	76
Tabla 21. Racionalización y revisión del (FMA).....	77
Tabla 22. Evaluación de consecuencias.....	79
Tabla 23. Tareas optimizadas.....	82
Tabla 24. Agrupación plan de mantenimiento mater II Infomante.....	84
Tabla 25. Frecuencias y actividades antes de la implementación	87
Tabla 26. Frecuencias y tipos de tarea.....	87
Tabla 27. Comparativos tiempos de ejecución	88
Tabla 28. Metas y comportamientos de indicadores 2020 - 2021	91
Tabla 29. Ponderación de competencias.....	93
Tabla 30. Ponderación del conocimiento en máquinas crítica	94

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Panorámica Superpolo S.A.S	17
Figura 2. Ubicación Superpolo S.A.S	21
Figura 3. Mapa de proceso de Superpolo.....	22
Figura 4. Diagrama de la metodología RCM	45
Figura 5. Diagrama de la metodología RCM	50
Figura 6. Diagrama de Patrones de fallas PMO	51
Figura 7. Etapas PMO	53
Figura 8. Fuentes de mantenimiento preventivo (PM)	54
Figura 9. Tipos de falla.	58
Figura 10. Definición de las políticas de mantenimiento.....	59
Figura 11. Enfoque de las tareas predicativas, básicas y especializadas	60
Figura 12. PMO - RCM: enfoque y resultados.....	62
Figura 13. Análisis de costos rapidez y beneficio	63
Figura 14. Conformación del equipo interdisciplinario.	69
Figura 15. Fuentes de información	70
Figura 16. Taxonomía de sub-equipos	72
Figura 17. Diagrama de decisión	80
Figura 18. Tiempos de ejecución.....	88
Figura 19. Tiempos de ejecución.....	89

Figura 20. Cronograma proyección de ejecución por actividad	89
Figura 21. Cronograma proyección implementación	90

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Foto 1. Fabricación de componentes Superpolo S.A.S.	23
Foto 2. Estructuras Superpolo S.A.S.	24
Foto 3. Montaje A Superpolo S.A.S.	25
Foto 4. Fabricación de Fibra Superpolo S.A.S	26
Foto 5. Área de pintura Superpolo S.A.S.....	28
Foto 6. Área de Montaje B Superpolo S.A.S	29
Foto 7. Subensambles Superpolo S.A.S	30
Foto 8. Control Final Superpolo S.A.S.....	31
Foto 9. Articulado BRT	32

RESUMEN

TITULO: MODELO DE MANTENIMIENTO BASADO EN PMO PARA TERMOFORMADORA MATER II DE LA EMPRESA SUPERPOLO S.A.S.

AUTOR: Raúl Quintero Garzón

PALABRAS CLAVES: Procesos, termoformado, implementación, metodología

DESCRIPCIÓN: En la compañía Superpolo S.A.S fabricante de carrocerías, hay diferentes procesos en línea de ensamble y áreas de apoyo que están engranadas para la obtención del producto final. En las líneas de apoyo se encuentra el área de fibra, encargada de suplir piezas de fibra y termoformado a las líneas de acuerdo con la demanda del proceso productivo. En termoformado hay tres termoformadoras de la cual hay una que esta categorizada como equipo crítico de acuerdo con la matriz de criticidad de la organización.

El desarrollo de la implementación de PMO inicia con el apoyo de la alta gerencia, parte fundamental para el cumplimiento de los objetivos trazados y el compromiso de los diferentes niveles, sin este apoyo se dificulta el desarrollo de la metodología.

En este documento se encontrará el desarrollo de la implementación de PMO, de acuerdo con los pasos establecidos en la metodología y desarrollado por un equipo interdisciplinario y tomando como base la información de manuales, experiencia del equipo, fallas recurrentes de la máquina e información del software de mantenimiento, permitiendo agrupar las tareas actuales, realizar análisis de falla para la optimización de las actividades y evidenciar que se tenían tareas repetidas y otras que no agregaban ningún valor al proceso de mantenimiento.

ABSTRACT

TITLE: MAINTENANCE MODEL BASED ON PMO FOR TERMOFORMADORA
MATER II OF THE COMPANY SUPERPOLO S.A.S:

AUTHOR: Raúl Quintero Garzón

KEY WORDS: Processes, thermoforming, implementation, methodology

DESCRIPTION: In the company Superpolo S.A.S, a bodywork manufacturer, there are different assembly line processes and support areas that are geared towards obtaining the final product. In the support lines is the fiber area, in charge of supplying fiber pieces and thermoforming to the lines according to the demand of the production process. In thermoforming there are three thermoformers of which there is one that is categorized as critical equipment according to the criticality matrix of the organization. The development of the PMO implementation begins with the support of senior management, a fundamental part for the fulfillment of the objectives set and the commitment of the different levels, without this support the development of the methodology is difficult.

In this document you will find the development of the PMO implementation, according to the steps established in the methodology and developed by an interdisciplinary team and based on the information from manuals, team experience, recurrent machine failures and software information. maintenance, allowing to group current tasks, perform failure analysis to optimize activities and show that there were repeated tasks and others that did not add any value to the maintenance process.

INTRODUCCIÓN

En un mundo cada vez más competitivo es imperativo que las organizaciones desarrollen estrategias que permitan la mejora continua de sus métodos productivos, teniendo como beneficios la optimización de estos. Superpolo S.A.S, es una empresa madura en todos sus procesos que a pesar de tener un mantenimiento estructurado y que se desarrolla con un estricto cumplimiento de los cronogramas y tareas para los diferentes equipos, máquinas e infraestructura, se evidencia que no hay una metodología estructurada que permita evaluar las actividades, recursos y procedimientos, mejorando la confiabilidad y optimización de estos en la organización.

En búsqueda que el plan de manteniendo tenga una metodología estructurada, mantenga un constante dinamismos y de acuerdo con los beneficios planteados se adopta la metodología basada en PMO en los equipos críticos de la compañía.

Esta metodología es adoptada porque parte del plan de mantenimiento ya establecido y estructurado, el tiempo de desarrollo es menor a otros métodos, maximiza la confiabilidad de los activos, reduce los tiempos de paradas, incrementando la capacidad operativa, aumento de la confiabilidad del personal, reducción de costos fallas en producción, mejora en los estándares de seguridad industrial y medio ambiente, incrementa el sentido de pertenencia de personal al hacerlo partícipes de la implementación.

El plan piloto se desarrolla en la máquina Termoformadora Mater II, que se encuentra en área de fibra, zona de termoformado, es la más crítica de la compañía. Se establecen los pasos, documentos y metodología para la implementación en otros equipos o máquinas crítica de la organización. Es conveniente el apoyo incondicional de la alta gerencia que permita enfocar los recursos necesarios para el desarrollo de la metodología, permitiendo obtener los objetivos, metas y beneficios que se desprenden de la ejecución de PMO.

1.1.2 Reseña histórica

La compañía avanza en el mejoramiento del proceso de producción y en la supervisión de sus diferentes etapas para lograr disminuir tiempos y controlar con los procesos utilizando dispositivos y conformadores que aseguran uniformidad, calidad y rapidez al fabricar carrocerías. A través de la información de los usuarios y clientes como de la participación en ferias automotrices internacionales se ha innovado los modelos tanto en buses urbanos e intermunicipales, al igual que en microbuses y busetas urbanas, integrando dentro del producto elementos y accesorios de la más moderna tecnología.

SUPERBUS DE BOGOTÁ, fue fundada en el año 1956. En su comienzo importaba carrocerías de la *Superior Coach* de los Estados Unidos para ser armadas en Colombia. Con el transcurso del tiempo, la empresa inició la importación de material CKD y otras piezas hasta lograr fabricar la carrocería con una integración nacional cercana al 90%. La empresa contaba con una Planta de Producción ubicada en la ciudad de Bogotá y talleres de posventa en las ciudades de Medellín y Cali.

MARCOPOLO, fue fundada en 1949 es una empresa que invierte en tecnología, perfeccionamiento y superación. Preocupada con la calidad de vida de sus colaboradores y de las comunidades donde actúa, Marcopolo creció junto a sus iniciativas en educación, ciudadanía y gestión ambiental. Es uno de los mayores

fabricantes de carrocerías de autobuses del mundo y recientemente pasó a actuar también en los segmentos de LCV, piezas y componentes de productos plásticos.

SUPERPOLO S.A.S, nació en el año 2001, fruto de la alianza entre SUPERBUS DE BOGOTÁ S.A. Colombia y MARCOPOLO Brasil, con el objetivo ensamblar los buses articulados para el sistema Transmilenio y sus Alimentadores.

Superpolo ensambla carrocerías para todo tipo de chasis, siendo los buses articulados para el sistema de transporte masivo Transmilenio su diseño más reconocido. Actualmente cuenta con una capacidad instalada para producir más de 350 carrocerías mensuales y con un proceso de diseño y desarrollo (desde casa Matriz) responsable del mejoramiento permanente de nuestro producto. En mayo del año 2006 obtuvo por primera vez la certificación de su Sistema Integral de Gestión basado en la Norma ISO 9001:2000 otorgado por el ICONTEC. En el año 2009 inició la transición de la norma ISO 9001:2000 hacia la nueva versión 2008, logrando la renovación en mayo del 2009. En el año de 2015 obtuvimos la nueva renovación del certificado ISO 9001:2008 y en el año 2017 obtuvimos la nueva renovación del certificado ISO 9001:2015.

Día a día se avanza en el mejoramiento del proceso de producción y en la supervisión de sus diferentes etapas para lograr disminuir tiempos y controlar los diferentes procesos utilizando dispositivos y conformadores que aseguran uniformidad, calidad y rapidez al fabricar carrocerías. A través de la información de

los usuarios y clientes como de la participación en ferias automotrices internacionales se ha innovado los modelos tanto en buses urbanos e intermunicipales, al igual que en microbuses y busetas urbanas, integrando dentro del producto elementos y accesorios de la más moderna tecnología.

En el año 2007 se inició la producción de carrocerías en la nueva unidad industrial, ubicada en el municipio de Cota (Cundinamarca), con lo cual se convierte en la ensambladora de carrocerías con mayor tecnología, desarrollo industrial y capacidad de producción del pacto andino y centro América.

Hoy se ensamblan carrocerías para buses, busetas, colectivos, articulados y vehículos especiales para carga y pasajeros en la Nueva Unidad Industrial en Cota, con nuestra nueva razón social, SUPERPOLO S.A.S. Los procesos de desarrollo nos permiten contar hoy con modelos como él, BRT, PARADISO G7, AUDACE MIDI, TORINO, de gran aceptación en el medio del transporte y los cuales nos permiten seguir abriendo puertas para exportar nuestros productos, Contamos con representantes de ventas en ciudades como Barranquilla, Ibagué, Armenia, Medellín, Cali entre otras ciudades de Colombia, dando así cubrimiento a nivel nacional¹.

1 SUPERPOLO S.A. – SIGS, M01 Manual de Calidad 2020

Figura 2. Ubicación Superpolo S.A.S



Fuente: <https://www.google.com/maps/place/Marcopolo+Superpolo> 2018

1.1.3 Estructura organizacional

1.1.3.1 Visión

Para el 2025 seremos una compañía líder e innovadora en soluciones integrales de transporte de pasajeros, con una sólida gestión que contribuya al desarrollo de nuestro país

1.1.3.2 Misión

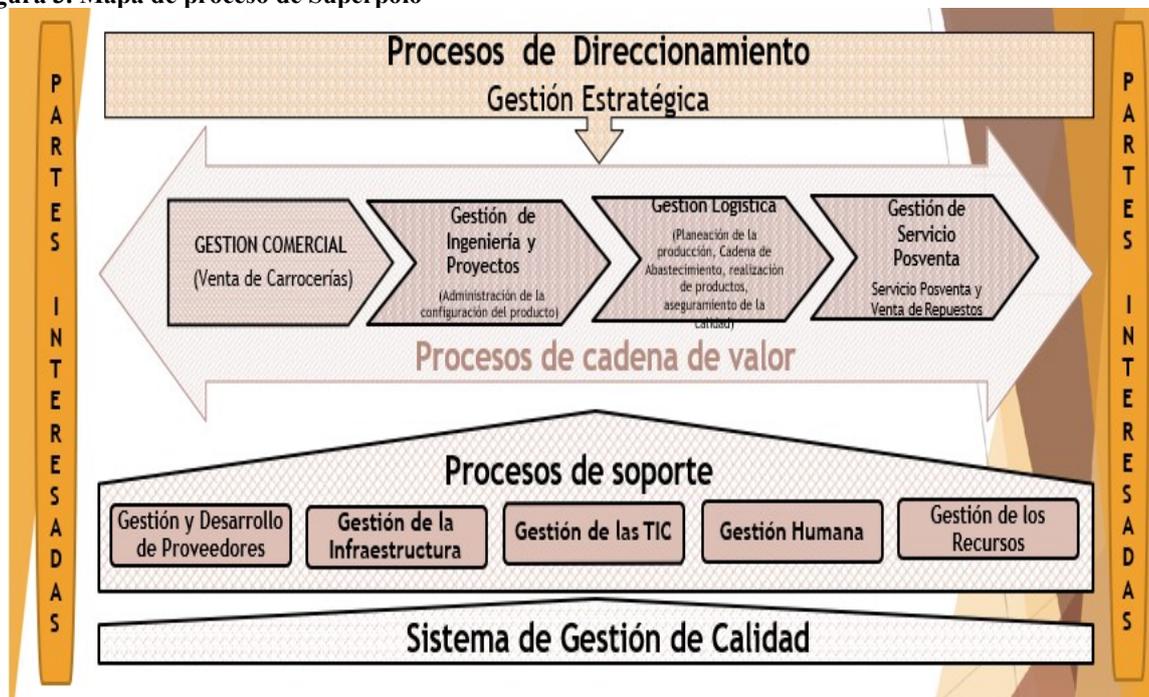
Asesorar y proveer soluciones de alta calidad para el transporte terrestre de pasajeros, dedicando todos nuestros esfuerzos a:

Superar las expectativas de nuestros clientes.

Consolidar una cultura de responsabilidad social y ambiental.

Mantener niveles de rentabilidad y crecimiento.

Figura 3. Mapa de proceso de Superpolo



Fuente: M01-Manual de calidad Superpolo 2020

1.1.4 Proceso.

1.1.4.1 Fabricación de componentes

Está dividida en tres células de trabajo, Chapa, tubería y soldadura. Se corta, se doblan, perfora tubería y láminas de diferentes espesores de acuerdo con las especificaciones del modelo programado.

Para su proceso cuenta con maquinaria y equipos de última tecnología como cortadora láser, robot plasma, curvadoras de tubería 2D y 3D, entre otros.

Foto 1. Fabricación de componentes Superpolo S.A.S.



1.1.4.2 Estructuras

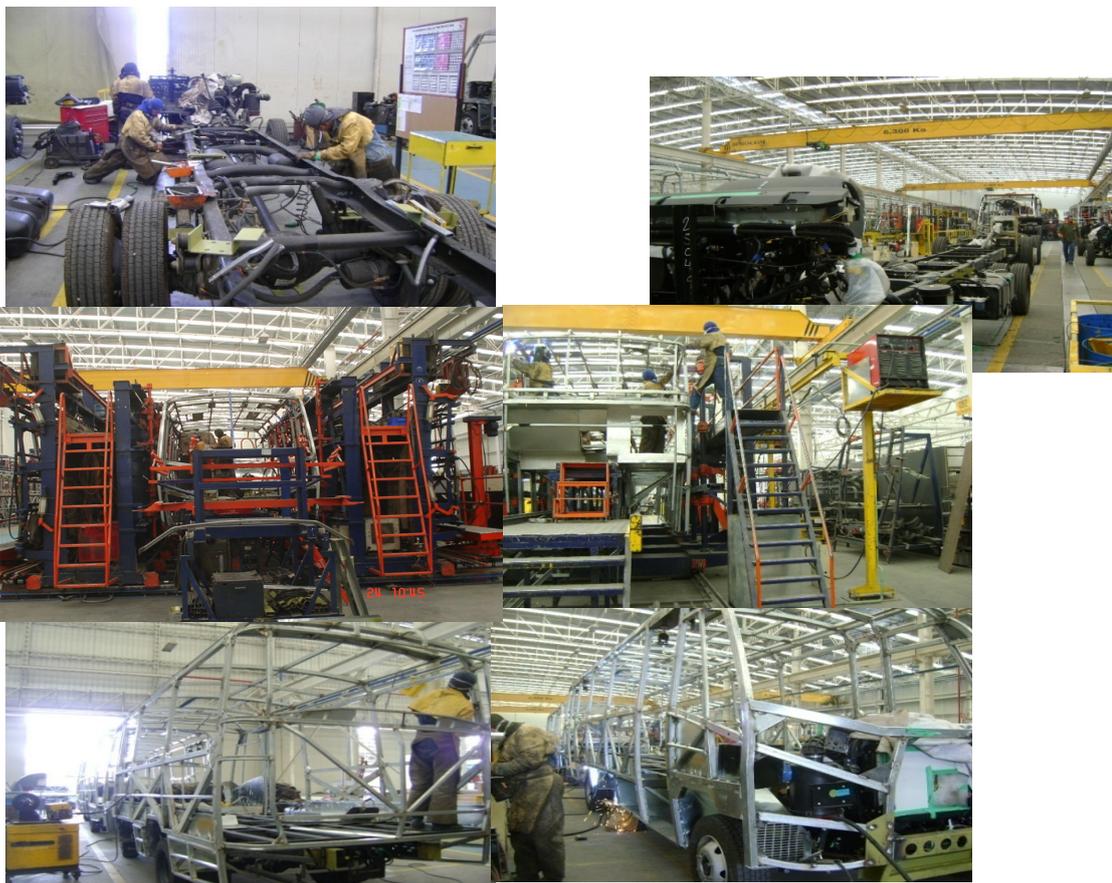
Está dividida en cuatro sectores, alistamiento de chasis, como su nombre lo indica se realiza la preparación del chasis de acuerdo con los requerimientos del modelo, reubicación e instalación de soportes de carrocería.

Sector de Gabaritos, en donde se hace ensambles laterales, techo y carrocería en general, se realiza el montaje de las estructuras en gabaritos, (pisos, laterales, frontales y traseras). Acoplamiento de estas partes utilizando el proceso de soldadura MIG.

Terminación estructural, ensamble de la estructura al chasis mediante proceso MIG y uniones atornilladas.

Protección a las soldaduras con primer rico en ZINC, aplicación de película de PVC, primer anticorrosivo e inyección de poliuretano en estructura.

Foto 2. Estructuras Superpolo S.A.S.

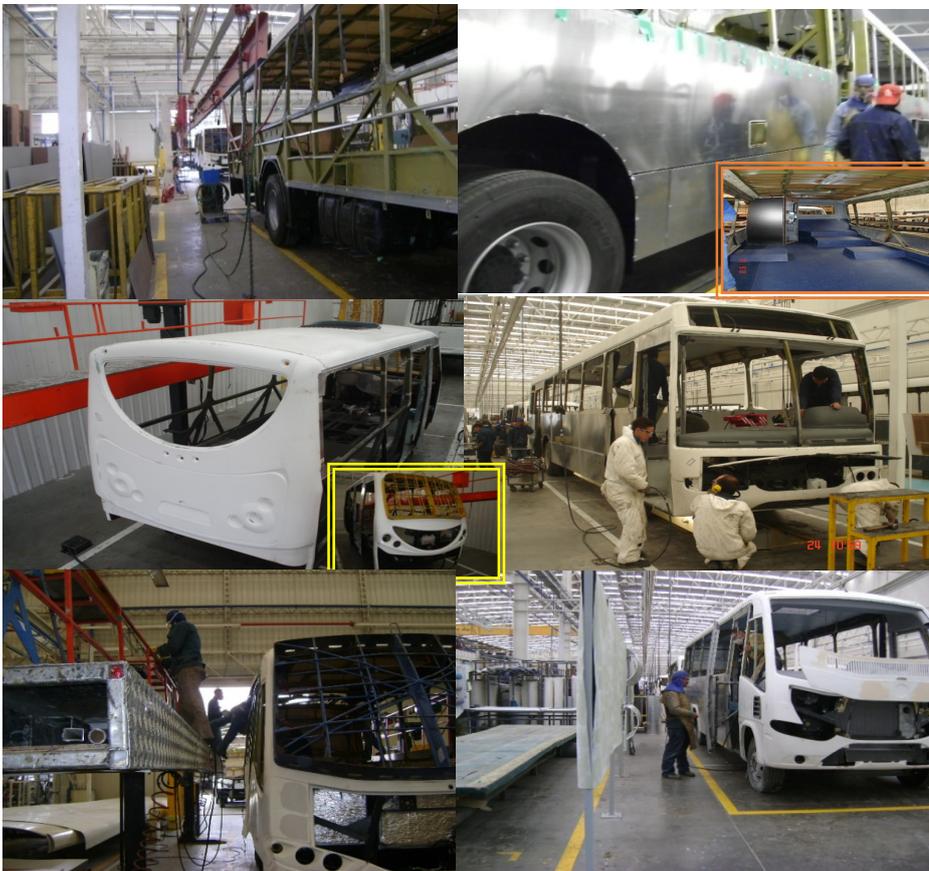


1.1.4.3 MONTAJE A

En esta área se realizan las actividades de revestimiento de exteriores, Cubierta de techo, frente y trasera en fibra de vidrio, piso en madera, ruteo eléctrico y neumático, flameado de láminas, aplicación de aislamiento térmico (opcional), forrado bodega.

Montaje Fibras Internas, tapas de Inspección Bajo Piso, Montaje de Cascos internos, consola, terminaciones eléctricas y neumáticas bajo piso, tapizado y liberación, aplicación de adhesivo y pegue de tapizado piso interior, terminaciones como bocales y soldadura PVC para uniones entre el tapizado. Conexiones eléctricas de techo, parlantes, luces pasillo.

Foto 3. Montaje A Superpolo S.A.S.



1.1.4.4 FIBRA

En esta área se realizan las siguientes actividades: alistamiento de moldes y aplicación de Gel Coat, alistamiento molde de la pieza que se desea fabricar y luego se le aplica la base de Gel Coat (recubrimiento para mejorar la terminación).

Foto 4. Fabricación de Fibra Superpolo S.A.S



Proceso de Laminación, Aquí se aplica la Resina y la Fibra sobre el molde y luego se lamina la fibra con rodillos para darle forma a la pieza según el molde.

Curado y Desmolde de la Pieza: La pieza es enviada al horno de secado dentro del molde, para luego ser desmoldada y pasar al proceso de terminación.

Terminación de Piezas: En este sector se hace la terminación final de la pieza para que sea llevada a planta principal para su respectivo ensamble.

Termoformado: El proceso de Termoformado consiste en transformar una lámina de resina plástica (ABS) en objetos o partes, utilizando un molde múltiple y una máquina termoformadora. Dicha máquina calienta la lámina de resina plástica forzándola a entrar en el molde provocando vacío en la parte superior y empujando con aire comprimido en la parte inferior. Cuando la pieza está formada es expulsada del molde.

1.1.4.5 Área de Pintura

Dentro del área de pintura vamos a encontrar los siguientes procesos preparación superficie, Desengrase de superficies, Aplicación de masillas de alto y bajo relleno, pulido y matizado. Eliminación de imperfecciones. Ajuste de tapas capot, puertas bodegas, aplicación de fondo.

Aplicación De Pintura En Cabina, Proceso llamado húmedo sobre húmedo, aplicación de pintura poliuretano sobre la base aplicada sin secado total del Metalok. Horneado a 65°C en un tiempo de 40 minutos.

Liberación del vehículo, liberación del vehículo, alistamiento para divisas y entrega a montaje b.

Foto 5. Área de pintura Superpolo S.A.S



1.1.4.6 Área de Montaje B

El este sector se realizan las siguientes actividades instalación de palomeras, vidrios Y puertas

Instalación, montaje de ventanas y panorámicos, inspección bajo piso, aplicación de masa y ruteo eléctrico y neumático.

Instalación de silletería y pasamanos, Instalación de accesorios, flexales, acrílicos, cauchos pasaruedas, guardapolvos.

Terminaciones Finales Instalaciones eléctricas, empaques, tapas bocales techo.

Aseo General Y Aprobación Del Vehículo Inspección de componentes críticos y verificación del cumplimiento del P.V

Foto 6. Área de Montaje B Superpolo S.A.S



1.1.4.7 Subensambles

Área en la que se preensamblan partes previó al montaje como: chapeo puertas, bodegas, terminación de puertas de servicio, preensambles neveras, camarotes, entre otros.

Foto 7. Subensambles Superpolo S.A.S



1.1.4.8 Control Final

Prueba funcional, verificación del funcionamiento eléctrico, tablero controles, sistema de aire, cocuyos, direccionales, farolas, entre otros. Esto se hace por medio de una lista de chequeo establecida por el área de Calidad.

Prueba de carreteo: Verificación del funcionamiento mecánico, cambios, dirección, sistema neumático, entre otros. haciendo un recorrido de 3 Km. por fuera de la compañía.

Prueba de filtración: verificación que el vehículo no presente entradas de agua por ventanas, claraboyas, panorámicos, puertas, marcos, entre otros. Se hace dejando el vehículo 10 min. (bus pequeño) 25 min. (bus grande) en la cabina de filtraciones.

Prueba mecánica: se verifica que lo reportado en la prueba de carreteo haya quedado solucionado y que tenga el combustible indicado para aprobar el vehículo.

Foto 8. Control Final Superpolo S.A.S



1.1.4.9 Ok Final

Una vez el Vehículo ha cumplido su ensamble según requerimientos por el cliente en el P.V y lleva los 4 sellos de las pruebas finales y de pintura; el Auditor de Calidad pondrá el quinto sello de OK final. En este momento el vehículo está listo para realizarle la auditoria PDI (inspección final al producto terminado), y luego ser entregado por el departamento comercial al cliente.

Foto 9. Articulado BRT



1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la empresa Superpolo S.A.S, fabricante de carrocerías para vehículos automotores, se encuentra el área de Fabricación de fibras, encargada de realizar transformación de materia prima. Cuenta con procesos de fabricación de fibras

internas, externas, fabricación de techos y termoformados, para el suministro a los diferentes montajes.

El área de termoformado cuenta con tres máquinas para su operación, dos de estas trabajan el mismo formato y un nivel de producción del 50% aproximadamente, si falla una, la otra máquina puede suplir la demanda de la compañía, contrario a la termoformadora Mater II, esta máquina trabaja un formato mayor y no hay otra máquina que pueda suplir la demanda de la producción. Durante los últimos tres años el correctivo de esta máquina es superior al 46%, generado pérdidas de productividad y competitividad.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar un modelo de mantenimiento basado en la metodología de Optimización del plan de mantenimiento (PMO), para la Termoformadora Mater II de la célula de termoformado en el área de fabricación de fibras en la compañía Superpolo S.A.S, con el fin de mejorar su disponibilidad y confiabilidad.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Establecer los recursos de personal, equipos e insumos para la implementación de PMO en la organización.

- Evaluar la relación costo beneficio para la implementación en los equipos críticos de la organización.
- Establecer metodología, formatos y guía para la implementación de PMO en equipos críticos de la organización.
- Reducir en un 10 % las tareas y frecuencias de mantenimiento preventivo después de la implementación.

1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Durante los años 2018, 2019 y 2020 la termoformadora Mater II es una de las máquinas con mayor número de correctivos en la compañía, durante el año 2020 tuvo un promedio de cuatro correctivos mes, es el promedio más alto a pesar del incremento de los preventivos durante este año con respecto a los años anteriores, afectando la disponibilidad y tiempo medio entre fallas, como se puede evidenciar en la tabla 1.

Siendo un equipo crítico en la célula de termoformado, es importante disminuir la frecuencia de fallas, aumentar la confiabilidad y optimizar los recursos empleados en la manutención de la máquina.

Tabla 1. Comportamiento de los últimos tres años

Mantenimiento	Intervenciones	%	Promedio correctivo mes
☰ 2018	59		
PACOR PARO CORRECTIVO	38	64%	3,2
PAPRE PARO PREVENTIVO	21	36%	1,8
☰ 2019	70		
PACOR PARO CORRECTIVO	47	67%	3,9
PAPRE PARO PREVENTIVO	23	33%	1,9
☰ 2020	96		
PACOR PARO CORRECTIVO	44	46%	4,0
PAPRE PARO PREVENTIVO	52	54%	4,7
Total general	225		

Fuente: Autor del proyecto.

Tabla 2. Metas y comportamientos de indicadores 2020

METAS INDICADORES 2020 BALANCED SCORECARD								
TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS (T.M.E.F)			TIEMPO MEDIO PARA REPARACION (T.M.P.R)			DISPONIBILIDAD		
Mala	Regular	Buena	Mala	Regular	Buena	Buena	Regular	Mala
<284	<299- 284>	>=300	>2,3	<2- 2,29>	<=1,99	> 98,91%	98% - 98,90%	< 97,9%

INDICADORES 2020								
MES	T. REQ	N.PAROS	T.PERD	T.FUNC.	T.M.E.F	T.M.P.R	DISPONIBILIDAD	OBSERVACIONES
ENERO	440	6	10,5	429,5	71,5833	1,75	97,61%	
FEBRERO	500	4	3,46	496,54	124,14	0,87	99,31%	
MARZO	320	5	16,13	303,87	60,77	3,23	94,96%	
ABRIL		2	4,5					No se reporta por pandemia
MAYO	546	4	2,41	543,59	135,90	0,60	99,6%	
JUNIO	483	6	13,14	469,86	78,310	2,19	97,3%	
JULIO	546	5	10,52	535,48	107,10	2,10	98,07%	
AGOSTO	504	6	11,59	492,41	82,07	1,93	97,70%	
SEPTIEMBRE	430	3	8,67	421,33	140,44	2,89	97,98%	
OCTUBRE	210			210			100,0%	
NOVIEMBRE	190	3	6	184	61,3333	2	96,8%	
DICIEMBRE	120	0	0	120			100,00%	
TOTAL TIEMPO PERDIDO EN HORAS			86,92					

Fuente: Autor del proyecto.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO.

Analizando el desarrollo de las empresas a lo largo del tiempo, se observa que las intervenciones de mantenimiento las máquinas se fueron resolviendo de distintas formas las principales máquinas eran atendidas por los propios usuarios, la técnica no estaba tan evolucionada y las reparaciones se realizaban tras la avería

o cuando éstas estaban a punto de producirse, la responsabilidad de las producciones y del buen funcionamiento correspondían al operador de la máquina. A medida que fue creciendo la complejidad de los equipos, los operadores necesitaron más ayuda especializada para afrontar las reparaciones. Este hecho da lugar a la aparición de talleres o servicios dentro de la propia planta.

Estos talleres disponían de personal con conocimiento y herramientas adecuadas para las reparaciones.

Con el aumento del tamaño de las industrias y la necesidad creciente de mantener el equipamiento en buen estado para la producción, los talleres se fueron convirtiendo en una función de servicio que se incorporó a las estructuras de la empresa.

Se hizo necesario diferenciar el personal de producción y el de mantenimiento, como consecuencia el operador intervenía cada vez menos en la ejecución de las reparaciones.

A principio del siglo XX, se transforman los sistemas productivos con particularidades de la denominada "Revolución Industrial", luego con motivo de las dos guerras mundiales, el servicio de logística de mantenimiento se vuelve indispensable para asegurar el máximo funcionamiento de los equipos productivos.

En diferentes etapas, se comienza a estudiar las averías y sus soluciones dando lugar a un gran avance técnico. Se determinan índices entre las horas de funcionamiento y la aparición de las averías, permitiendo la reparación antes que

se produzca la falla. Dentro del personal de mantenimiento, se comienza a diferenciar las especialidades, en particular, las mecánicas y eléctricas.

El desarrollo tecnológico de los últimos años trae aparejado la necesidad de cambiar la filosofía de trabajo. El mantenimiento debe incorporar esta nueva tecnología con sus particularidades propias, junto a nuevas técnicas apropiadas a esta época. ²

La principal función del mantenimiento es sostener la funcionalidad de los equipos y el buen estado de las máquinas a través del tiempo. Bajo esta premisa se puede entender la evolución del área de mantenimiento al atravesar las distintas épocas, acorde con las necesidades de sus clientes, que son todas aquellas dependencias o empresas de procesos o servicios, que se generan bienes reales o intangibles mediante la utilización de estos activos para producirlos.³

2.2. HISTORIAL DE LOS HECHOS RELEVANTES QUE INCIDEN EN EL MANTENIMIENTO VIGENTE.

El mantenimiento ⁴ es el sustantivo correspondiente al verbo mantener. La función concreta del mantenimiento es sostener la funcionalidad y el cuerpo de un objeto o aparato productivo para que cumpla su función de producir bienes o servicios.

² TORRES, Leandro Daniel. Gestión integral de activos físicos y mantenimiento, primera edición. Alfaomega.p.2

³ GUTIERREZ MORA, Luis Alberto. Mantenimiento, planeación, ejecución y control, primera edición. Alfaomega. p.3

⁴ Según la Real Academia Española, se define mantenimiento como “el conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que instalaciones y edificios, industrias, etc, puedan seguir funcionando adecuadamente”

Estos aparatos son más que los objetos que genera la ingeniería en sus diferentes versiones, por ejemplo, la ingeniería mecánica con sus máquinas, la ingeniería Civil con sus edificaciones, puentes, carreteras, instalaciones físicas; la ingeniería eléctrica con sus generación o transmisión eléctrica; la ingeniería electrónica con sus sistemas y aparatos electrónicos.

En cada rama de la ingeniería cambian los objetos que se han de cuidar para que funcionen correctamente, pero la función de mantener, prima sobre la ingeniería en general, lo cual permite afirmar que el objeto que mejor reúne la función de producir otros bienes o servicios son, para tal efecto se hace una revisión histórica sucinta y concreta de la ingeniería mecánica, para describir los hechos antiguos y recientes, que inciden hoy en el mantenimiento. ⁵

2.3 TIPOS DE MANTENIMIENTO.

- Mantenimiento Correctivo.
- Mantenimiento modificativo.
- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento proactivo.

2.3.1 Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo consiste en ir reparando las averías a medida que se van produciendo. El personal encargado de avisar de las averías es el propósito

⁵ GUTIERREZ MORA, Luis Alberto. Mantenimiento, planeación, ejecución y control, primera edición. Alfaomega. p.4

usuario de la máquina y equipo, y el encargado de realizar las reparaciones es el personal de mantenimiento.

El principal inconveniente con el que nos encontramos en este tipo de mantenimiento es que el usuario detecta la avería en el momento que necesita el equipo, ya sea al ponerlo en marcha o bien durante la utilización.

Sus características son:

- Está basado en la intervención rápida, después de ocurrida la avería
- Conlleva discontinuidad en los flujos de producción lógica
- Tiene una gran incidencia en los costos de mantenimiento por producción no efectuada
- Tiene un bajo nivel de organización
- Se denomina también mantenimiento accidental.

El mantenimiento correctivo es la intervención necesaria para poder solucionar un defecto, o una falla ya ocurrida; en este caso, las instalaciones, máquinas o equipo operan con deficiencia o directamente no funcionan.

2.3.2. Mantenimiento Modificativo

Este tipo de mantenimiento puede aparecer en tres épocas de la vida de estos componentes

- La primera oportunidad es cuando se pone en funcionamiento por primera vez. Las instalaciones, sistemas, equipos y máquinas estándar, en ocasiones necesitan ser adaptados a las necesidades propias de las

empresas ya sea por razones de producto o bien de ajustar el costo o posibilidades de mantenimiento. Una instalación que tenga durante su diseño un análisis desde el punto de vista mantenimiento, evitara problemas posteriores que, a veces pueden ser difíciles de solucionar. En este caso, estaríamos ante un mantenimiento de proyecto.

- La segunda época en la que puede aparecer es durante su vida útil. Se llevan a cabo las acciones para modificar las características de las instalaciones, máquinas o equipos tanto con el fin de lograr, una mayor fiabilidad como mejorar la seguridad.
- Por último, este mantenimiento se utiliza cuando una máquina entra en la época de vejez. En esta ocasión, se lo trata de reconstruir para asegurar su utilización durante un intervalo de tiempo posterior a su vida útil.
- Es en este momento, cuando se introducen todas las mejoras posibles tanto para producción como para mantenimiento.

Este mantenimiento también tiene como objetivo el de realizar una reforma parcial en una máquina, equipo o sistema con el fin de obtener un mejor rendimiento del mismo de acuerdo a los requerimientos del tipo de trabajo que se desea realizar, o bien para obtener un beneficio en la rapidez de reparación.

Este tipo de mantenimiento debe ser regulado y adaptado a cada realidad industrial para poder identificar el área de prioridad.

Uno de los motivos por el cual no es muy común de encontrar este tipo de mantenimiento es por los costos y el tiempo que demanda realizar trabajos de esta naturaleza. Dado que al realizarlo estaríamos rediseñando de alguna forma la máquina a utilizar, sabiendo la complejidad que esto implica.

2.3.3. Mantenimiento Preventivo

Este mantenimiento preventivo es la ejecución planificada de un sistema de inspecciones periódicas, cíclicas y programadas y de un servicio de trabajos de mantenimiento previsto como necesarios, para aplicar a todas las instalaciones, máquinas o equipos, con el fin de disminuir los casos de emergencias y permitir un mejor tiempo de operación.

Es decir, este mantenimiento preventivo se efectúa con la intención de reducir al mínimo la probabilidad de falla o evitar la degradación de las instalaciones, sistemas, máquinas y equipos.

La intervención de mantenimiento prevista, preparada y programada antes de las fechas probables de aparición de una falla.

En definitiva, se trata de dotar a la organización, de un sistema que le permita detectar y corregir el origen de las posibles fallas técnicas y no reparar las consecuencias de estas, una vez que estas se han producido.

Detección precoz = Corrección preventiva

Cualquiera que sea el nivel de mantenimiento preventivo aplicado, subsistirán inexorablemente fallas residuales de carácter aleatorio.

Y, en forma general, reduciendo los imprevistos o fortuitos, se mejora el clima en cuanto a las relaciones humanas, porque sabemos que cuando sucede algún problema, se crea una tensión a nivel de personas.

Se debe implementar una política de mantenimiento preventivo eficaz, es decir, no se puede hacer este tipo de mantenimiento sin un servicio de métodos que cuantificará el costo directo del mismo que, a su vez nos permita:

- La generación de documentación técnica.
- Preparar intervenciones preventivas.
- Acordar con producción paradas programadas.

Es decir, todas las condiciones necesarias para el mantenimiento preventivo.

El mantenimiento también se retroalimenta requiere de los conocimientos de la fiabilidad de las instalaciones, máquinas o equipos con los que se está trabajando, es decir, se asegura que existe el conocimiento previo del comportamiento de los materiales, como así también de los estudios estadísticos, el que permite determinar los tiempos para poder contar con los datos históricos de cada equipo.

Sobre la base de lo expuesto, el mantenimiento preventivo requiere una correcta metodología para determinar su periodo de intervención.

2.3.4 Mantenimiento Proactivo

¿Qué es una falla oculta?: Una falla oculta es una falla funcional que no es evidente por sí misma al equipo operativo bajo circunstancias normales de operación.

Esta se pone de manifiesto cuando el equipo debe realizar una función de seguridad, por lo general, trae como consecuencia un fallo múltiple. Las fallas ocultas requieren de otra falla para que haga evidente.

La función oculta está mayormente constituida por los dispositivos de seguridad.

Algunos ejemplos de fallas ocultas:

- Interruptores de presión.
- Válvulas de sobrepresión.
- Generación de emergencias.
- Interruptores de vibración.
- Sistema contra incendios.
- Interruptores de temperaturas.
- Interruptores de sobre velocidad.
- Dispositivos de sobreintensidad.
- Equipos médicos de emergencia.
- Fusibles.
- Disco de ruptura.
- Detectores de gas.
- Válvulas antirretornos.
- Detectores de humos.
- Detectores de fuego.
- Luz de freno.
- Equipo de Stand-by.

- Interruptores de nivel.

2.3.5 Mantenimiento Condicional o Predictivo

En general el mantenimiento predictivo consiste en estudiar la evolución temporal de ciertos parámetros y asociarlos a la evolución de fallos, para así determinar en qué período de tiempo, ese fallo va a tomar una relevancia importante, para que ese fallo nunca tenga consecuencias graves.

Una de las características más importantes de este tipo de mantenimiento es que no debe alterar el funcionamiento normal de la planta mientras se está aplicando.

Las inspecciones de los parámetros se pueden realizar de forma periódica o de forma continua, dependiendo de diversos factores como son: Tipo de planta, los tipos de fallos a diagnosticar y la inversión que se quiera realizar.

Este mantenimiento consiste en el análisis de parámetros de funcionamiento cuya evolución permite detectar un fallo antes de que este tenga consecuencias más graves.⁶

⁶ TORRES, Leandro Daniel. Gestión integral de activos físicos y mantenimiento, primera edición. Alfaomega .p.146

2.4 FILOSOFÍAS DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO.

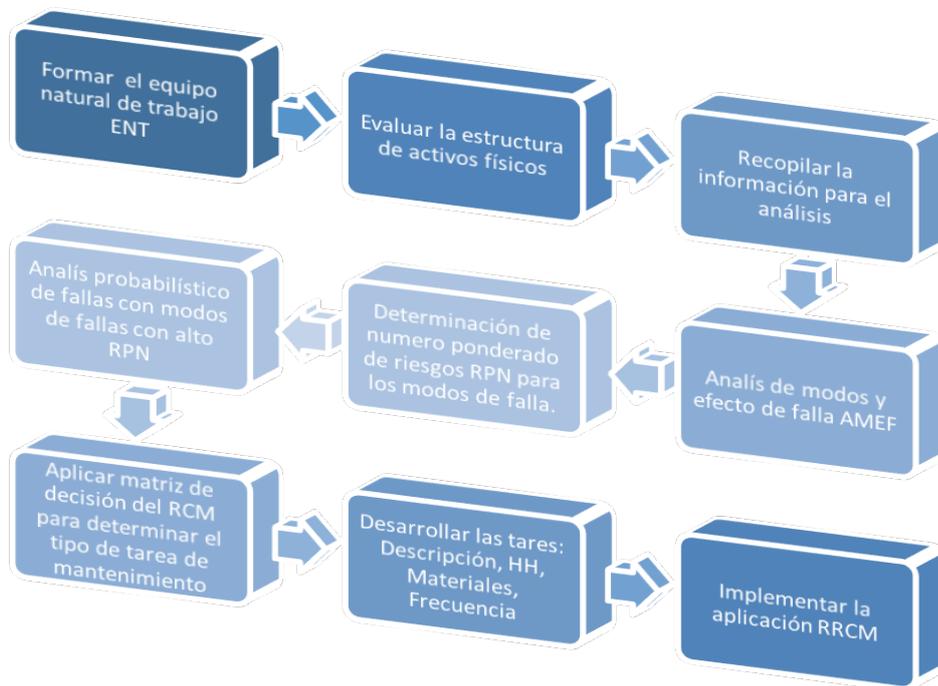
2.4.1 RCM, Mantenimiento Centrado En Confiabilidad.

Mantenimiento RCM fue desarrollado en un principio por la industria de aviación comercial de estados Unidos, en cooperación con entidades gubernamentales como la Nasa y privadas como Boeing (constructor de aviones). Desde 1974, el departamento de defensa de los estados Unidos ha usado el RCM, como la filosofía de mantenimiento de sus sistemas militares aéreos. El Éxito del RCM, en el sector de la aviación ha permitido que otros sectores tales como el de generación de energía, petroleros, químicos, gas, refinación y la industria de remano facturas, se interesen en implantar esta filosofía de gestión del mantenimiento, adecuándola a sus necesidades de operación.

RCM debe ser visto como una filosofía de mantenimiento, compuesto con una metodología que busca eliminar sistemáticamente, que debe hacerse para asegurar que los activos continúen haciendo lo requerido por el usuario en el contexto operacional vigente.⁷

Figura 4. Diagrama de la metodología RCM

⁷ TORRES, Leandro Daniel. Gestión integral de activos físicos y mantenimiento, primera edición. Alfaomega.p.446



Fuente: Tomado como referencia TORRES, Leandro Daniel. Gestión integral de activos físicos y mantenimiento p.460

2.4.1.1 Las siete preguntas Básicas del RCM.

El proceso de RCM formula 7 preguntas acerca del activo o sistema que se intenta revisar:

- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociado al activo en su actual contexto operacional?
- ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
- ¿En qué sentido es importante cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?

➤ ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?⁸

2.4.1.2 Beneficios de la implementación del RCM.

- Mayor seguridad integridad ambiental
- Mejor funcionamiento operacional (cantidad, calidad de producto y servicio al cliente)
- Mayor Costo eficacia del mantenimiento.
- Mejores rendimientos operativos.
- Menor mantenimiento rutinario
- La prevención o eliminación de las averías
- Políticas de funcionamiento más claras.
- Mayor eficiencia.
- Motivación del personal.
- Mejor trabajo en equipo.
- Mayor vida útil de los componentes.

Todos estos beneficios son parte fundamental en la administración del mantenimiento, permitiendo obtener resultados tangibles para la organización.

AMFE permite analizar los modos de fallas potenciales del activo teniendo en cuenta su criticidad. De esta manera, se busca anticiparse a las fallas anticipando acciones correctivas y preventivas de mantenimiento.

⁸ MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad, Pág. 7 México: Aladon , 2004

2.4.1.3 Diferentes tipos de funciones

Todo activo físico tiene más de una función, por lo general tienen varias. Si el objetivo de mantenimiento es que continúe realizando estas funciones, entonces todas ellas deben ser identificadas junto con los parámetros de funcionamiento deseados. A primera vista esto puede verse como un proceso bastante directo. Sin embargo, en las prácticas casi siempre se vuelve el aspecto más desafiante y el que más tiempo toma en el proceso de formulación de estrategias de mantenimiento.

- Funciones Primarias, las funciones primarias son la razón principal por las que se adquirió el activo físico. Son las razones por las cuales existe el activo.
- Funciones Secundaria, es de suponer que la mayoría de los activos físicos cumplan una o más funciones adicionales, además de la primaria. Estas se conocen como secundarias.
- Fallas funcionales, Se define falla como la incapacidad de cualquier activo de hacer aquello que sus usuarios quieren que haga. Esta definición es un poco vaga ya que no distingue claramente el estado de la falla (falla funcional) y los eventos que causan este estado de falla (modo de falla).⁹
- Modos de fallas: es una fuente de falla o una potencial manera en la que un activo puede fallar. Cuando un activo tiene diversas maneras de fallar, tiene

⁹ MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad, Pág. 38-39 -48 México: Aladon, 2004

múltiples modos de falla. Mientras más complejo es un activo, más modos de falla tendrá.

- Consecuencias de fallas. La consecuencia de la falla depende al tipo de falla que se presente y puede generar diferentes repercusiones ambientales, de seguridad, funcionales y operacionales.

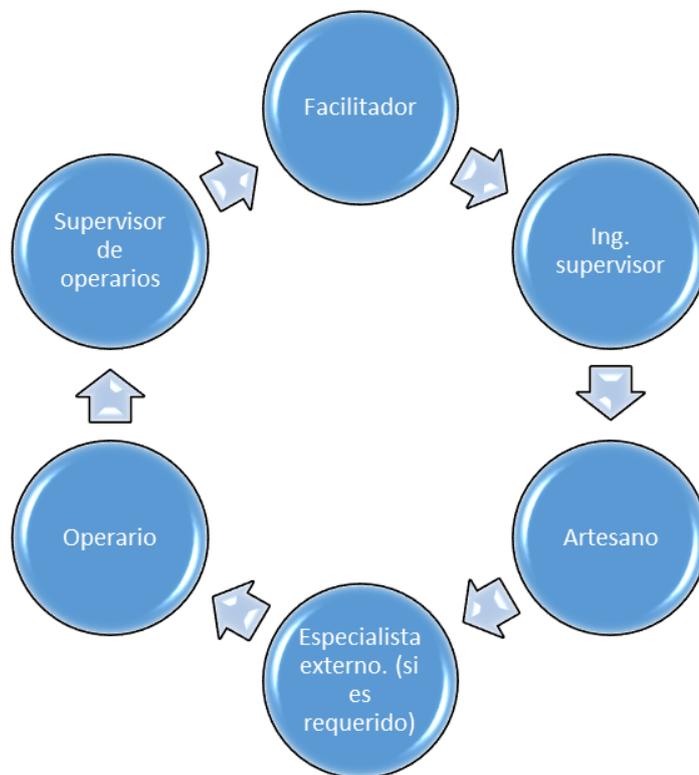
2.4.1.4 Equipo interdisciplinario para la implementación

Es importante la creación de un equipo interdisciplinario para la implementación de la estrategia de RCM, que permitan obtener las mejores respuestas a las 7 preguntas básicas.

Esto garantiza determinar conscientemente el funcionamiento deseado, los modos de fallos, sus efectos y consecuencias de estos.

Obteniendo un plan de mantenimiento acorde a las necesidades de la organización.

Figura 5. Diagrama de la metodología RCM



Fuente: Tomado como referencia, MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad

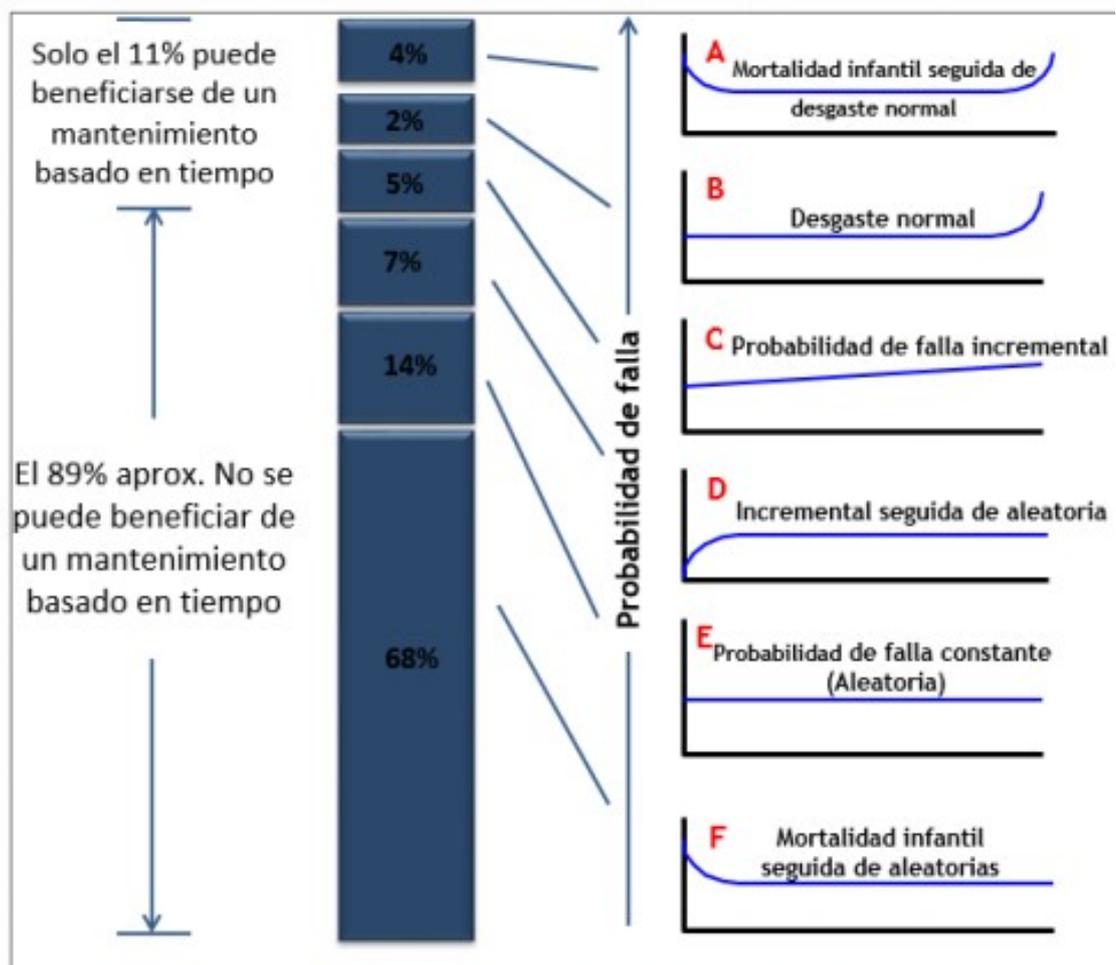
2.4.2. Optimización de Mantenimiento Preventivo PMO.

PMO es un proceso que se fundamentó en los principios de RCM para sistematizar los programas existentes de mantenimiento y el análisis de equipos críticos, a través de una metodología establecida por la OMCS Australia. Esta metodología se ha trabajado en Taiwán, Colombia, Chile, Perú, Holanda, USA, entre otras.

Inicia con: Un programa de mantenimiento existente para diferentes tipos de equipos, permitiendo determinar las acciones efectivas de mantenimiento y sus

frecuencias adecuadas para los activos, busca tareas de mantenimiento por condición, considera modificaciones cuando el mantenimiento preventivo no es adecuado.

Figura 6. Diagrama de Patrones de fallas PMO



Fuente: OMCS International

El problema más común del mantenimiento preventivo en plantas maduras, que fueron diseñados sólidamente desde un principio, es que entre el 40% y el 60% de los mantenimientos preventivos, hacen muy poco por el desempeño de la planta.

Las conclusiones de varios estudios de PMO son:

- Existen tareas duplicadas
- Algunas tareas se hacen muy frecuente mente y otras muy tarde
- Algunas tareas no generan beneficios
- Algunas tareas son Intrusivas (basadas en Overhauls) cuando deberían ser basadas en condición.
- Se presentan muchas fallas que son costosas y fácil mente prevenibles.

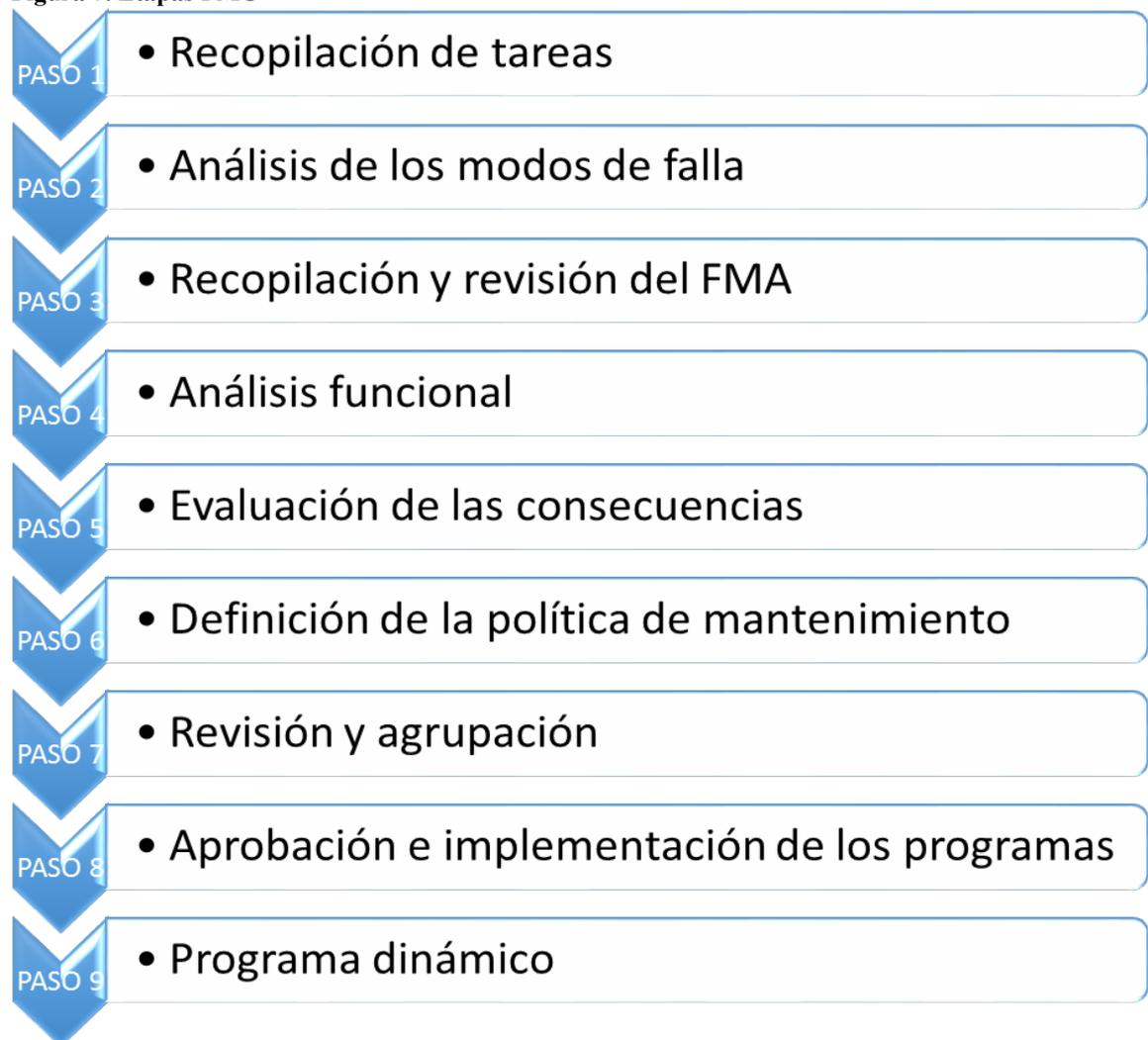
Esto genera un dilema para el mejoramiento de la productividad, porque por más que la planeación y programación sean perfectas no ayudaran a mejorar un programa de mantenimiento por sí mismo es ineficiente. Trabajar con un programa 50% útil y 50% inútil con la esperanza de alcázar el 100% de cumplimiento no puede considerarse un buen gerenciamiento de activos.

- La recomendación, para implementar todas las estrategias es asegurar que todas las decisiones se toman basadas en un análisis de RCM, realizada en la fase de diseño de una planta nueva y para la planta en funcionamiento PMO es el medio para racionalizar todo el mantenimiento preventivo (PM) y

sí Asegurar que existe el valor agregado en el que no hay duplicación de tareas.¹⁰

2.4.2.1 Etapas para la implementación del PMO

Figura 7. Etapas PMO



Fuente: Tomado como referencia, OMCS International.

¹⁰ OMCS Latín América

Es importante tener en cuenta que un proceso de PMO, debe basarse en la criticidad de equipos en planta. Esta criticidad fundamentada en la frecuencia de fallas por la consecuencia, tomando como consecuencia el impacto ambiental, seguridad, impacto operacional y costos dependiendo la organización.

Permitiendo tomar decisiones para administrar esfuerzos en la gestión del mantenimiento y enfocándose en el cumplimiento de los objetivos estratégicos de la organización.

A continuación, se describen brevemente los 9 pasos para la implementación de PMO.

- **Paso 1- Recopilación de Tareas:** Se inicia documentando el programa de mantenimiento existente formal e informal y registrándolo en una base de datos. Con el objetivo de documentar las actividades de mantenimiento que se vienen desarrollando en la organización.

Figura 8. Fuentes de mantenimiento preventivo (PM)



Fuente: OMCS International

- **Paso 2- Análisis de modo de fallas (FMA):** Se involucra a todo el personal de planta, se trabaja en equipos interdisciplinarios quienes identificarán para qué modos de fallas están dirigidas las actividades las tareas de mantenimiento.

Tabla 3. Análisis De Modo De Falla OMCS

Tarea	Frecuencia	Responsable	Falla
Tarea 1	Diario	Operador	Falla A
Tarea 2	Diario	Operador	Falla B
Tarea 3	6 meses	Mecánico	Falla C
Tarea 4	6 meses	Mecánico	Falla A
Tarea 5	Anual	Electricista	Falla B

Fuente: OMCS International.

Modo de falla: Tomando como modo de falla cualquier evento que pueda generar una falla funcional.

- **Paso 3- Racionalización y revisión del (FMA):** Se organiza la información por modos de falla de una forma ordenada que permite identificar la duplicidad de tarea. Se filtra y analizan los modos de fallas del FMA. Agregando aquellos faltantes, este listado se elabora a partir del historial de fallas y documentación técnica.

Tabla 4. Modos De Fallas dominantes OMCS

Tarea	Frecuencia	Responsable	Falla
Tarea 1	Diario	Operador	Falla A
Tarea 4	6 meses	Mecánico	Falla A
Tarea 7	Semanal	Mecánico	Falla A
Tarea 2	6 meses	Operador	Falla B
Tarea 5	Anual	Electricista	Falla B
Tarea 3	Semanal	Mecánico	Falla C
Tarea 6	Diario	Operador	Falla C
Modo de Falla Nuevo			Falla D

Fuente: OMCS International.

- **Paso 4- Análisis Funcional:** Determinar los requerimientos funcionales del equipo que permitan identificar su capacidad real y la función que se pierde y genera una interrelación entre las actividades de mantenimiento y las pérdidas funcionales.

Tabla 5. Modos De Fallas dominantes OMCS

Modo de Falla	Función
Falla A	Función 1
Falla B	Función 2
Falla C	Función 3
Falla D	Función 4

Fuente: OMCS International.

Función: Lo que el propietario o usuario quiere que el activo fijo haga¹¹.

¹¹ MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad, Pág. 420 México: Aladon, 2004

- **Paso 5- Evaluación de Consecuencias:** Se determinar cómo se exhibe el modo de falla y el efecto tiene sobre la operación, determinando si las fallas son ocultas o evidentes.

Consecuencias de la falla: Un análisis detallado de la empresa industrial promedio probablemente muestre entre tres mil y diez mil posibles modos de falla. Cada una de estas fallas afecta a la organización de algún modo, pero en cada caso, los efectos son diferentes, pueden afectar operaciones, calidad del producto, servicio al cliente, seguridad o medio ambiente.

Consecuencias del Fallo Oculto: Las fallas ocultas no tienen un impacto directo, pero exponen a la organización a fallas múltiples con consecuencias serias.

Consecuencias ambientales y para la seguridad: Una falla tiene consecuencias para la seguridad si es posible que cause daño o muerte a alguna persona.

Tiene consecuencias ambientales si infringe alguna normatividad o reglamento ambiental tanto corporativo como regional, nacional como internacional.

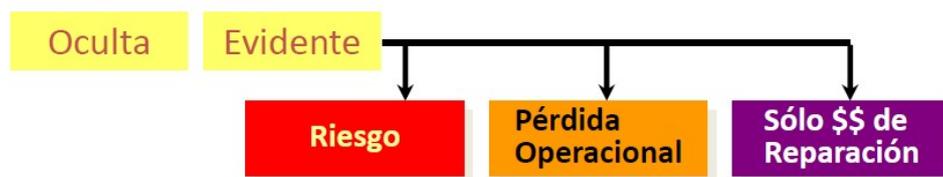
Consecuencias operacionales: Una falla tiene consecuencias operacionales si producción (Cantidad, calidad del producto, Atención al cliente o costos operacionales).

Consecuencias no operacionales: Las fallas que caen en esta categoría no afectan la seguridad ni la producción solo implica el costo directo de la reparación.¹²

Las secuencias de las fallas se dividen en 2

- ✓ Evidentes: Que pueden ser detectadas por el operador dentro de condiciones normales.
- ✓ Ocultas: Son aquellas que no pueden ser detectadas por el operador bajo circunstancias normales de operación.

Figura 9. Tipos de falla.

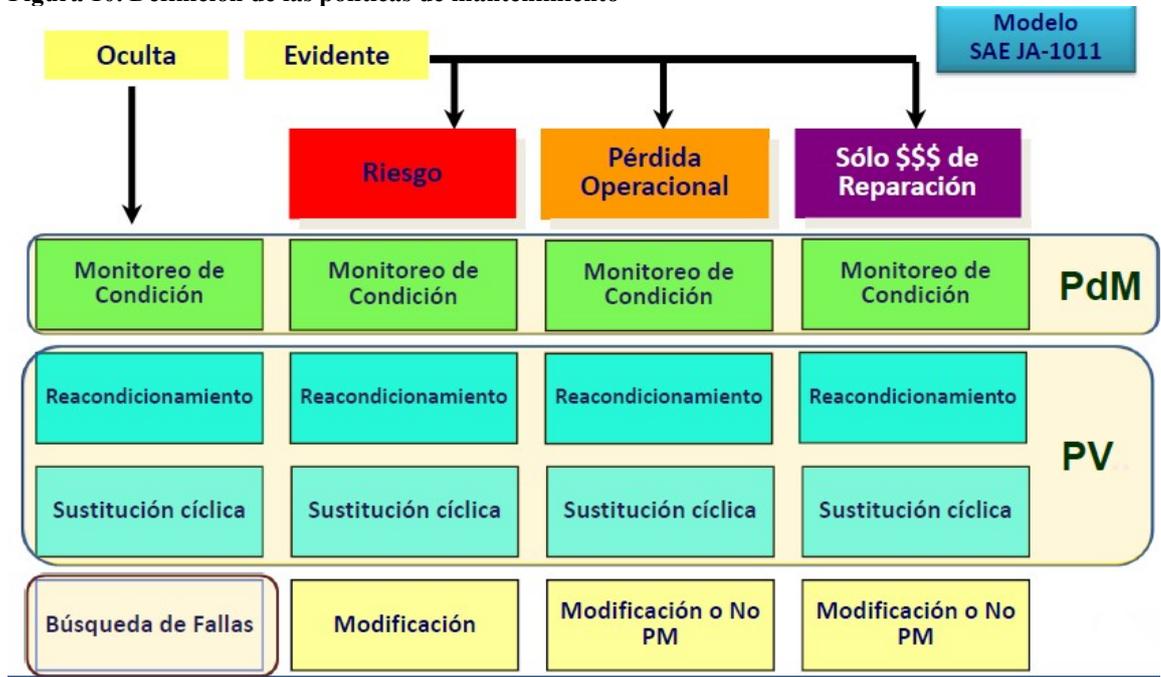


Fuente: OMCS International

Paso 6- Definición de las políticas de mantenimiento: La filosofía del mantenimiento moderno se enfoca más en el estado de las consecuencias que, en los mismos activos en sí, es decir, que en este paso cada modo de falla se analiza bajo los principios del mantenimiento centrado en la confiabilidad con el objetivo de establecer la nueva política de mantenimiento.

¹² MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad, Pág. 10, 11 México: Aladon, 2004

Figura 10. Definición de las políticas de mantenimiento

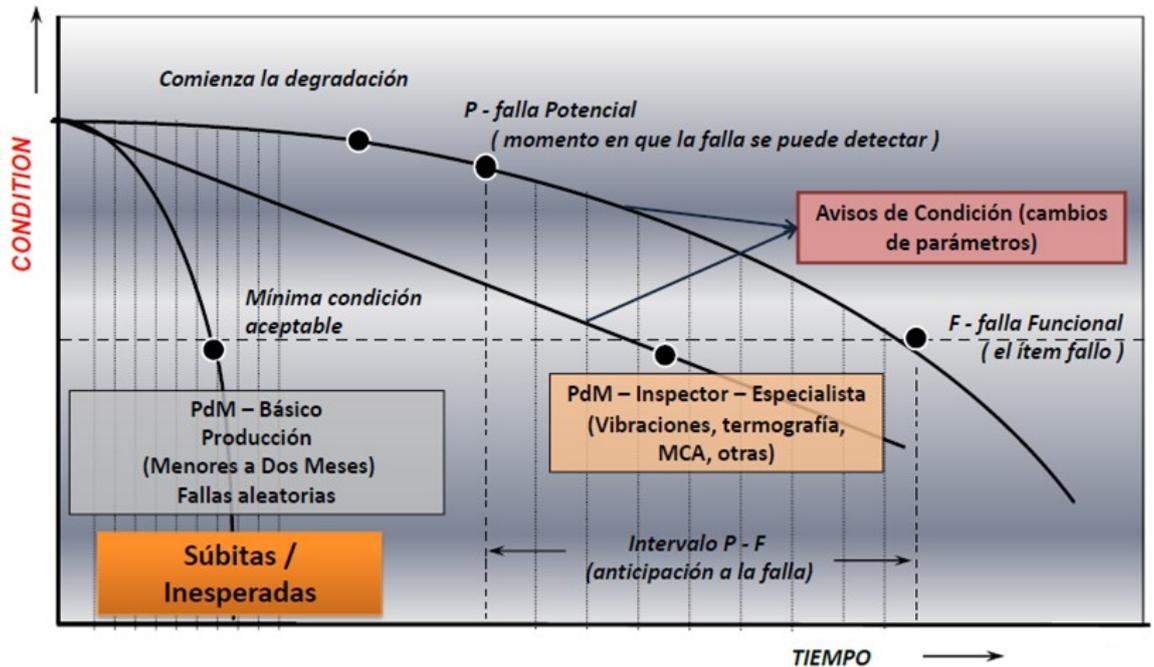


Fuente: OMCS International.

Existen tres estrategias de mantenimiento para atenuar o eliminar los modos de fallas evidentes;

- Monitoreo de condición (mantenimiento predictivo).
 - Intervalo definitivo por la curva PF, sustitución o reparación programada (Mantenimiento preventivo)
 - Intervalos definidos por la vida útil.
- Llevar a falla
 - En donde las fallas son aleatorias e impredecibles.
 - El costo PM es mayor que el costo de la falla.

Figura 11. Enfoque de las tareas predicativas, básicas y especializadas



Fuente: OMCS International.

Paso 7. Agrupación y revisión: Posterior al análisis de las tareas, el equipo evalúa la metodología más eficiente para la administración del mantenimiento teniendo en cuenta los límites de producción y otros, delegando las funciones a las personas más calificadas y reasignando las labores de mantenimiento al personal a quien le correspondan, obteniendo una administración de mantenimiento eficaz y productiva.

Paso 8. Aprobación e implementación: Esta implementación debe ser aprobada por la alta dirección, evaluando las necesidades para la implementación y recomendaciones con el objetivo de finalizar el proceso.

Paso 9. Agrupación y revisión: Durante este paso se ha establecido una estructura racional y costo efectiva del PM consolidando el plan de mantenimiento y tomando el control de la planta. Es importante contar con personal motivado y capacitado en técnicas de análisis de fallas, generando sentido de pertenencia y mejoramiento continuo para la organización.

2.4.3. Comparativo RCM & PMO

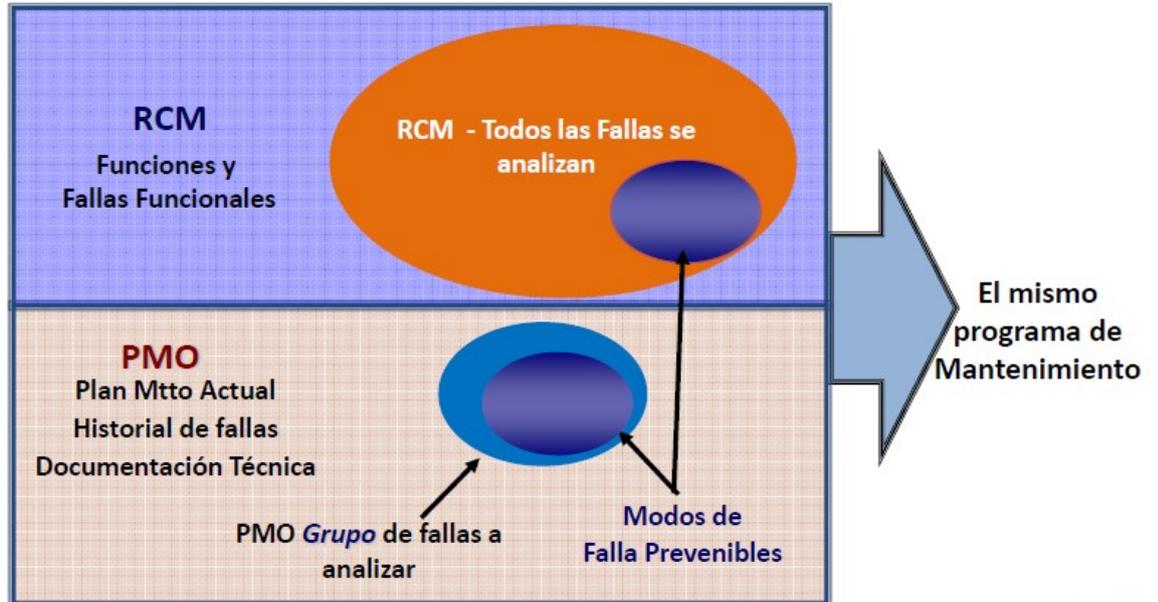
PMO y RCM son dos metodologías diferentes con el mismo objetivo, que permiten determinar los requerimientos de mantenimiento, pero se emplean en condiciones totalmente diferentes. La metodología PMO, fue concebida para usarla cuando el activo ya tiene un historial de operación, mientras RCM está creada para la etapa de diseño del ciclo de vida de los activos.

La diferencia entre RCM y PMO radica en la forma en que se generan los modos de fallas.

- RCM Genera un listado de modo de fallas de todas las funciones, después de considerar todas las posibles fallas funcionales y de una valoración de los modos de fallas que se relaciona cada falla funcional.

- PMO Genera un listado de modos de fallas desde el plan de mantenimiento actual, de una evaluación del historial de fallas y de la revisión de la documentación técnica.

Figura 12. PMO - RCM: enfoque y resultados



Fuente: OMCS International.

La diferencia entre los dos enfoques radica en que PMO maneja una cantidad mucho menor de modos de fallas que RCM llegando a los modos de fallas de forma más rápida.

La experiencia en la industria de energía Nuclear de los estados unidos ha demostrado que en promedio PMO es 6 veces más rápido que RCM en generar resultados.

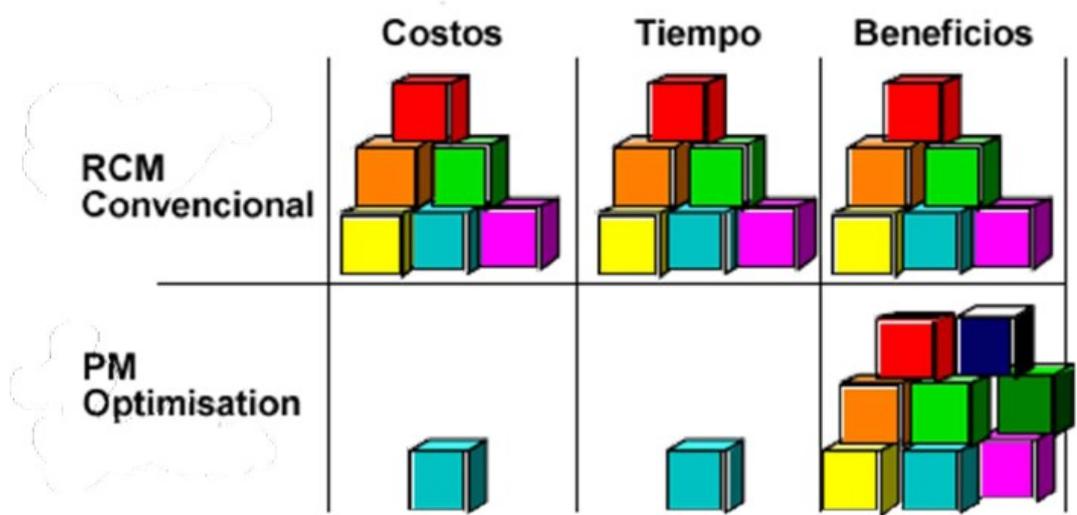
PMO es más rápida que RCM porque los modos de fallas insignificantes no son analizados, mientras RCM analiza todos los modos de fallas.

Usando la metodología de PMO varios modos de fallas se unen y se analizan en conjunto, mientras que en RCM se analizan cada modo de falla por separado.

Con PMO el análisis detallado de las funciones es un paso opcional.

La función del equipo se especifica en el análisis de consecuencias de fallas, ya que en definitiva la pérdida de la función es la consecuencia de cualquier falla.¹³

Figura 13. Análisis de costos rapidez y beneficio



Fuente: OMCS International.

¹³ OMCS Latín América Turner Steven (2002)

3. DESARROLLO

3.1. APOYO DE LA ALTA DIRECCIÓN

Para poder lograr los objetivos trazados durante el proceso es indispensable que la alta dirección de la organización se comprometa con el desarrollo de la metodología, otorgando los recursos necesarios, financieros, humanos y tecnológicos, permitiendo evitar las trabas que generalmente se presentan en este tipo de implementaciones.

Igualmente es importante desarrollar talleres de sensibilización al personal involucrado que les permita adquirir los conocimientos necesarios para el desarrollo de la implementación.

3.2. EQUIPOS CRÍTICOS

Antes de iniciar el proceso es importante determinar la criticidad de los activos, con el objetivo de evitar realizar análisis en equipo que no tienen ninguna relevancia en seguridad, productividad, medio ambiente y costos.

Para ello se debe desarrollar una matriz de equipos críticos, entendiendo la criticidad como un factor de la Frecuencia por la consecuencia. Para esto se debe crear un equipo interdisciplinario de las diferentes áreas que evalúen la consecuencia desde varios puntos de vistas para el activo.

3.2.1. Pasos para determinar la criticidad

1. Definir el nivel de análisis de acuerdo con los requerimientos y necesidades de jerarquización
2. Definir la criticidad: el valor de la frecuencia de falla y el impacto total se realizan utilizando criterios y rangos preestablecidos que pueden ser cualitativos o cuantitativos.
3. Cálculo del nivel de criticidad; para este cálculo se toma la siguiente formula

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia}$$

Tabla 6. Criticidad

CRITICIDAD = FRECUENCIA X CONSECUENCIA	
CONSECUENCIA = (IO*FO)+CM+SHA	IO=IMPACTO OPERACIONAL
	FO=FLEXIBILIDAD OPERACIONAL
	CM=COSTO DE MANTENIMIENTO
	SHA=SEGURIDAD HIGIENE Y AMBIENTE

Fuente: Autor del proyecto.

La frecuencia es determinada por el consolidado del número de fallos por máquina del último año.

Tabla 7. Frecuencia

ÁREA	EQUIPO	DESCRIPCIÓN	N.PAROS 2020	FRECUENCIA
FABRICACIÓN DE FIBRA	TERM002	TERMOFORMADORA MATER#2	41	4
FABRICACIÓN DE COMPONENTES	CERK001	CELDA ROBÓTICA KUKA KR 6-2	13	4
FABRICACIÓN DE FIBRA	ELEV025	ELEVADOR DE CARGA PARA ALMACENAMIENTO DE MOLDES	11	4
FABRICACIÓN DE COMPONENTES	CORT009	CORTADORA TRULASER 3030	17	4
FABRICACIÓN DE COMPONENTES	CORT010	CORTADORA TRULASER 3030 L49	11	4
FABRICACIÓN DE COMPONENTES	CORT001	CIZALLA BRAFFEMAN	26	4

Fuente: Autor del proyecto.

Para esto el equipo interdisciplinario determino la siguiente ponderación:

Tabla 8. Ponderación de frecuencia

FRECUENCIA		
FRECUENCIA	PONDERACIÓN	NIVEL
0-1	1	BAJO
2--3	2	MODERADO
4--6	3	MEDIO
> 6	4	ALTO

Fuente: Autor del proyecto.

Para determinar la consecuencia que es el resultado del producto del impacto operacional por la flexibilidad operacional más el factor de costo más el factor de seguridad, higiene y ambiente.

Para ello determinaron las siguientes ponderaciones:

Tabla 9. Ponderación Impacto Operacional

Parada de toda la planta prolongado	10	MUY ALTO
Parada de toda la planta poco tiempo	8	ALTO
Restringe producción por tiempo prolongado	6	MEDIO
Restringe producción por poco tiempo	3	MODERADO
Efecto menor en producción	1	BAJO

Fuente: Autor del proyecto.

Tabla 10. Impacto por flexibilidad Operacional (FO)

No se cuenta con unidades de reserva para cubrir la producción, tiempos de reparación y logística muy grandes	4
Se cuenta con unidades de reserva que logran cubrir de forma parcial el impacto de producción, tiempos de reparación y logística intermedios	2
Se cuenta con unidades de reserva en línea, tiempos de reparación y logística pequeños	1

Tabla 11. Impacto en costos de mantenimiento (CM)

IMPACTO EN COSTOS DE MANTENIMIENTO (CM)		
2: Costos de reparación, materiales y mano de obra superiores a \$1.500.000	2	ALTO
1: Costos de reparación, materiales y mano de obra inferiores a \$1.500.000	1	BAJO

Tabla 12. Impacto en seguridad, higiene y ambiental

8: Riesgo alto de pérdida de vida, daños graves a la salud del personal y/ó incidente ambiental mayor (catastrófico) que exceden los límites permitidos	8	ALTO
6: Riesgo medio de pérdida de vida, daños importantes a la salud, y/ó incidente ambiental de difícil restauración	6	MEDIO
3: Riesgo mínimo de pérdida de vida y afección a la salud (recuperable en el corto plazo) y/o incidente ambiental menor (controlable), derrames fáciles de contener y fugas repetitivas	3	MODERADO
1: No existe ningún riesgo de pérdida de vida, ni afección a la salud, ni daños ambientales	1	BAJO

Fuente: Autor del proyecto.

Consolidando todos los factores que intervienen en la criticidad de los activos y referenciando la matriz de 5X5

Tabla 13. Ponderación de Criticidad

PONDERACIÓN DE CRITICIDAD							
FRECUENCIA	4	40	80	120	160	200	CRITICO
	3	30	60	90	120	150	SEMI-CRITICO
	2	20	40	60	80	100	NO CRITICO
	1	10	20	30	40	50	
	10	20	30	40	50	CONSECUENCIA	

Fuente: Basado en el modelo CTR

Obteniendo como resultado la siguiente matriz, que permite discriminar los activos críticos de alta, media y baja criticidad.

Tabla 14. Matriz de Equipos críticos Superpolo SAS

ÁREA	EQUIPO	DESCRIPCIÓN	N.PAROS 2020	FRECUENCIA	IO	FO	CM	SHA	CONSECUENCIA	CRITICIDAD	CRITICIDAD2
PLANTA PRINCIPAL	SUBED01	SUBESTACIÓN 1	0	1	10	4	1	8	49	49	CRITICO
FABRICACIÓN DE FIBRA	SUBED03	SUBESTACIÓN 3	0	1	10	4	1	8	49	49	CRITICO
FABRICACIÓN DE FIBRA	TERM002	TERMOFORMADORA MATER#2	41	4	10	4	2	3	45	180	CRITICO
FABRICACIÓN DE COMPONENTES	DOBL008	DOBLADORA DE TUBO TEJERO PEQUEÑA	0	1	8	4	1	3	36	36	SEMI-CRITICO
MONTAJE A	DOBL013	DOBLADORA PARA REVESTIMIENTO LATERAL	2	2	8	2	1	3	20	40	NO CRITICO
MONTAJE A	DOBL011	DOBLADORA PARA REVESTIMIENTO LATERAL	0	1	8	2	1	3	20	20	NO CRITICO
ESTRUCTURAS	REDE002	RED ELECTRICA GABARITOS	31	4	6	2	1	6	19	76	SEMI-CRITICO

Fuente: Autor del proyecto

Esta matriz es importante al permitir visualizar de una forma clara los activos con mayor relevancia desde los diferentes puntos de vista de la organización.

3.3. CONFORMACIÓN DEL EQUIPO DE TRABAJO

Posteriormente de realizar la matriz de equipos críticos, se conformó un equipo interdisciplinario integrado por personal del área de ingeniería, producción, seguridad-salud en el trabajo y mantenimiento, que tiene como objetivo el desarrollo de la metodología y que puedan aportar perspectivas diferentes dentro del entorno operacional de la máquina.

Figura 14. Conformación del equipo interdisciplinario.



Fuente: Autor del proyecto

Se debe desarrollar una etapa de formación que le permita adquirir las bases de conocimiento al equipo para un buen desarrollo de la metodología, permitiendo obtener los objetivos trazados en el menor tiempo posible.

3.4. DESARROLLO DEL PROCESO DE PMO

3.4.1. Recopilación de tareas

La primera etapa del desarrollo inicia con la recopilación de tareas, identificando las fuentes de información formales e informales de las actividades de mantenimiento que se desarrollan en los activos de estudio.

Para este caso se tienen en cuenta las siguientes fuentes de información.

Figura 15. Fuentes de información



Fuente: Autor del proyecto

Se obtiene la tabla No. 15 como resultado de la actividad de recopilación de tareas y teniendo en cuenta las diferentes fuentes en donde se define la taxonomía de la máquina, sistema, subsistema, componente y subcomponente, de esta taxonomía desprendemos las tareas que se desarrollan en la máquina teniendo en cuenta la frecuencia y responsable de la actividad.

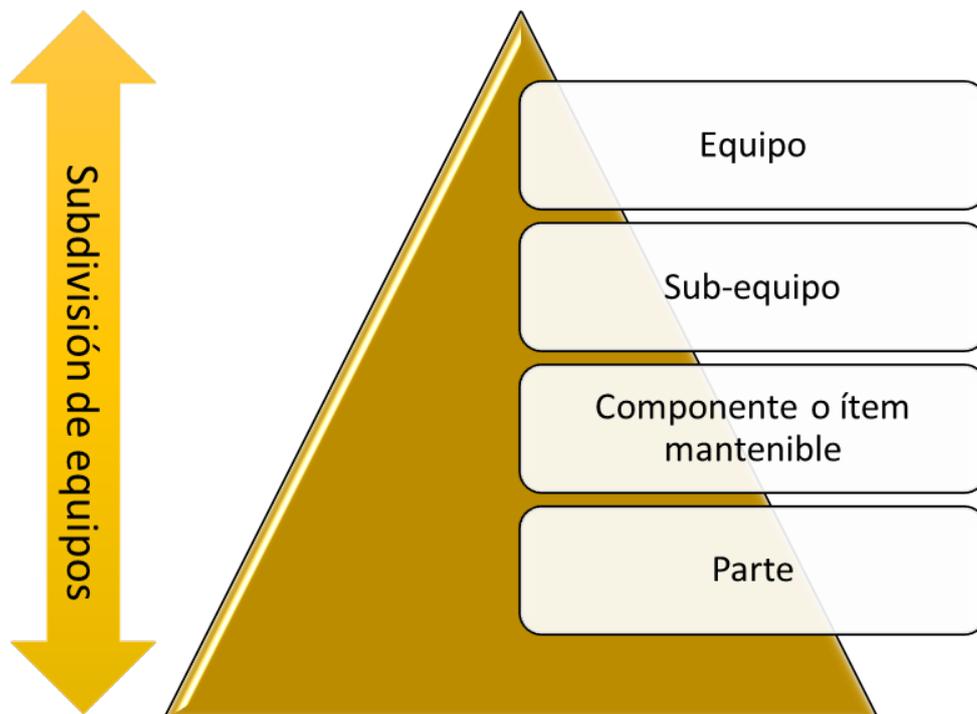
Tabla 15. Recopilación de tareas

FASE 1. Tareas actuales de mantenimiento			
Tarea	Sistema	Frecuencia	Responsable / Especialista
HORNO VERIFICAR	EQUIPO	MANTENIMIENTO DE 400 HORAS	Electromecánico
RESISTENCIA VERIFICAR	HORNO	MANTENIMIENTO SEMANAL 7 DÍAS	Electromecánico
FINAL DE CARRERA VERIFICAR	SISTEMA ELÉCTRICO	MANTENIMIENTO DE 200 HORAS	Electromecánico
FINAL DE CARRERA VERIFICAR	SISTEMA ELÉCTRICO	MANTENIMIENTO SEMANAL 7 DÍAS	Electromecánico
MAQUINA LUBRICAR	EQUIPO	MANTENIMIENTO DE 400 HORAS	Electromecánico
BOMBA LIMPIAR	SISTEMA HIDRÁULICO	MANTENIMIENTO DE 200 HORAS	Electromecánico
BOMBA VERIFICAR	SISTEMA HIDRÁULICO	MANTENIMIENTO DE 4000 HORAS	Electromecánico
ACEITE VERIFICAR	SISTEMA HIDRÁULICO	MANTENIMIENTO DE 400 HORAS	Electromecánico
ELECTROVÁLVULAS VERIFICAR	SISTEMA HIDRÁULICO	MANTENIMIENTO DE 1600 HORAS	Electromecánico
BOSTERS VERIFICAR	SISTEMA HIDRÁULICO	MANTENIMIENTO DE 1600 HORAS	Electromecánico
FUGAS VERIFICAR	SISTEMA HIDRÁULICO	MANTENIMIENTO DE 200 HORAS	Electromecánico
MANGUERA VERIFICAR	SISTEMA HIDRÁULICO	MANTENIMIENTO DE 1600 HORAS	Electromecánico
BOMBA VERIFICAR	BOMBACÍ	MANTENIMIENTO DE 4000 HORAS	Electromecánico
BOMBA LIMPIAR	BOMBACÍ	MANTENIMIENTO SEMANAL 7 DÍAS	Electromecánico
NIVEL DE ACEITE VERIFICAR	BOMBACÍ	MANTENIMIENTO SEMANAL 7 DÍAS	Electromecánico
FILTRO AIRE LIMPIAR	BOMBACÍ	MANTENIMIENTO SEMANAL 7 DÍAS	
ACEITE VERIFICAR	BOMBACÍ	MANTENIMIENTO DE 400 HORAS	Electromecánico
SENSORES VERIFICAR	SISTEMA ELÉCTRICO	MANTENIMIENTO DE 200 HORAS	Electromecánico
MOTOR VERIFICAR	MOTO VENTILADOR	MANTENIMIENTO DE 4000 HORAS	Electromecánico
TABLERO LIMPIAR	SISTEMA ELÉCTRICO	MANTENIMIENTO DE 200 HORAS	Electromecánico
MAQUINA LIMPIAR	EQUIPO	MANTENIMIENTO DE 200 HORAS	Electromecánico
MOTOR LIMPIAR	MOTOR PRINCIPAL	MANTENIMIENTO DE 200 HORAS	Electromecánico
VENTILADOR LIMPIAR	EQUIPO	MANTENIMIENTO DE 200 HORAS	Electromecánico
MAQUINA AJUSTAR	EQUIPO	MANTENIMIENTO DE 400 HORAS	Electromecánico
LOTIS VERIFICAR	SISTEMA ELÉCTRICO	MANTENIMIENTO DE 400 HORAS	Electromecánico
CABLEADO ORGANIZAR	SISTEMA ELÉCTRICO	MANTENIMIENTO DE 400 HORAS	Electromecánico
PARÁMETROS VERIFICAR	SISTEMA ELÉCTRICO	MANTENIMIENTO DE 400 HORAS	Electromecánico
TABLERO LIMPIAR	SISTEMA ELÉCTRICO	MANTENIMIENTO SEMANAL 7 DÍAS	Electromecánico
MÓDULOS POTENCIA VERIFICAR	SISTEMA ELÉCTRICO	MANTENIMIENTO DE 1600 HORAS	Electromecánico
CONEXIONES AJUSTAR	SISTEMA ELÉCTRICO	MANTENIMIENTO DE 1600 HORAS	Electromecánico

Fuente: Autor del proyecto.

Adicionalmente se determina la taxonomía para el equipo que se está analizando, estos niveles taxonómicos nos permiten realizar una relación mucho más evidente entre los componentes mantenibles, los sube-quipos y el equipo, asociando los modos de falla y sus efectos.

Figura 16. Taxonomía de sub-equipos



Fuente: Basado en la norma ISO14224:2016

Tabla 16. Taxonomía termoformadora Mater II

FASE 1. Taxonomía			
EQUIPO	SUBEQUIPO	COMPONENTE O ÍTEM MANTENIBLE	PARTE
TERMOFORMADORA MATER 2	HORNO	CUADRO RESISTENCIAS	RESISTENCIAS
		CILINDRO NEUMÁTICO HORNO	EMPAQUES
			MANGUERAS
		ELECTROVÁLVULA HORNO	SOLENOIDE
			PISTÓN
		SENSORES	FINAL DE CARRERA AVANCE
			FINAL DE CARRERA RETROCESO
		ESTRUCTURA HORNO	RIEL
			RUEDAS
	MARCO	CILINDROS NEUMÁTICOS MARCO	EMPAQUES
			MANGUERAS
		ELECTROVÁLVULA HORNO	SOLENOIDE
			PISTÓN
		SENSORES	FINAL DE CARRERA SUBIDA
			FINAL DE CARRERA BAJADA
		ESTRUCTURA MARCO	CREMALLERAS
			ROTULA
			RUEDAS

Fuente: Autor del proyecto.

3.4.2. Análisis de Causas de Falla (FMA).

En esta etapa se evalúan los modos de fallas que se intentan prevenir o detectar con las actividades de mantenimiento identificadas anteriormente. Se revisa el histórico de fallas en el equipo, generando una base sólida de los modos de falla y

sus causas primarias, permitiendo ser mucho más objetivos en el desarrollo de la implementación.

Tabla 17. Histórico modos de falla

Modo de falla	Causa	2018	2019	2020	2021	Total
Horno con calentamiento deficiente	Breaker abajo			2		2
	breaker dañado			1		1
	Cerámica suelta	2				2
	Corto en cableado horno	4	4	6		14
	Mal contacto eléctrico en barraje		1			1
	Mal contacto eléctrico en modulo	1				1
	Mal contacto eléctrico en resistencia	2				2
	Punto caliente en horno	2		2		4
	Resistencia suelta	1				1
	Resistencias dañadas	2	5	7		14
Total Horno con calentamiento deficiente		14	10	18		42
Horno estrellado	Final de carrera abierto		1			1
	(en blanco)				1	1
Total Horno estrellado			1		1	2
Horno no sale	Final de carrera descalibrado		2			2
Total Horno no sale			2			2
Maquina no prende	Corto en cableado	1				1
Total Maquina no prende		1				1
Mesa no bloque subida	Final de carrera suelto	1				1
Total Mesa no bloque subida		1				1
Mesa no sube	Contactador dañado	1				1
	Final de carrera dañado			1		1
	Final de carrera descalibrado			2		2
	Final de carrera suelto		1			1
	O ring bloque deteriorado				1	1
Total Mesa no sube		1	1	4		6
Mesa se descuelga	O ring electroválvula deteriorado		1			1
Total Mesa se descuelga			1			1
No sube marco	Manguera neumática rota	1				1
Total No sube marco		1				1
Oruga rota	Maquina estrellada con molde		1			1
Total Oruga rota			1			1
Vacío deficiente	Bajo nivel de aceite			1		1
	Base tabla despegada		1			1
	Cuadro no sostiene el material		1			1
	Electroválvula tapada		1			1
	Filtro saturado	2	1	4		7
	Manguera para vacío rota	1				1
	Manguera para vacío suelta		1	1		2
	Molde con arista deficiente		1			1
	Válvula cheque de bomba vacío dañado			1		1

Fuente: Autor del proyecto.

Fundamental la participación del equipo en este análisis, permitiendo obtener un espectro mucho más amplio y no sesgado de las diferentes causas de las fallas analizadas.

Tabla 18. Análisis modo de falla (FMA)

FASE 1. Taxonomía			FASE 2
SUBEQUIPO	COMPONENTE O ÍTEM MANTENIBLE	PARTE	MODO DE FALLA (Causa de la falla)
HORNO	CUADRO RESISTENCIAS	RESISTENCIAS	1. Avería en resistencias
			2. Punto caliente en conexiones de las cerámicas
			3. Corto en cableado conexiones de las resistencias
	CILINDRO NEUMÁTICO HORNO	EMPAQUES	4. Desgaste en empaques
		MANGUERAS	5. Fugas en mangueras
	ELECTROVÁLVULA HORNO	SOLENOIDE	6. Avería en bobina
		PISTÓN	7. Avería en pistón
	SENSORES	FINAL DE CARRERA AVANCE	8. Avería en final de carrera avance
			9. Descalibración en final de carrera de avance
		FINAL DE CARRERA RETROCESO	10. Avería en final de carrera de retroceso
	ESTRUCTURA HORNO	RIEL	11. Descalibración final de carrera de retroceso
12. Desgaste en riel			
MARCO	CILINDROS NEUMÁTICOS MARCO	RUEDAS	13. Desgaste en ruedas
		EMPAQUES	4. Desgaste en empaques
	ELECTROVÁLVULA HORNO	MANGUERAS	5. Fugas en mangueras
		SOLENOIDE	6. Avería en bobina
	SENSORES	PISTÓN	7. Avería en pistón
			14. Avería en final de carrera subida
		FINAL DE CARRERA SUBIDA	15. Descalibración en final de carrera de subida
	ESTRUCTURA MARCO	FINAL DE CARRERA BAJADA	16. Avería en final de carrera de bajada
			17. Descalibración final de carrera de bajada
	CREMALLERAS	ROTULA	18. Desgaste en cremallera
			20. Desgaste en rotula
13. Desgaste en ruedas			
RUEDAS	RUEDAS	21. Ruedas descalibradas	

Fuente: Autor del proyecto.

3.4.3. Racionalización y revisión del (FMA)

En este paso se organiza la información de los diferentes modos de fallas recopilados con el objetivo de identificar duplicidad de fallas e identificar fallas no listadas. En la tabla 19 se evidencia la duplicidad de tareas, la actividad es igual, sin embargo, la frecuencia es diferente.

Tabla 19. Tareas duplicadas

FASE 1. Tareas actuales de mantenimiento			
Tarea	Sistema	Frecuencia	Responsable / Especialista
FINAL DE CARRERA VERIFICAR	SISTEMA ELÉCTRICO	MANTENIMIENTO DE 200 HORAS	Electromecánico
FINAL DE CARRERA VERIFICAR	SISTEMA ELÉCTRICO	MANTENIMIENTO SEMANAL 7 DÍAS	Electromecánico
REFLECTOR VERIFICAR	SISTEMA ELÉCTRICO	MANTENIMIENTO DE 200 HORAS	Electromecánico
ILUMINACIÓN VERIFICAR	SISTEMA ELÉCTRICO	MANTENIMIENTO DE 400 HORAS	Electromecánico

Fuente: Autor del proyecto.

Igualmente se identifican tareas que no son claras o no aportan mayor valor agregado a la mantenibilidad del equipo, como se puede evidenciar en la tabla 20.

Tabla 20. Tareas no claras o sin relevancia

Tarea	Sistema	Frecuencia	Responsable / Especialista
MOTOR LIMPIAR	MOTOR PRINCIPAL	MANTENIMIENTO DE 200 HORAS	Electromecánico
MAQUINA AJUSTAR	EQUIPO	MANTENIMIENTO DE 400 HORAS	Electromecánico
CABLEADO ORGANIZAR	SISTEMA ELÉCTRICO	MANTENIMIENTO DE 400 HORAS	Electromecánico
PARÁMETROS VERIFICAR	SISTEMA ELÉCTRICO	MANTENIMIENTO DE 400 HORAS	Electromecánico
NIVEL DE ACEITE VERIFICAR	BOMBADA	MANTENIMIENTO SEMANAL 7 DÍAS	Electromecánico
FUNCIONAMIENTO EN AUTOMÁTICO VERIFICAR	CONTROL PC	MANTENIMIENTO SEMANAL 7 DÍAS	Electromecánico
FUNCIÓN EN MANUAL VERIFICAR	CONTROL PC	MANTENIMIENTO SEMANAL 7 DÍAS	Electromecánico
MOTOR VERIFICAR	MOTOR PRINCIPAL	MANTENIMIENTO DE 4000 HORAS	Electromecánico
LUBRIFICADOR VERIFICAR	SISTEMA HIDRÁULICO	MANTENIMIENTO DE 1600 HORAS	Electromecánico
LECTURAS TOMAR	SISTEMA ELÉCTRICO	MANTENIMIENTO DE 200 HORAS	Electromecánico

Fuente: Autor del proyecto

Identificamos las nuevas fallas de acuerdo con la información obtenida de catálogos, historial de correctivos e información suministrada por los operarios y personal de mantenimiento, esto permite listar el mayor número de fallas posibles que se han presentado durante el tiempo de servicio del equipo.

Tabla 21. Racionalización y revisión del (FMA)

FASE 1. Taxonomía		FASE 2 y 3 Modos de Falla	
COMPONENTE O ÍTEM MANTENIBLE	PARTE	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)
CUADRO RESISTENCIAS	RESISTENCIAS	1. Avería en resistencias	1.Horno con deficiencia calentamiento
		2. Punto caliente en conexiones de las cerámicas	
		3. Corto en cableado conexiones de las resistencias	
CILINDRO NEUMÁTICO HORNO	EMPAQUES	4. Desgaste en empaques	2. Horno no sale 3. Horno no entra 4. Horno Bloqueado
	MANGUERAS	5. Fugas en mangueras	
ELECTROVÁLVULA HORNO	SOLENOIDE	6. Avería en bobina	
	PISTÓN	7. Avería en pistón	
SENSORES	FINAL DE CARRERA AVANCE	8. Avería en final de carrera avance	
		9. Descalibración en final de carrera de avance	
	FINAL DE CARRERA RETROCESO	10. Avería en final de carrera de retroceso 11. Descalibración final de carrera de retroceso	
ESTRUCTURA HORNO	RIEL	12. Desgaste en riel	5. Vibración en hormo
	RUEDAS	13. Desgaste en ruedas	
CILINDROS NEUMÁTICOS MARCO	EMPAQUES	4. Desgaste en empaques	6. Marco Bloqueado 7. Marco no sube 8. Marco no baja 9. Marco se descuelga
	MANGUERAS	5. Fugas en mangueras	
ELECTROVÁLVULA HORNO	SOLENOIDE	6. Avería en bobina	
	PISTÓN	7. Avería en pistón	
SENSORES	FINAL DE CARRERA SUBIDA	14. Avería en final de carrera subida	
		15. Descalibración en final de carrera de subida	
	FINAL DE CARRERA BAJADA	16. Avería en final de carrera de bajada 17. Descalibración final de carrera de bajada	
ESTRUCTURA MARCO	CREMALLERAS	18. Desgaste en cremallera	10. Vibración en cuadro
	ROTULA	20. Desgaste en rotula	
	RUEDAS	13. Desgaste en ruedas	
		21. Ruedas descalibradas	

Fuente: Autor del proyecto

3.4.4. Análisis Funcional

Por cada falla identificada se asocia la función que puede perder la máquina, este paso es opcional y se justificaría solo en equipos con alta complejidad en su operación, permitiendo entender el funcionamiento detallado del equipo.

Para la máquina termoformadora Mater II, el equipo interdisciplinario determina que no es necesario desarrollar este paso, el funcionamiento de la máquina analizada no es muy complejo dentro del contexto operacional.

3.4.5. Evaluación de Consecuencias

Se evalúa si las fallas son ocultas o evidentes, teniendo en cuenta que las fallas ocultas son todas aquellas que no pueden ser detectadas por el operario en circunstancias normales de operación del equipo o máquina, las evidentes son detectadas fácilmente por el operador en cualquier momento de la operación del equipo o máquina.

Adicionalmente estas consecuencias pueden ser ambientales o de seguridad, dentro del desarrollo de esta etapa es fundamental realizar la evaluación con el equipo interdisciplinario en el que se determina la consecuencia acorde al modo de fallo funcional.

.

Tabla 22. Evaluación de consecuencias

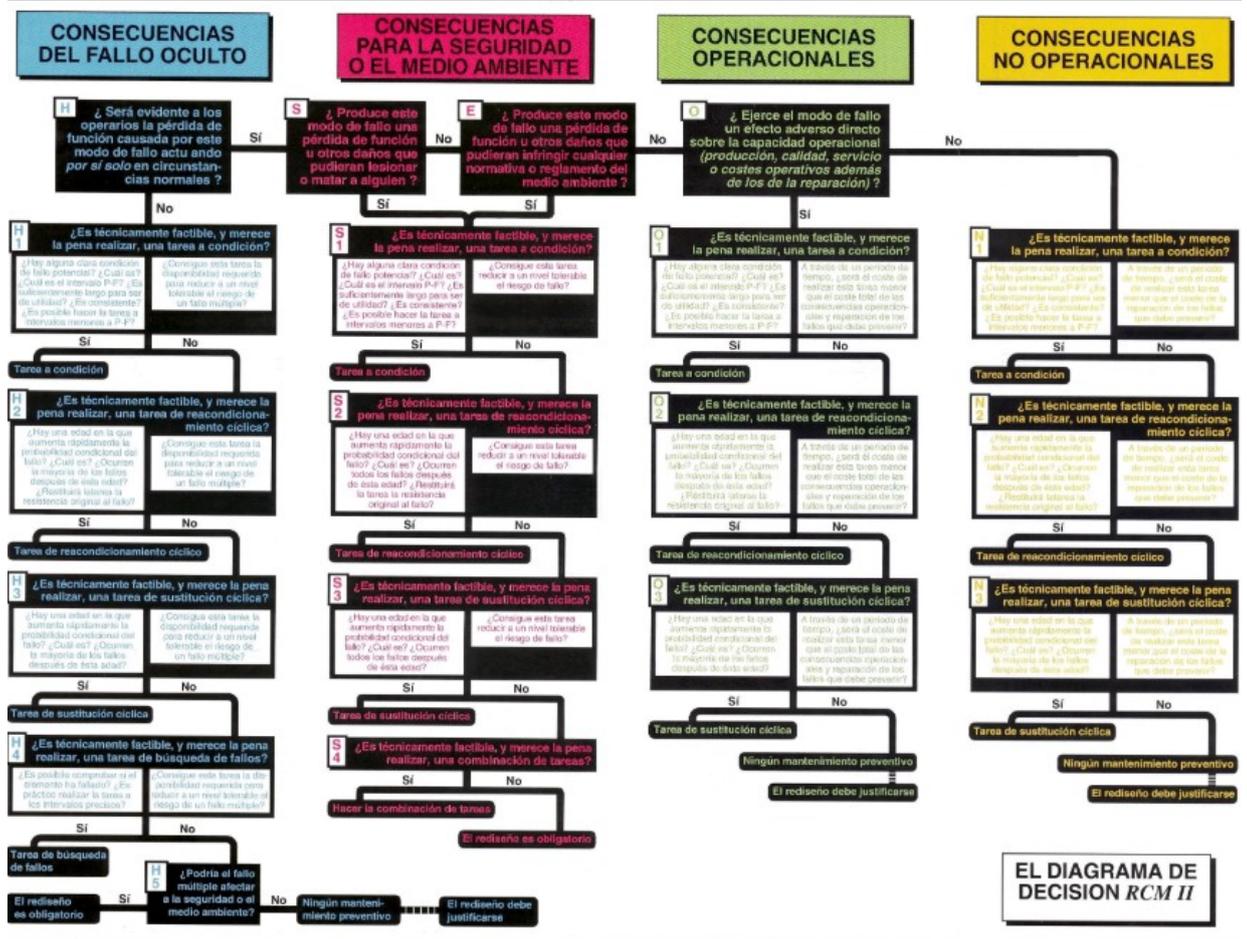
FASE 1. Taxonomía			FASE 2 y 3 Modos de Falla		FASE 5. Evaluación de las consecuencias				
SUBEQUIPO	COMPONENTE O ÍTEM MANTENIBLE	PARTE	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)	H	S	O	Oculto	
HORNO	CUADRO RESISTENCIAS	RESISTENCIAS	1. Avería en resistencias	1.Horno con deficiencia calentamiento			X		
			2. Punto caliente en conexiones de las cerámicas					X	
			3. Corto en cableado conexiones de las resistencias				X		
	CILINDRO NEUMÁTICO HORNO	EMPAQUES	4. Desgaste en empaques	2. Horno no sale 3. Horno no entra 4. Horno Bloqueado				X	
			MANGUERAS		5. Fugas en mangueras			X	
	ELECTROVÁLVULA HORNO	SOLENOIDE	6. Avería en bobina					X	
		PISTÓN	7. Avería en pistón					X	
			FINAL DE CARRERA AVANCE		8. Avería en final de carrera avance				X
	SENSORES HORNO	FINAL DE CARRERA AVANCE	9. Descalibración en final de carrera de avance					X	
		FINAL DE CARRERA RETROCESO	10. Avería en final de carrera de retroceso					X	
	ESTRUCTURA HORNO	RIEL	11. Descalibración final de carrera de retroceso					X	
		RUEDAS	12. Desgaste en riel		5. Vibración en hormo			X	
			13. Desgaste en ruedas					X	
MARCO	CILINDROS NEUMÁTICOS MARCO	EMPAQUES	4. Desgaste en empaques		6. Marco Bloqueado 7. Marco no sube 8. Marco no baja 9. Marco se descuelga				X
		MANGUERAS	5. Fugas en mangueras				X		
	ELECTROVÁLVULA HORNO	SOLENOIDE	6. Avería en bobina					X	
		PISTÓN	7. Avería en pistón					X	
			FINAL DE CARRERA SUBIDA	14. Avería en final de carrera subida					X
	SENSORES MARCO	FINAL DE CARRERA SUBIDA	15. Descalibración en final de carrera de subida					X	
		FINAL DE CARRERA BAJADA	16. Avería en final de carrera de bajada					X	
	ESTRUCTURA MARCO	BAJADA	17. Descalibración final de carrera de bajada					X	
		CREMALLERAS	18. Desgaste en cremallera	10. Vibración en cuadro				X	
		ROTULA	20. Desgaste en rotula				X		
		RUEDAS	13. Desgaste en ruedas				X		
21. Ruedas descalibradas					X				

Fuente: Autor del proyecto

3.4.6. Definición de políticas de mantenimiento

En este paso se realiza el análisis bajo los principios de Mantenimiento Basado en Confiabilidad (RCM), que permite establecer las actividades de mantenimiento más acorde a cada modo de falla, determinando los elementos del programa que optimiza los recursos, para este análisis se emplea el diagrama de decisión.

Figura 17. Diagrama de decisión



EL DIAGRAMA DE DECISION RCM II

De este análisis se pueden tener tres estrategias que se enfocan en las fallas evidentes.

Mantenimiento predictivo: no es invasivo y permite detectar las diferentes señales cuando los equipos se encuentran en proceso de deterioro.

Generalmente se pueden realizarse con el equipo en servicio, permitiendo maximizar la vida útil del equipo y reduciendo los costos asociados a fallas fortuitas.

Este tipo de mantenimiento se pueden emplear en fallas que son detectables a través de elementos tecnológicos o monitoreo que permiten evidenciar un deterioro de los diferentes sistemas o elementos de un equipo o máquina.

Mantenimiento preventivo: Este está determinado por un intervalo de tiempo de acuerdo a la vida útil estimada de los componentes por fatiga, corrosión, oxidación entre otros., razones fundamentales de determinar el cambio o reparación de los equipos y máquinas.

Mantenimiento correctivo: Cuando la falla se presenta fortuitamente y de acuerdo al análisis se determina que es la mejor alternativa a partir de la evaluación de consecuencias asociadas al fallo

Para las fallas ocultas se determina la implementación de mantenimiento predictivo y análisis de falla, lo que permite dar un enfoque más focalizado.

Tabla 23. Tareas optimizadas

FASE 1. Taxonomía			FASE 2 y 3 Modos de Falla		FASE 5. Evaluación de las consecuencias				FASE 6. Tareas optimizadas			
SUBEQUIPO	COMPONENTE O ÍTEM MANTENIBLE	PARTE	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)	H	S	O	Oculto	Tarea	Frecuencia	Responsable / Especialista	
HORNO	CUADRO RESISTENCIAS	RESISTENCIAS	1. Avería en resistencias	1.Horno con deficiencia calentamiento			X		1. Cambiar resistencias defectuosas	50 horas	Electromecánico de acuerdo a la matriz	
			2. Punto caliente en conexiones de las cerámicas					X	2. Realizar termografía	1600 horas	Electromecánico de acuerdo a la matriz	
			3. Corto en cableado conexiones de las resistencias				X	Ninguna tarea de mantenimiento				
	CILINDRO NEUMÁTICO HORNO	EMPAQUES	MANGUERAS	4. Desgaste en empaques	2. Horno no sale 3. Horno no entra 4. Horno Bloqueado				X	3. Inspeccionar desgaste de empaques y fugas en mangueras	1600 horas	Electromecánico de acuerdo a la matriz
				5. Fugas en mangueras				X	Ninguna tarea de mantenimiento			
				6. Avería en bobina				X	Ninguna tarea de Mantenimiento			
	ELECTROVÁLVULA HORNO	SOLENOIDE	PISTÓN	7. Avería en pistón	2. Horno no sale 3. Horno no entra 4. Horno Bloqueado			X		Ninguna tarea de Mantenimiento		
				8. Avería en final de carrera avance				X	Ninguna tarea de Mantenimiento			
				9. Descalibración en final de carrera de avance				X	4. Calibración final de carrera avance y retroceso	1600 horas	Electromecánico de acuerdo a la matriz	
	SENSORES	FINAL DE CARRERA AVANCE	FINAL DE CARRERA RETROCESO	10. Avería en final de carrera de retroceso	2. Horno no sale 3. Horno no entra 4. Horno Bloqueado			X	Ninguna tarea de Mantenimiento			
				11. Descalibración final de carrera de retroceso				X	4. Calibración final de carrera avance y retroceso	1600 horas	Electromecánico de acuerdo a la matriz	
12. Desgaste en riel				5. Vibración en hormo				X	5. Lubricación rieles y ruedas	50 horas	Electromecánico de acuerdo a la matriz	
13. Desgaste en ruedas			X									
14. Avería en final de carrera subida	6. Marco Bloqueado 7. Marco no sube 8. Marco no baja 9. Marco se descuelga				X	3. Inspeccionar desgaste de empaques y fugas en mangueras	1600 horas	Electromecánico de acuerdo a la matriz				
15. Descalibración en final de carrera de subida				X	Ninguna tarea de mantenimiento							
16. Avería en final de carrera de bajada				X	Ninguna tarea de Mantenimiento							
MARCO	CILINDROS NEUMÁTICOS MARCO	EMPAQUES	4. Desgaste en empaques	6. Marco Bloqueado 7. Marco no sube 8. Marco no baja 9. Marco se descuelga				X	3. Inspeccionar desgaste de empaques y fugas en mangueras	1600 horas	Electromecánico de acuerdo a la matriz	
			5. Fugas en mangueras				X	Ninguna tarea de mantenimiento				
			6. Avería en bobina				X	Ninguna tarea de Mantenimiento				
	ELECTROVÁLVULA HORNO	SOLENOIDE	PISTÓN	7. Avería en pistón	6. Marco Bloqueado 7. Marco no sube 8. Marco no baja 9. Marco se descuelga			X	Ninguna tarea de Mantenimiento			
				14. Avería en final de carrera subida				X	6. Calibración final de carrera subida y bajada	1600 horas	Electromecánico de acuerdo a la matriz	
				15. Descalibración en final de carrera de subida				X	Ninguna tarea de Mantenimiento			
	SENSORES	FINAL DE CARRERA SUBIDA	FINAL DE CARRERA BAJADA	16. Avería en final de carrera de bajada	6. Marco Bloqueado 7. Marco no sube 8. Marco no baja 9. Marco se descuelga			X	6. Calibración final de carrera subida y bajada	1600 horas	Electromecánico de acuerdo a la matriz	
				17. Descalibración final de carrera de bajada				X	Ninguna tarea de Mantenimiento			
				18. Desgaste en cremallera		10. Vibración en cuadro			X	7. Lubricación cremallera y ruedas	50 horas	Electromecánico de acuerdo a la matriz
	20. Desgaste en rotula			X								
13. Desgaste en ruedas			X	8. Calibrar ruedas	1600 horas		Electromecánico de acuerdo a la matriz					
SISTEMA HIDRÁULICO	BOMBA HIDRÁULICA	RODAMIENTOS	22. Desgaste en rodamientos	11. Vibración bomba				X	9. Análisis de vibraciones	2400 horas	Electromecánico de acuerdo a la matriz	
			23. Desgaste alojamientos carcasa				X					
			24. Desgaste en acople entre motor bomba				X	Ninguna tarea de Mantenimiento				
	ELECTROVÁLVULA MESA	VANES	FILTRO ACEITE	25. Desgaste en vanes	12. Mesa bloqueada 13. Mesa no sube 14. Mesa no baja			X	10. Cambio filtro de aceite	2000 horas	Electromecánico de acuerdo a la matriz	
				26. Saturación de filtro de aceite				X	11. Cambio aceite	4000 horas	Electromecánico de acuerdo a la matriz	
				27. Deterioro de aceite por uso y vida útil				X	Ninguna tarea de mantenimiento			
	CILINDRO HIDRÁULICO	SOLENOIDE	PISTÓN	6. Avería en bobina	15. Sistema hidráulico sin presión			X	Ninguna tarea de Mantenimiento			
				7. Avería en pistón				X	Ninguna tarea de Mantenimiento			
				4. Desgaste en empaques		16. Mesa se descuelga			X	3. Inspeccionar desgaste de empaques y fugas en mangueras	1600 horas	Electromecánico de acuerdo a la matriz
	5. Fugas en mangueras			X	Ninguna tarea de Mantenimiento							
	14. Avería en final de carrera subida	12. Mesa bloqueada 13. Mesa no sube 14. Mesa no baja			X		6. Calibración final de carrera subida y bajada	1600 horas	Electromecánico de acuerdo a la matriz			
15. Descalibración en final de carrera de subida				X	Ninguna tarea de Mantenimiento							
16. Avería en final de carrera de bajada	15. Sistema hidráulico sin presión				X	6. Calibración final de carrera subida y bajada	1600 horas	Electromecánico de acuerdo a la matriz				
17. Des calibración final de carrera de bajada				X	Ninguna tarea de Mantenimiento							
22. Desgaste en rodamientos		17. Vibración bomba			X	9. Análisis de vibraciones	2400 horas	Electromecánico de acuerdo a la matriz				
23. Desgaste alojamientos carcasa				X								

Fuente: Autor del proyecto

3.4.7. Agrupación y Revisión

Se agrupan las actividades por frecuencia, actividad, entre otros, de acuerdo con el análisis realizado y se realiza una validación con el equipo responsable de la implementación, con el objetivo de alinear las políticas de mantenimiento establecidas dentro del proceso a los objetivos de la compañía (producción y mantenimiento), tomando las medidas y ajustes correspondiente.

Adicionalmente esto permite alinear la información para alimentar el software de mantenimiento infomante y generar las órdenes de acuerdo con las frecuencias y actividades establecidas.

Tabla 24. Agrupación plan de mantenimiento mater II Infomante

OPTIMIZACIÓN PLAN DE MANTENIMIENTO MATTER II INFOMANTE							
ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	TAREA	DESCRIPCIÓN	SISTEMA	VECES	EJECUCIÓN HH	TIEMPO EN MIN
TERM002-A	MANTENIMIENTO PREVENTIVO 7 DÍAS	REDECAMB	RESISTENCIAS DEFECTUOSAS CAMBIAR	CUADRO RESISTENCIAS	1	0,17	10
		RIRULUBR	RIELES Y RUEDAS LUBRICAR	ESTRUCTURA HORNO	1	0,05	3
		CRRULUBR	CREMALLERA Y RUEDAS LUBRICAR	ESTRUCTURA MARCO	1	0,10	6
		NIACVERI	NIVEL DE ACEITE VERIFICAR	BOMBA HIDRÁULICA	1	0,02	1
		HOMEinLU	HOLGURAS MECÁNICAS INSPECCIONAR Y LUBRICAR	TIJERA MESA	1	0,07	4
		FIAI LIMP	FILTRO DE AIRE Y EN Y LIMPIAR	BOMBA DE VACÍO	1	0,08	5
		NIACVERI	NIVEL DE ACEITE VERIFICAR	BOMBA DE VACÍO	1	0,02	1
		MANGINSP	MANGUERA INSPECCIONAR	BOMBA DE VACÍO	1	0,07	4
PAEMREVI	PARO DE EMERGENCIA REVISAR	TABLERO DE CONTROL	1	0,03	2		
						0,60	36
TERM002-B	MANTENIMIENTO PREVENTIVO 1600 HORAS	TERMREAL	TERMOGRAFÍA REALIZAR	CUADRO RESISTENCIAS	1	0,08	5
		DEFMINSP	DESGASTE DE EMPAQUES Y FUGAS EN MANGUERAS INSPECCIONAR	CILINDRO NEU HORNO	1	0,17	10
		FCARCALI	FINAL DE CARRERA AVANCE Y RETROCESO CALIBRAR	SENSORES HORNO	2	0,07	4
		DEFMINSP	DESGASTE DE EMPAQUES Y FUGAS EN MANGUERAS INSPECCIONAR	CILINDROS NEU MARCO	1	0,17	10
		FCSBCALI	FINAL DE CARRERA SUBIDA Y BAJADA CALIBRAR	SENSORES MARCO	2	0,07	4
		RUEDCALI	RUEDAS CALIBRAR	ESTRUCTURA MARCO	1	0,07	4
		DEFMINSP	DESGASTE DE EMPAQUES Y FUGAS EN MANGUERAS INSPECCIONAR	CILINDRO HIDRÁULICO	1	0,33	20
		FCSBCALI	FINAL DE CARRERA SUBIDA Y BAJADA CALIBRAR	SENSORES MESA	2	0,07	4
		TERMREAL	TERMOGRAFÍA REALIZAR	TABLERO DE CONTROL	1	0,05	3
		TERMREAL	TERMOGRAFÍA REALIZAR	TABLERO DE POTENCIA	1	0,08	5
						1,15	69
TERM002-C	MANTENIMIENTO PREVENTIVO 2000 HORAS	FIAI LIMP	FILTRO ACEITE LIMPIAR	BOMBA HIDRÁULICA	1	0,25	15
		ANACREAL	ANÁLISIS DE ACEITE REALIZAR	BOMBA HIDRÁULICA	1	0,17	10
		FIACCAMB	FILTRO DE ACEITE CAMBIAR	BOMBA DE VACÍO	1	0,05	3
		FIAI CAMB	FILTRO DE AIRE CAMBIAR	BOMBA DE VACÍO	1	0,02	1
		ACEI CAMB	ACEITE CAMBIAR	BOMBA DE VACÍO	1	0,25	15
						0,73	44
TERM002-D	MANTENIMIENTO PREVENTIVO 2600 HORAS	ANVIREAL	ANÁLISIS DE VIBRACIONES REALIZAR	BOMBA HIDRÁULICA	1	0,25	15
		ANVIREAL	ANÁLISIS DE VIBRACIONES REALIZAR	MOTOR BOMBA HIDRÁULICA	1	0,25	15
		PEMEINAJ	PERNOS MESA INSPECCIONAR Y AJUSTAR	TIJERA MESA	1	0,02	1
		ANVIREAL	ANÁLISIS DE VIBRACIONES REALIZAR	BOMBA DE VACÍO	1	0,25	15
		ANVIREAL	ANÁLISIS DE VIBRACIONES REALIZAR	MOTOR BOMBA VACÍO	1	0,25	15
						1,02	61

Fuente: Autor del proyecto

3.4.8 Aprobación e implementación

Se realiza presentación del desarrollo a la alta gerencia para su aprobación e implementación. Posteriormente se socializan las actividades, responsables, tiempos, entre otros, al personal de producción y mantenimiento encargados de la operación, con el objetivo de determinar los roles de ejecución y los diferentes niveles de intervención que puede tener cada responsable, adicionalmente se evalúa la implementación y necesidades para la ejecución de las actividades planteadas al final del proceso.

Esto permite que las áreas involucradas se comprometan con la implementación e inclusión en plan de mantenimiento de la máquina y actividades diarias del colaborador que opera la máquina.

3.4.9. Programa dinámico

Durante este proceso realizado con el equipo multidisciplinario se obtiene un plan de mantenimiento estructurado que permite optimizar los recursos que se empleaban en el desarrollo del mantenimiento, adicional de mejorar la disponibilidad de esta.

Estos ajustes se darán poco a poco y con el compromiso de las diferentes áreas se verán los resultados en corto y mediano plazo. Esta implementación es

dinámica y permite realizar ajustes en el transcurso del tiempo que permitan mantener un programa dinámico de mejoramiento continuo.

Es importante tener un personal capacitado y motivado que permita mantener y ejecutar las actividades a cabalidad de acuerdo con el planteamiento desarrollado para maximizar los resultados en el menor tiempo posible, adicionalmente identificar las competencias requeridas por el personal, cerrando las brechas que pueda tener el personal técnico para mantener una mayor confiabilidad humana.

4. RESULTADO OBTENIDO

Posterior al desarrollo se realiza un balance de los resultados obtenidos, en donde se eliminan las tareas ineficientes, duplicadas, se toman tiempos, costos de ejecución, lista repuestos y herramientas requeridas para el desarrollo de las actividades planteadas, esto optimiza los recursos empleados en la organización para el mantenimiento de la máquina.

Adicionalmente este desarrollo permite establecer la metodología, recursos y tiempos requeridos para la implementación en otros equipos críticos de la organización de acuerdo con la matriz establecida.

Tabla 25. Frecuencias y actividades antes de la implementación

Frecuencia	Actividades	% Por Frecuencia
MANTENIMIENTO SEMANAL 7 DÍAS	9	24%
MANTENIMIENTO DE 200 HORAS	10	26%
MANTENIMIENTO DE 400 HORAS	9	24%
MANTENIMIENTO DE 1600 HORAS	6	16%
MANTENIMIENTO DE 4000 HORAS	4	11%
TOTAL	38	100%

Fuente: Autor del proyecto

Al iniciar el proceso se tenían 5 frecuencias y 38 actividades programadas para la máquina termoformadora II, al terminar la implementación quedaron 4 frecuencias con una reducción del 20% y 29 actividades con una reducción del 24%.

El 28% de las actividades son tareas a condición, el 41% son Tareas de reacondicionamiento cíclico, el 24% son tareas de sustitución cíclica y el 7% son tareas de búsqueda de falla. Adicionalmente a 14 fallas no se realiza ningún mantenimiento preventivo, se corre a falla.

Tabla 26. Frecuencias y tipos de tarea

Frecuencia	Tareas a condición / CBM Mantenimiento Basado en Condición	Tareas de reacondicionamiento cíclico	Tareas de sustitución cíclica	H. Tarea de búsqueda de fallas	H/O/N Correr a falla (Ningún mantenimiento preventivo)	H/O/N. El rediseño debe justificarse	TOTAL	% Por Frecuencia
7 días		5	4				9	31%
1600 horas	3	5		2			10	34%
2000 horas	1	1	3				5	17%
2600 horas	4	1					5	17%
					14		14	
Total	8	12	7	2			29	100%
% tipo de tarea	28%	41%	24%	7%			100%	

Fuente: Autor del proyecto

Figura 18. Tiempos de ejecución



Fuente: Autor del proyecto

Al comparar los tiempos de ejecución antes de la implantación vs la proyección estimada después de la implementación, se evidencia una reducción de 56 horas hombre, correspondiente a una optimización del 28%, evidenciado en la tabla 25

Tabla 27. Comparativos tiempos de ejecución

Frecuencia de Mantenimiento	HH antes de la implementación	Tiempo Proyectado a 4000 horas	HH después de la implementación	Tiempo Proyectado a 4000 horas
MANTENIMIENTO SEMANAL 7 DÍAS	1,6	131,1	0,60	48,0
MANTENIMIENTO DE 200 HORAS	2,1	42,5		0,0
MANTENIMIENTO DE 400 HORAS	1,9	18,8		0,0
MANTENIMIENTO DE 1600 HORAS	2,3	5,8	1,15	92,0
MANTENIMIENTO DE 2000 HORAS		0,0	0,73	1,5
MANTENIMIENTO DE 2600 HORAS		0,0	1,02	1,6
MANTENIMIENTO DE 4000 HORAS	1,3	1,3		0,0
	Total	199		143
	Reducción HH		56,4	28%

Fuente: Autor del proyecto

Figura 19. Tiempos de ejecución



Fuente: Autor del proyecto

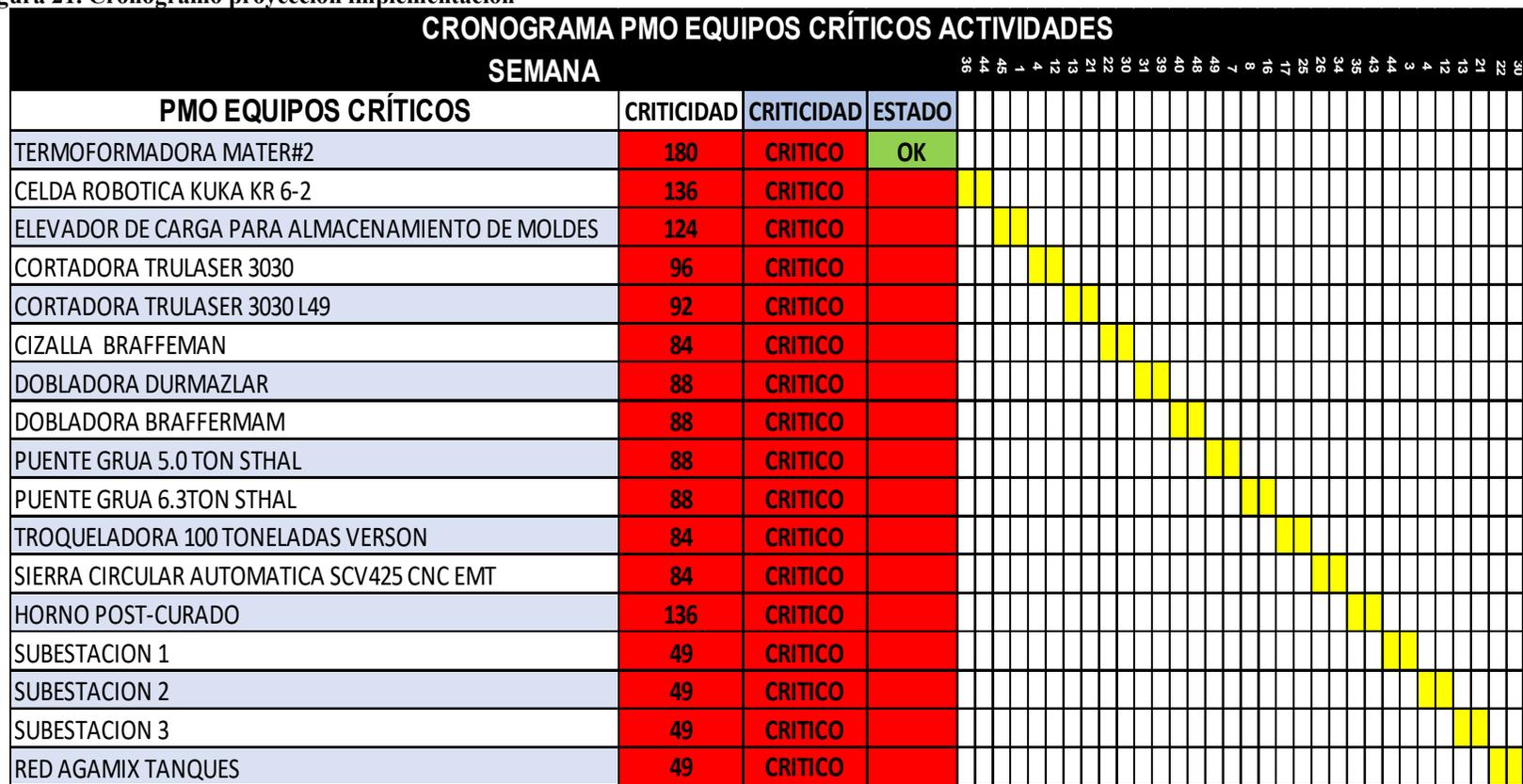
En la presentación desarrollada a la alta gerencia, se recomienda continuar con la implementación de la metodología PMO en los equipos y maquinaria crítica de la organización de acuerdo con las bondades de la metodología y los resultados evidenciados y proyectados a corto y mediano plazo.

Figura 20. Cronograma proyección de ejecución por actividad

CRONOGRAMA PMO EQUIPOS CRÍTICOS ACTIVIDADES									
	SEMANA								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
PMO EQUIPOS CRÍTICOS									
Paso 1 Recopilación de Tareas	■								
Paso 2 Análisis de Modos de Falla (FMA)		■	■	■					
Paso 3 Racionalización y Revisión del FMA					■				
Paso 5 Evaluación de Consecuencias					■	■			
Paso 6 Definición Política de Mantenimiento						■	■		
Paso 7 Agrupación y Revisión							■	■	
Paso 8 Aprobación e Implementación								■	■

Fuente: Autor del proyecto

Figura 21. Cronograma proyección implementación



Fuente: Autor del proyecto

Comportamiento de indicadores 2020 – 2021

Tabla 28. Metas y comportamientos de indicadores 2020 - 2021

METAS INDICADORES BALANCED SCORECARD								
TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS (T.M.E.F)			TIEMPO MEDIO PARA REPARACION (T.M.P.R)			DISPONIBILIDAD		
Mala	Regular	Buena	Mala	Regular	Buena	Buena	Regular	Mala
<284	<299- 284>	>=300	>2,3	<2- 2,29>	<=1,99	> 98.91%	< 98% - 98,90% >	< 97,9%

INDICADORES 2021								
MES	T. REQ	N.PAROS	T.PERD	T.FUNC.	T.M.E.F	T.M.P.R	DISPONIBILIDAD	OBSERVACIONES
ENERO	140	0	0	140,00			100,00%	
FEBRERO	200	0	0	200,00			100,00%	
MARZO	220	4	11,66	208,34	52,09	2,92	94,70%	Inicio implementación PMO
ABRIL	170	0	0	170,00			100,00%	
MAYO	130	1	1,68	128,32	128,32	1,68	98,7%	
JUNIO	200	0	0	200,00			100,0%	
JULIO	200	1	0,08	199,92	199,92	0,08	99,96%	
AGOSTO	210	0	0	210			100,00%	
SEPTIEMBRE	220	1	0,67	219,33	219,33	0,67	99,70%	Implementación Completa PMO
OCTUBRE	400	0	0	400			100,00%	
NOVIEMBRE	440	1	8	432	432,00	8	98,2%	Maquina estrellada por producción
DICIEMBRE	400	1	1	399	399,00	1,00	99,8%	
TOTAL TIEMPO PERDIDO EN HORAS			23,09					

INDICADORES 2020								
MES	T. REQ	N.PAROS	T.PERD	T.FUNC.	T.M.E.F	T.M.P.R	DISPONIBILIDAD	OBSERVACIONES
ENERO	440	6	10,5	429,5	71,5833	1,75	97,61%	
FEBRERO	500	4	3,46	496,54	124,14	0,87	99,31%	
MARZO	320	5	16,13	303,87	60,77	3,23	94,96%	
ABRIL		2	4,5					No se reporta por pandemia
MAYO	546	4	2,41	543,59	135,90	0,60	99,6%	
JUNIO	483	6	13,14	469,86	78,310	2,19	97,3%	
JULIO	546	5	10,52	535,48	107,10	2,10	98,07%	
AGOSTO	504	6	11,59	492,41	82,07	1,93	97,70%	
SEPTIEMBRE	430	3	8,67	421,33	140,44	2,89	97,98%	
OCTUBRE	210			210			100,0%	
NOVIEMBRE	190	3	6	184	61,3333	2	96,8%	
DICIEMBRE	120	0	0	120			100,00%	
TOTAL TIEMPO PERDIDO EN HORAS			86,92					

Fuente: Autor del proyecto

Se evidencia una considerable mejora en los indicadores de la máquina y en los tiempos perdidos, asociados a las fallas fortuitas del equipo posterior a la implementación desarrollada de acuerdo con la metodología establecida.

5. COMPETENCIA TÉCNICAS

En toda organización es importante definir las competencias requeridas del personal de mantenimiento y realizar una evaluación que permita determinar que personal es competente y cuáles son las brechas para luego determinar un plan de acción que permitan reducir los vacíos que se tenga.

En la compañía se determinó como directriz que solo el personal competente puede desarrollar mantenimientos en los equipos críticos de acuerdo con la matriz, esto permite una alta confiabilidad humana, a corto y mediano plazo se verá reflejado en la confiabilidad de los equipos en la organización.

Adicionalmente permite identificar fortalezas y debilidades del personal para luego propiciar las herramientas necesarias y cerrar brechas, esto es fundamental para mantener un equipo con alto nivel de polivalencia, permitiendo tener una alta flexibilidad en manteniendo y mitigando las afectaciones que se puedan dar por el retiro de un técnico con un grado de conocimiento alto en el funcionamiento y mantenimiento de los equipos, máquinas e infraestructura de la organización.

Se desarrolla matriz para evaluar cualitativamente las competencias de los técnicos y determinar que electromecánicos son más idóneos para realizar las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo en los equipos, máquinas e infraestructuras críticas de la organización, estas competencias son determinadas por el equipo interdisciplinario.

De los técnicos con las competencias se evalúa el nivel de conocimiento en cuanto al funcionamiento, operación y desarrollo de las actividades de mantenimiento de los equipos y máquinas críticas de la organización, se determina el requerimiento mínimo del personal que se debe mantener en un nivel alto en el que puede realizar la actividad sin supervisión y replicar el conocimiento

Tabla 30. Ponderación del conocimiento en máquinas crítica

CONOCIMIENTO EN MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN DE MAQUINAS CRITICAS											
Código	Nombre/Descripción	WILLIAM OLARTE	RODRÍGUEZ JARAMILLO IVAN ALEJANDRO	PERALTA LÓPEZ JOSÉ ERNESTO	AHARONI IEHUDAH	CHILATRA DUCUARA ROSEMBERG	DÍAZ SIERRA SERGIO DAVID	TRILLO QUINTERO DIOSELIN	REQUERIMIENTO	TOTAL ACTUAL	DIFERENCIA
TERM002	TERMOFORMADORA MATER#2	1	2	1	2	1	2	1	4	4	0
CERK001	CELDA ROBOTICA KUKA KR 6-2	1	2	1	2	2	3	1	4	3	1
ELEV025	ELEVADOR DE CARGA PARA ALMACENAMIENTO DE MOLDES	1	1	1	2	1	2	1	4	5	-1
CORT009	CORTADORA TRULASER 3030	1	2	1	2	3	2	1	4	3	1
CORT010	CORTADORA TRULASER 3030 L49	1	2	1	2	3	2	1	4	3	1
CORT001	CIZALLA BRAFFEMAN	1	1	1	2	2	2	1	4	4	0
DOBL004	DOBLADORA DURMAZLAR	1	2	1	3	2	2	1	4	3	1
DOBL001	DOBLADORA BRAFFERMAM	1	1	1	3	2	2	1	4	4	0
PUEN002	PUENTE GRUA 5.0 TON STHAL	1	1	1	3	2	2	1	4	4	0
PUEN003	PUENTE GRUA 6.3TON STHAL	1	1	1	3	2	2	1	4	4	0
TROQ002	TROQUELADORA 100 TONELADAS VERSON	1	1	1	2	2	2	1	4	4	0
SIER021	SIERRA CIRCULAR AUTOMATICA SCV425 CNC EMT	1	1	1	3	2	2	2	4	3	1
HORN002	HORNO POST-CURADO	1	1	3	2	1	1	1	4	5	-1
SUBE001	SUBESTACION 1	2	3	2	2	1	3	1	4	2	2
SUBE002	SUBESTACION 2	2	3	2	2	1	3	1	4	2	2
SUBE003	SUBESTACION 3	2	3	2	2	1	3	1	4	2	2
REDA004	RED AGAMIX TANQUES	1	1	1	1	1	1	1	6	7	-1
ALTO	1	Realiza la actividad sin supervisión y puede replicar el conocimiento									
MEDIO	2	Puede realizar la actividad bajo supervisión									
BAJO	3	No realiza la operación									

Fuente: Autor del proyecto

6. CONCLUSIONES

El apoyo de la alta gerencia es fundamental para el desarrollo de la implementación de la estrategia, esto permite que el personal requerido y los recursos necesarios estén disponibles para la ejecución de los pasos establecidos en la metodología los objetivos establecidos y esperados por la organización.

Se actualizaron las actividades y frecuencias de mantenimiento en el software Infomante, permitiendo dar continuidad y seguimiento del plan de mantenimiento establecido después del desarrollo ejecutado.

Se identificaron y retiraron actividades con frecuencias que no le aportaban valor agregado al plan de mantenimiento y si consumían recursos de la organización que pueden ser empleados en otras actividades del área.

PMO es una metodología amigable, viable y que fortalece los planes de mantenimientos establecidos por la organización, permitiendo optimizar los recursos, adicionalmente fortalecer el conocimiento del equipo humano de la compañía e integración de las diferentes áreas que desarrollan la metodología en tiempos muy cortos.

La plantilla desarrollada permite ir ejecutando el paso a paso de la metodología y guiando el desarrollo de esta, establece la guía para la implementación en equipos

críticos de la organización estableciendo un estándar y optimizando los tiempos de ejecución.

Se lograron los objetivos establecidos al finalizar el desarrollo de la metodología, se redujo un 20% de las frecuencias y un 24% de las actividades, se desarrolló la metodología, se establecieron los recursos, guía y cronograma para la implementación en los equipos críticos de la organización.

BIBLIOGRAFÍA

- MORA GUTIÉRREZ. Alberto Mantenimiento. Planeación, ejecución y control. Colombia: Alfaomega, 2009. p. 130
- MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. México: Aladon, 2004. p. 150
- AMEZQUITA, John, Gonzalo, Jim y LESMES, Juan. Modelo para el mejoramiento de planes de mantenimiento basado en la metodología PMO para los equipos de un campo de producción de hidrocarburos. 2014. p.10
- GUZMÁN, Fredy, PALACIO, Leandro y TORRADO, Jesús. Optimización del plan de mantenimiento (PMO) al sistema de compresión de gas natural del campo rio ceibas. 2015. 20 p.
- HERNÁNDEZ, Saúl. Metodología para optimizar la gestión del mantenimiento, basado en PMO para las plantas y centros de generación TELLO y DINA 2016 p. 54-70
- TURNER Steven. Análisis Mantenimiento de futuro PM optimización PMO2000. Australia, Northwestern University, Kellogg School of Management Universidad Chapman
- FIGUEROA, Octavio. Definición de plan de mantenimiento óptimo para equipos críticos de una planta de laminación. 2015. p. 90
- Petroleum and natural gas industries-Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment, ISO 14224, 200

- VALDERRAMA, María del pilar. Optimización del plan de mantenimiento
Colombia 2020 ACIEM

ANEXOS

ANEXO A: CORRECTIVOS TERMOFORMADORA MATER II

ANEXO B: TAREAS ACTUALES

ANEXO C: FORMATO PMO- MATER II

ANEXO D: HERRAMIENTA E INSUMOS

ANEXO E: PMO INFOMANTE