



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD MECÁNICA

CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO EN EL
PROCESO ELPO DEL ÁREA DE PINTURA EN LA EMPRESA
CIAUTO EMPLEANDO EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN
LA CONFIABILIDAD”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

AUTOR: DARWIN PAUL FREIRE CAZCO

DIRECTOR: Ing. ALEX GIOVANNY TENICOTA GARCÍA

Riobamba – Ecuador

2021

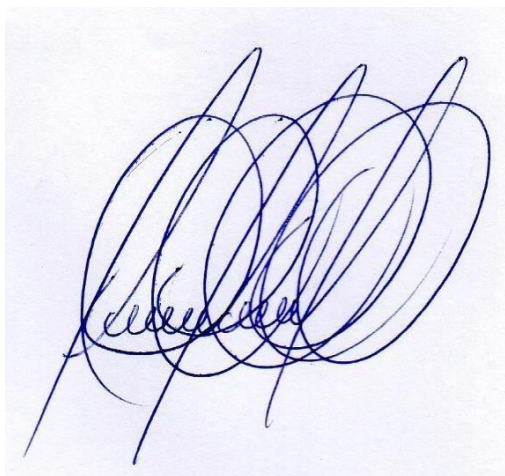
© 2021, Darwin Paul Freire Cazco

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Darwin Paul Freire Cazco, declaro que el presente trabajo de integración curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



Riobamba, 08 de abril del 2021

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and a cursive script at the bottom, set against a light blue background.

Darwin Paul Freire Cazco
060434040-6

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular Tipo: Proyecto Técnico, **OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO EN EL PROCESO ELPO DEL ÁREA DE PINTURA EN LA EMPRESA CIAUTO EMPLEANDO EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD**, realizado por el señor: **DARWIN PAUL FREIRE CAZCO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. José Antonio Granizo PhD. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: JOSE ANTONIO	2021/04/08
Ing. Alex Giovanni Tenicota Msc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ALEX GIOVANNY TENICOTA GARCIA Firmado digitalmente por ALEX GIOVANNY TENICOTA GARCIA Fecha: 2022.05.10 11:30:02 -05'00'	2021/04/08
Ing. Eugenia Mercedes Naranjo Msc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: EUGENIA MERCEDES NARANJO VARGAS	2021/04/08

DEDICATORIA

Con cariño dedico este trabajo de integración curricular a mis padres: José Freire y Rita Cazco, que han sido mi guía y apoyo en todos los momentos de mi vida donde sus buenos consejos y amor de padres hicieron que mi esfuerzo sea mayor, con la educación y formación que me han dado desde muy niño ahora puedo seguir mi camino como profesional y como persona.

A mi hermana Bethy Freire, por compartir sus alegrías y enseñanzas conmigo día a día nos formamos en un hogar donde a pesar de las dificultades hemos salido adelante como familia.

Darwin

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a mis padres José y Rita por haberme guiado en este camino y brindarme confianza de tomar decisiones acertadas y haber tenido la oportunidad de conocer a maestros y compañeros que juntos crecimos y nos formamos como profesionales

Agradecer a la empresa CIAUTO por haberme dado la oportunidad de realizar este trabajo de integración curricular al departamento de mantenimiento de la mano del Ingeniero Jorge Ninacuri y Javier Pilatasig quienes brindaron la confianza y el apoyo para realizar todos los estudios en la planta y la enseñanza en este tiempo que compartí con ellos

A mi director de tesis el Ing. Alex Tenicota e Ing. Eugenia Naranjo, que guiaron este trabajo ya que juntos nos enriquecimos de nuevos conocimientos, y demostrar lo que es la ESPOCH y la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento Industrial.

Darwin

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE GRAFICOS	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN	xv
SUMMARY	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	2
1. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1 Antecedentes	2
1.2 Justificación	3
1.3 Alcance	3
1.4 Delimitación	4
1.5 Objetivos	4
1.5.1 <i>Objetivo general</i>	4
1.5.2 <i>Objetivos específico</i>	4
CAPÍTULO II	5
2. MARCO METODOLÓGICO	5
2.1 Mantenimiento	5
2.1.1 <i>Mantenimiento correctivo</i>	7
2.1.2 <i>Mantenimiento preventivo</i>	7
2.1.3 <i>Mantenimiento predeterminado</i>	7
2.1.4 <i>Mantenimiento basado en la condición</i>	7
2.1.5 <i>Mantenimiento predictivo</i>	8
2.1.6 <i>Mantenimiento mejorativo</i>	8
2.2 Proceso de pintura por electrodeposición catódica ELPO	8
2.3 Metodología optimización del plan de mantenimiento	9
2.3.1 <i>Plan de mantenimiento</i>	9
2.3.2 <i>Optimización del plan de mantenimiento</i>	10
2.3.3 <i>Características de la metodología PMO</i>	11

2.3.4	<i>Beneficios del PMO</i>	11
2.3.5	<i>Pasos para el desarrollo del PMO</i>	13
2.3.5.1	<i>Recopilación de tareas</i>	13
2.3.5.2	<i>Análisis de los modos de fallo y sus efectos AMEF</i>	14
2.3.5.3	<i>Racionalización y revisión</i>	14
2.3.5.4	<i>Análisis funcional</i>	14
2.3.5.5	<i>Evaluación de las consecuencias</i>	14
2.3.5.6	<i>Definición de las políticas de mantenimiento</i>	15
2.3.5.7	<i>Agrupación y revisión</i>	15
2.3.5.8	<i>Aprobación e implementación</i>	16
2.4	Metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad	16
2.4.1	<i>Criticidad</i>	17
2.4.2	Funciones y parámetros de funcionamiento	18
2.4.3	Aspectos por considerar para definir la función de un activo	18
2.4.4	<i>Fallos funcionales</i>	18
2.4.5	<i>Modos de fallo (causas del fallo)</i>	19
2.4.6	<i>Efectos del fallo</i>	19
2.4.7	<i>Consecuencias del fallo</i>	21
2.4.8	Funciones evidentes y consecuencias del fallo	22
2.4.9	<i>Tareas de mantenimiento</i>	23
2.4.10	<i>Técnicas de manejo de fallos</i>	23
2.4.11	<i>Acciones a falta de</i>	24
2.4.12	<i>Modelo de gestión de mantenimiento</i>	24
CAPÍTULO III		25
3.	MARCO METODOLÓGICO	25
3.1	Adquisición de la información	25
3.2	Identificación del área de trabajo	25
3.3	Codificación de los activos	26
3.3.1	<i>Ubicación</i>	26
3.3.2	<i>Área</i>	27
3.3.3	<i>Sistema</i>	27
3.3.4	<i>Máquina</i>	27
3.3.5	<i>Equipos</i>	28
3.4	Desarrollo de la metodología PMO	28
3.4.1	<i>Recopilación de la información</i>	28

3.4.2	<i>Análisis modos de fallo</i>	29
3.4.3	<i>Revisión de los modos de fallo</i>	29
3.4.4	Depuración y codificación de los modos de fallo	29
3.4.5	<i>Evaluación de las consecuencias</i>	30
3.4.6	Determinación de las tareas de mantenimiento	30
3.4.7	Agrupación y revisión de tareas de mantenimiento	31
3.4.8	<i>Aprobación e implementación</i>	31
3.5	Desarrollo del plan de mantenimiento basado en el RCM	31
3.5.1	<i>Criticidad</i>	32
3.5.1.1	<i>Modelo semi cuantitativo para la evaluación de criticidad</i>	32
3.5.1.2	<i>Método del flujograma</i>	34
3.5.2	Funciones y estándares de funcionamiento	37
3.5.3	<i>Fallos</i>	37
3.5.4	<i>Modos de fallo</i>	38
3.5.5	Efectos de fallo	39
3.5.6	<i>Hoja de información y de decisión</i>	42
3.5.7	<i>Consecuencias de los fallos</i>	43
3.5.8	<i>Programación de mantenimiento</i>	46
CAPITULO IV		49
4.	RESULTADOS	49
4.1	Adquisición de información	49
4.2	Identificación del área de trabajo	50
4.3	Codificación	50
4.4	Análisis de resultados de la metodología PMO	51
4.4.1	<i>Recopilación de información</i>	51
4.4.2	<i>Análisis de los modos de fallo</i>	53
4.4.3	<i>Revisión de los modos de fallo</i>	54
4.4.4	Depuración y codificación de los modos de fallo	55
4.4.5	<i>Evaluación de las consecuencias</i>	56
4.4.6	Determinación de las tareas de mantenimiento	57
4.4.7	Agrupación y revisión de tareas de mantenimiento	60
4.4.8	<i>Aprobación e implementación</i>	63
4.5	Beneficios obtenidos con la optimización del plan de mantenimiento	63
4.6	Metodología RCM	65
4.6.1	<i>Análisis de criticidad</i>	65

4.6.2	<i>Definición del contexto operacional</i>	66
4.6.3	<i>Hoja de información</i>	67
4.6.4	<i>Consecuencias de fallo</i>	71
4.6.5	<i>Hoja de decisión del RCM</i>	71
	CONCLUSIONES	74
	RECOMENDACIONES	75

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Etapas del ELPO	9
Tabla 2-2:	Las siete preguntas del RCM	17
Tabla 3-2:	Aspectos a considerar para definir los modos de fallo	19
Tabla 4-2:	Descripción de los efectos de fallo	20
Tabla 5-2:	Hoja de información del RCM	21
Tabla 6-2:	Categorías de las consecuencias	21
Tabla 7-2:	Selección de las políticas de manejo de fallos	23
Tabla 1-3:	Etapas del proceso ELPO.....	25
Tabla 2-3:	Análisis de modos de fallo.....	29
Tabla 3-3:	Depuración y codificación de los modos de fallo	30
Tabla 4-3:	Agrupación de tareas	31
Tabla 5-3:	Criterios para determinar criticidad	32
Tabla 6-3:	Secuencia de ítems del diagrama de flujo	35
Tabla 7-3:	Fallos	38
Tabla 8-3:	Ejemplo de modos de fallo.....	38
Tabla 9-3:	Categorías y división de modos de fallo.....	39
Tabla 10-3:	Instructivo para la realización de trabajos de mantenimiento	47
Tabla 1-4:	Etapas del proceso ELPO.....	50
Tabla 2-4:	Codificación de activos	51
Tabla 3-4:	Recopilación de información.....	52
Tabla 4-4:	Análisis de modos de fallo	53
Tabla 5-4:	Revisión de modos de fallo	54
Tabla 6-4:	Depuración y codificación de los modos de fallo	55
Tabla 7-4:	Evaluación de consecuencias	56
Tabla 8-4:	Selección de tareas.....	58
Tabla 9-4:	Definición de tareas y frecuencia.....	59
Tabla 10-4:	Agrupación de tareas	61
Tabla 11-4:	Plan de mantenimiento con frecuencias y responsables	61
Tabla 12-4:	Comparación de frecuencias iniciales y actuales con PMO	63
Tabla 13-4:	Análisis porcentual aplicando el PMO.....	64
Tabla 14-4:	Beneficios alcanzados con el PMO	65
Tabla 15-4:	Criticidad	65
Tabla 16-4:	Contexto operacional.....	66
Tabla 17-4:	Hoja de información	68

Tabla 18-4:	Consecuencia de fallo.....	71
Tabla 19-4:	Hoja de decisión del RCM.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Expectativas crecientes en el mantenimiento.....	5
Figura 2-2:	Tipos mantenimiento	6
Figura 3-2:	Círculo reactivo del mantenimiento	10
Figura 4-2:	Relación costo-tiempo beneficio del RCM y PMO.....	11
Figura 5-2:	Relación costo-tiempo beneficio del RCM y PMO.....	12
Figura 6-2:	Pasos para el desarrollo del PMO	13
Figura 7-2:	Fuentes de información del PMO	13
Figura 8-2:	Consecuencias de los fallos	22
Figura 1-3:	Nivel uno.....	26
Figura 2-3:	Nivel dos	27
Figura 3-3:	Nivel tres	27
Figura 4-3:	Nivel cuatro	27
Figura 5-3:	Nivel cinco	28
Figura 6-3:	Codificación completa.....	28
Figura 7-3:	Matriz de criticidad por el método de criticidad de riesgo	33
Figura 8-3:	Matriz de criticidad por el método de criticidad de riesgo	34
Figura 9-3:	Flujograma para el análisis de criticidad	37
Figura 10-3:	Hoja de información.....	42
Figura 11-3:	Hoja de decisión	42
Figura 12-3:	Como se registran las consecuencias de fallo en la hoja de decisión.....	43
Figura 13-3:	Consecuencias de fallo	44
Figura 14-3:	Criterio de factibilidad técnica	45
Figura 15-3:	Las preguntas “a falta de”.....	46
Figura 1-4:	Comparación y evolución del plan de mantenimiento.....	64

ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1-4: Consecuencias de los fallos	57
Gráfico 2-4: Evaluación de tareas	59

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A:** Modos de falla típicos de equipos industriales
- Anexo B:** Criticidad elpo
- Anexo C:** Formato hoja de vida de maquinaria.
- Anexo D:** Programación de mantenimiento
- Anexo E:** Plan de mantenimiento año 2018.
- Anexo F:** Modelo de ficha técnica y hoja check list.
- Anexo G:** Diagrama de proceso
- Anexo H:** Esquema de distribución de planta pintura.
- Anexo I:** Inventario proceso elpo
- Anexo J:** Instructivo para actividades de mantenimiento
- Anexo K:** Formato historial de fallo

RESUMEN

El presente trabajo de integración curricular denominado optimización del plan de mantenimiento en el proceso Elpo del área de pintura en la empresa Ciauto empleando el mantenimiento centrado en la confiabilidad inició con el análisis del plan de mantenimiento del año 2018, con el propósito de evitar paros de línea de pintura, y asegurar el cumplimiento en la producción. Se tomaron en cuenta criterios estandarizados, documentos técnicos de referencia y manuales de fabricantes, normativas y estándares internacionales utilizadas en el sector automotriz, para conceptualizaciones y fundamentos en las cubas del área de Pintura por Electrodeposición (ELPO) de la empresa, utilizando dos metodologías, las cuales son Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) y Optimización del Plan de Mantenimiento (PMO), determinando la función y características del proceso, delimitando los activos a intervenir, que fueron 11 cubas. Se realizó la codificación de los equipos a través de la norma ISO 14224, para la primera metodología, se determinaron las funciones y estándares de funcionamiento de la cuba E-COAT, estos datos fueron plasmados en formatos destinados para este tipo de información, también se determinaron las consecuencias de fallo mediante el diagrama de decisión del RCM definiendo tareas de mantenimiento, junto a su frecuencia y personal a cargo de su ejecución., la segunda metodología fue aplicada a las cubas restantes, obteniendo la optimización del plan de mantenimiento mediante las dos metodologías utilizadas, recolectando información sobre las tareas, análisis de los modos de falla, revisión de los modos de falla, depuración y codificación de los modos de falla, evaluación de las consecuencias, determinación de las tareas de mantenimiento, agrupación y revisión, para poder llegar a la aprobación e implementación si el departamento de mantenimiento lo amerita, dando el seguimiento necesario para que las tareas y el plan de mantenimiento sea eficiente y de calidad

Palabras clave: <TECNOLOGÍAS Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA> <PLAN DE MANTENIMIENTO> <MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM)> <OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO (PMO)> <PRODUCCIÓN>.



 Firmado electrónicamente por:
HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA
0618-DBRA-UPT-2022

2022-04-06

SUMMARY

This curricular integration work called optimization of the maintenance plan in the Elpo process of the painting area in CIAUTO Company using maintenance focused on reliability began with the analysis of the maintenance plan of the year 2018, with the purpose of avoiding work stoppages. painting line and ensure compliance in production. Standardized criteria, reference technical documents and manufacturer's manuals, regulations and international standards used in the automotive sector were taken into account, for conceptualizations and foundations in the tanks of the Electrodeposition Painting area (ELPO) of the company, using two methodologies, which are Reliability Centered Maintenance (RCM) and Maintenance Plan Optimization (PMO), determining the function and characteristics of the process, defining the assets to be intervened, which were 11 tanks. The coding of the equipment was carried out through the ISO 14224 Standard, for the first methodology, the functions and operating standards of the E-COAT tank were determined. These data were captured in formats intended for this type of information, also The consequences of failure were determined through the RCM decision diagram defining maintenance tasks, together with their frequency and personnel in charge of their execution. The second methodology was applied to the remaining tanks, obtaining the optimization of the maintenance plan through the two methodologies used, collecting information on tasks, analysis of failure modes, review of failure modes, debugging and coding of failure modes, evaluation of consequences, determination of maintenance tasks, grouping and review. It is recommended the approval and implementation if the maintenance department warrants it, giving the necessary follow-up so that the maintenance tasks and plan are efficient and high - quality.

Keywords: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCE> <MAINTENANCE PLAN> <RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM)> <MAINTENANCE PLAN OPTIMIZATION (PMO)> <PRODUCTION>.

SANDRA
PAULINA
PORRAS
PUMALEMA

Firmado
digitalmente por
SANDRA PAULINA
PORRAS PUMALEMA
Fecha: 2022.04.18
10:36:21 -05'00'

INTRODUCCIÓN

La Ciudad del Auto (CIAUTO CIA. LTDA.), se encuentra ensamblando vehículos de la marca China Great Wall Motors y Shineray produciendo vehículos desde el año 2014, participando en el ensamblaje pequeñas empresas nacionales de autopartes del vehículo.

El departamento de mantenimiento busca la necesidad de crear nuevas estrategias de mantenimiento que brinden las herramientas necesarias para mitigar los modos de fallo, mediante el uso de normativa s de mantenimiento como la UNE EN 13306, 2018 el cual define los conceptos relacionados al mantenimiento y su clasificación.

La planta de pintura es la que más monitoreo necesita siendo el caso del proceso ELPO (electrodeposición catódica) contando con once cubas, siendo la cuba Ecoat que cuenta con el mayor número de equipos y maquinas criticas dispone en la cual se genera la electrodeposición de la carrocería por ser la primera capa de pintura para lo cual se utiliza la metodología RCM (Mantenimiento Centrado En Confiabilidad), las cubas restantes se utilizó la metodología PMO (Optimización del Plan de Mantenimiento) tomando referencia del libro de John Moubray, la norma SAE JA 1011 y SAE JA 1012.

CAPÍTULO 1

1. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

En el Ecuador se han situado diferentes empresas dedicadas a ensamblar, distribuir y comercializar vehículos y componentes relacionados con la Industria Automotriz que cumplen la demanda interna. En la actualidad la empresa Ciudad del Auto (CIAUTO CIA. LTDA.), se encuentra ensamblando vehículos de la marca China Great Wall Motors y Shineray, la cual brinda un producto de calidad y ayuda al fortalecimiento económico del centro del país.

CIAUTO CIA. LTDA. produce vehículos desde el año 2014, ensamblando en sus instalaciones los modelos: camioneta Wingle, compacto M4, y Van X30, con la iniciativa de empresarios Ambateños que alcanzan las expectativas de sus clientes. La empresa comprometida con la calidad lleva un proceso certificado bajo los estándares ISO 9001.

En la actualidad CIAUTO dispone de tres plantas de producción para el ensamblaje en su totalidad de los vehículos como son: soldadura, pintura y ensamble. Las tres plantas y la participación de pequeñas empresas nacionales de autopartes cumplen parte del proceso de ensamblaje en los vehículos, siendo la planta de pintura la que cuenta con más equipos importantes para la producción.

La empresa dispone de un estudio previo en la planta de pintura sobre la optimización de la gestión de mantenimiento basado en la disponibilidad operacional, el cual sirve como punto de partida para mejorar la programación de actividades de mantenimiento. Los planes de mantenimiento existentes en la empresa buscan la optimización, lo cual es el caso del proceso de Pintura por Electrodeposición Catódica (ELPO). El departamento de mantenimiento determinó que la cuba de Pintura Electroforética (E-coat) es la más crítica mediante Análisis de Criticidad con el estudio de aspectos productivos, operacionales, seguridad y medio ambiente.

Actualmente el departamento de mantenimiento de CIAUTO busca alternativas encaminadas al uso de nuevas metodologías de mantenimiento, que ayuden a proponer tareas y/o estrategias óptimas de mantenimiento, y puedan responder eficazmente a los modos y efectos de fallo. Una correcta aplicación de metodologías actuales de mantenimiento apunta al mejoramiento de

indicadores como disponibilidad para garantizar el buen estado técnico las máquinas, la mayoría de los casos experimentados en la empresa se espera hasta que el fallo ocurra.

1.2 Justificación

La preocupación del departamento de mantenimiento en la planta de pintura de Ciauto, ante el incremento de fallos, la empresa pretende aplicar nuevas estrategias e innovar criterios, basado en acciones humanas, técnicas y tecnológicas que contribuyan a mejorar y garantizar la operación de los equipos. La línea de pintura cuyos equipos se han configurado en un sistema en serie se han visto involucrados en casos frecuentes de paros imprevistos, paralelo a esto, se ha estancado la producción con acumulación de trabajos e incumplimiento.

En los últimos años muchas empresas del sector automotriz han venido empleando metodologías que aportan a la disminución de los paros imprevistos, tales como la Planificación del Mantenimiento Optimizado (PMO), y el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM o MCC). Las metodologías mencionadas permitirán tener una visión ampliada de las consecuencias y efectos de los modos de falla, así como el monitoreo para una mejora continua, dentro de los historiales de fallas; para poder llevar un control ordenado de las actividades que se van a realizar. Por tal motivo, el análisis del RCM se lo realiza en los equipos críticos de los procesos importantes, así como el PMO, los cuales permitirán programar un plan de mantenimiento con actividades y estrategias necesarias y suficientes desde el punto de vista de optimización, de acuerdo con el estudio del estado actual de los equipos en su contexto operacional.

Con el propósito de evitar el paro de la línea de pintura, y asegurar el cumplimiento en la producción, se pretende implementar el presente trabajo titulado “OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO EN EL PROCESO ELPO DEL ÁREA DE PINTURA EN LA EMPRESA CIAUTO EMPLEANDO EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD”, el cual permitirá aumentar la capacidad de detección y mitigación de los modos de fallo y con esto prevenir cualquier posibilidad de fallo funcional

1.3 Alcance

El trabajo de integración curricular se realizará en la empresa Ciudad del Auto CIAUTO CIA. LTDA., dentro del proceso de pintura ELPO con la participación del personal del departamento de mantenimiento. Para el trabajo se tomarán en cuenta criterios estandarizados, documentos técnicos de referencia y manuales de fabricantes. Las normativas internacionales utilizadas en el sector automotriz, estándares internacionales para conceptualizaciones y fundamentos, y los

resultados de trabajos de integración curricular que han sido oficializados en la empresa de estudio, son las principales referencias.

1.4 Delimitación

La empresa CIAUTO Cía. Ltda. se encuentra localizada en la ciudad de Ambato, parroquia Unamuncho, sector el Conde, Camino Real S/N, cuenta con tres plantas de producción las cuales son planta de soldadura, planta de pintura y planta ensamble, dentro de la cual nos enfocaremos en la planta de pintura; en el proceso ELPO objetivo del trabajo de integración curricular.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Optimizar el plan de mantenimiento en el proceso ELPO del área de pintura en la empresa CIAUTO empleando el mantenimiento centrado en la confiabilidad.

1.5.2 Objetivos específico

Describir el proceso ELPO dentro de la empresa CIAUTO.

Optimizar el plan de mantenimiento del proceso ELPO.

Desarrollar la metodología RCM aplicada a una Cuba E-coat dentro del proceso ELPO.

Elaborar plan y programa de mantenimiento bajo las directrices obtenidas de la metodología RCM.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

Este capítulo da a conocer los fundamentos teóricos de mantenimiento, su clasificación de acuerdo con la normativa UNE EN 13306, 2018, describe el proceso de pintura por electrodeposición catódica ELPO y cada una de las etapas que lo conforman, para poder determinar los pasos necesarios en la optimización del plan de mantenimiento PMO y tener la información adecuada para el desarrollo del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM, tomando referencia del libro de John Moubray, la norma SAE JA 1011 y SAE JA 1012.

2.1 Mantenimiento

En la actualidad, el mantenimiento es conceptualizado según la normativa (UNE EN 13306, 2018 pág. 6) como “la combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión realizadas durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o devolverlo a un estado en el que pueda desempeñar la función requerida”.

Con el avance y la evolución de la industria, se va ajustando la necesidad del campo industrial surgiendo distintos tipos de mantenimiento, los cuales ayudan al desarrollo, sus inicios se dan el año 1930, hasta la actualidad, se han identificado tres generaciones que destacan por sus diferentes maneras de administrar el mantenimiento. (Moubray, 2004 pág. 3)

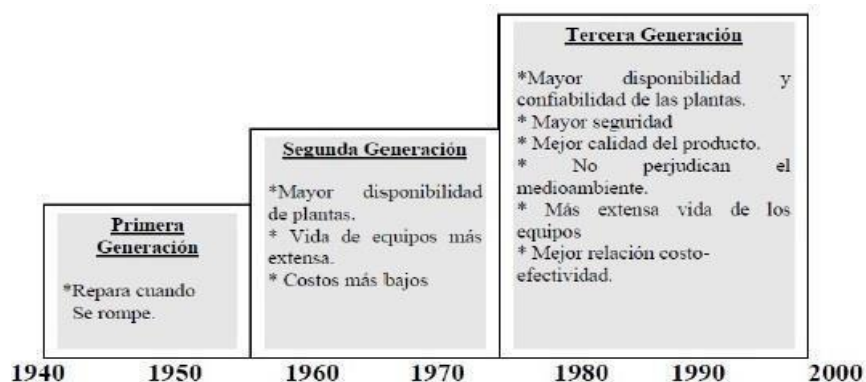


Figura 1-2: Expectativas crecientes en el mantenimiento

Fuente (Moubray, 2004 pág. 3)

La evolución del mantenimiento comienza desde los años 30 extendiéndose hasta la segunda guerra mundial conociéndose a esta etapa como primera generación, en la cual básicamente se realizaban tareas de lubricación y limpieza, para lo cual no se necesitaba personal altamente calificado. Hay que mencionar que, los equipos eran de alta confiabilidad por su diseño robusto y simple, no se daba la atención necesaria en la prevención de las fallas. (Moubray, 2004)

La segunda generación comienza desde la segunda guerra mundial, al surgir la necesidad en el desarrollo de más equipamiento, el mantenimiento preventivo empieza aplicarse desde 1960 consistiendo en el reacondicionamiento de los equipos en intervalos fijos de tiempo, resultando en un aumento de los costos de mantenimiento.

La tercera generación inicia a partir de 1970, esta etapa es caracterizada por los cambios en el área de mantenimiento, las cuales se denominaron “nuevas expectativas, nuevas investigaciones y técnicas.

La norma (UNE EN 13306, 2018 pág. 25) en su anexo A, clasifica al mantenimiento en mantenimiento preventivo, correctivo y mejorativo como se ilustra en la figura 2-1, los cuales son aplicables a los activos físicos.

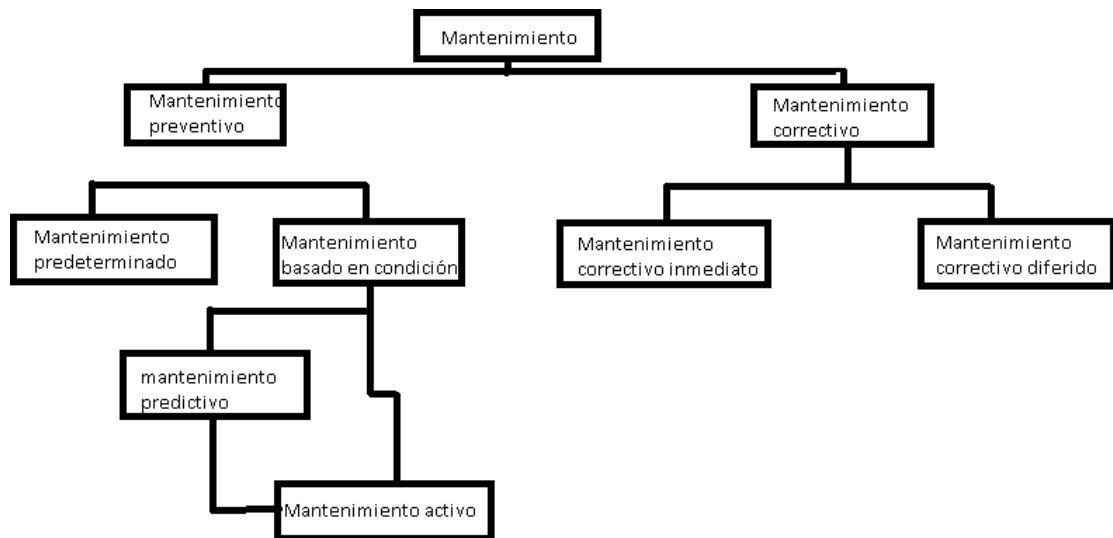


Figura 2-2: Tipos mantenimiento

Fuente (UNE EN 13306, 2018 pág. 25)

2.1.1 *Mantenimiento correctivo*

Se divide en dos tipos: el mantenimiento que se realiza inmediatamente después de la verificación de un fallo funcional (correctivo inmediato) y el mantenimiento correctivo diferido el cual se puede programar que a diferencia del correctivo inmediato que se impone como la necesidad de intervención no prevista para contrarrestar las consecuencias del fallo, se ejecutan después del fallo. (Sexto, 2017)

La norma (UNE EN 13306, 2018 pág. 17) conceptualiza al mantenimiento correctivo como “la acción que se realiza después del reconocimiento de una avería y que está destinado a poner a un elemento en un estado que pueda realizar una función requerida”.

El mantenimiento correctivo es el menos deseado que ocurra en la empresa, debido a que sus consecuencias impactan de manera negativa en la producción de la empresa, acarreando costos por reparaciones no planificadas y ocasiona pérdidas económicas.

2.1.2 *Mantenimiento preventivo*

“Es el mantenimiento que se lleva a cabo para evaluar y/o mitigar la degradación y reducir la probabilidad de fallo de un elemento”. (UNE EN 13306, 2018 pág. 16).

Este tipo de mantenimiento busca mantener las funciones del activo físico dentro de su contexto operacional, evitando el cambio de las características de diseño.

2.1.3 *Mantenimiento predeterminado*

El mantenimiento es cíclico independiente de la condición, llamado de otra forma como mantenimiento preventivo planificado, de acuerdo con la norma. (UNE EN 13306, 2018 pág. 16). “Este es realizado a intervalos establecidos o con un número definido de unidades de funcionamiento, pero sin análisis previo de la condición del elemento”.

2.1.4 *Mantenimiento basado en la condición*

Es el mantenimiento que permite monitorear y diagnosticar la condición de un activo físico mediante observaciones del operador, inspecciones, toma de parámetros de funcionamiento, mediante un cronograma establecido por la empresa. La norma (UNE EN 13306, 2018 pág. 16) lo

conceptualiza como, “el mantenimiento preventivo que incluye una combinación de la evaluación de las condiciones físicas, el análisis y las posibles acciones de mantenimiento posteriores”.

2.1.5 *Mantenimiento predictivo*

La norma (UNE EN 13306, 2018 pág. 16) lo conceptualiza como, el que se realiza siguiendo una predicción obtenida del análisis repetido o de características conocidas y de la evaluación de los parámetros significativos de las degradaciones del elemento.

2.1.6 *Mantenimiento mejorativo*

Considera cambios en las características intrínsecas del diseño, pero no cambian las funciones del activo. La norma (UNE EN 13306, 2018 pág. 16) lo conceptualiza como, “el conjunto de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión, destinadas a mejorar la fiabilidad intrínseca y/o la mantenibilidad y/o la seguridad de un elemento, sin cambiar la función original, cabe mencionar que mejora y modificación son términos de diferente sentido”.

2.2 *Proceso de pintura por electrodeposición catódica ELPO*

La cataforesis o electrodeposición catódica (ELPO) es un método de pintado por inmersión, cuyo principio de funcionamiento se basa en el desplazamiento de partículas cargadas dentro de un campo eléctrico denominado cuba de pintura, hacia el polo de signo opuesto conocido como la pieza metálica a pintar. (Marsan, 2019)

Aplicando un diferencial de potencial eléctrico a las moléculas de pintura, estas se rompen depositándose sobre la pieza (cátodo) de forma uniforme atraídas por su carga eléctrica, previo al proceso de electrodeposición, la carrocería debe someterse a un tratamiento de desengrase, activado y fosfatado, lo que garantiza que se adhiera de forma óptima la pintura a la cabina del vehículo. El principal objetivo de este tratamiento es la protección de las superficies metálicas contra la corrosión aumentando la duración de la pintura de los vehículos.

La cataforesis facilita el pintado de la carrocería, ya que al ser un proceso por inmersión se tiene uniformidad, este proceso es la base para la película de pintura en la carrocería del vehículo. (Marsan, 2019)

El proceso de pintura por electrodeposición catódica consta de múltiples etapas las cuales se detalla a continuación.

Tabla 1-2: Etapas del ELPO

No. Etapa	Descripción de la etapa
1	Desengrase por aspersión
2	Desengrase por inmersión
3	Enjuague de desengrase por inmersión agua blanda
4	Activación del sustrato por inmersión
5	Pasivado de fosfato
6	Enjuague de fosfato agua blanda
7	Agua de inmersión recirculada
8	Electrodeposición de la unidad
9	Enjuague permeato UF#1 por inmersión
10	Enjuague permeato UF#2 por inmersión
11	Agua DI recirculada

Fuente: (CIAUTO, 2021)

Realizado por: Freire Cazco, Darwin. 2021

2.3 Metodología optimización del plan de mantenimiento

De acuerdo con la Real Academia Española (2018), define la palabra optimizar como buscar la mejor manera de realizar una actividad.

Cuando se habla de optimizar se está realizando una valoración entre mejorar las condiciones en las que se encuentre la planta asumiendo costos, riesgos y los resultados que se alcanzaran.

Es preciso disponer de un procedimiento de análisis factible, de fácil entendimiento por el personal para optimizar cualquier proceso de mantenimiento, comenzando con el plan de mantenimiento que existe en la empresa y conociendo sus debilidades, que alcanzara una mejora mediante la optimización.

2.3.1 Plan de mantenimiento

El plan de mantenimiento es conceptualizado según la norma (UNE EN 13306, 2018 pág. 7) como “el conjunto estructurado y documentado de tareas que incluyen las actividades, los procedimientos, los recursos y la duración necesaria para realizar el mantenimiento”.

El plan de mantenimiento es la base fundamental en la gestión de activos, donde se detallan las actividades necesarias junto a sus respectivas frecuencias y recursos a utilizarse, las cuales se van a desarrollar en el activo durante su vida útil.

Para realizar el plan de mantenimiento se utiliza tres métodos como son

- Catálogos
- Protocolos genéricos
- Mantenimiento Centrado en la confiabilidad RCM

2.3.2 Optimización del plan de mantenimiento

El PMO es una metodología de mantenimiento que posee una serie de pasos que están adecuadamente fundamentados, la cual es vista según las organizaciones como una alternativa de la implementación del RCM debido a su complejidad durante su ejecución; que trabajara en conjunto con la confiabilidad, la cual es una función impulsora de los negocios en el mejoramiento de las industrias, siendo un aporte valioso asociado al negocio, que contribuye a la productividad y desempeño de los activos. (OMCS Latín América, 2010)

El dilema del personal de mantenimiento que se enfrenta cada día consiste en que son gestores, que aisladamente deben mejorar la confiabilidad dentro de las organizaciones, disponiendo de recursos insuficientes para mantener las plantas en funcionamiento. El mantenimiento preventivo se lesiona, resultando inevitablemente una mayor frecuencia de fallas, generando un círculo reactivo de mantenimiento el cual se detalla en la figura 3-2. (OMCS Latín América, 2010).



Figura 3-2: Círculo reactivo del mantenimiento

Fuente: (García, 2011)

La optimización del mantenimiento permite diseñar un marco de trabajo racional y rentable, cuando el mantenimiento preventivo se ha consolidado y se mantiene bajo control la planta. esto implica tener la suficiente experiencia en realizar manteniendo planificado. (García, 2011)

La mejora en la optimización del plan de mantenimiento se alcanza con la asignación adecuada de recursos, con el personal técnico idóneo para los trabajos.

2.3.3 Características de la metodología PMO

Dentro de las características principales que dispone la metodología PMO tiene como su punto de partida el plan de mantenimiento actual que utilizan las empresas obteniendo múltiples características las cuales se detallan a continuación. (García, 2011)

- Analiza el programa de mantenimiento actual o anterior.
- Realiza los Análisis de Funcionalidad.
- Genera una base de datos de los modos de falla.
- Escoge el método más eficaz de mantenimiento.
- Se basa en la experiencia del personal de planta.
- Usa el diagrama de decisiones del RCM.
- Reconoce la importancia de las funciones del activo.
- Diseña de un marco de trabajo racional y rentable.
- Establece la adecuada asignación de recursos.
- Se reconocen y resuelven los problemas con la información exacta.
- Se logra un efectivo uso de los recursos.
- Se mejora la productividad de los operarios y del personal de mantenimiento.
- Se adapta a las situaciones y a los objetivos específicos de cada cliente.
- La optimización del PM motiva al personal

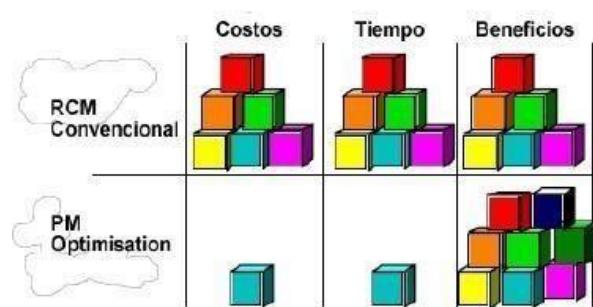


Figura 4-2: Relación costo-tiempo beneficio del RCM y PMO

Fuente: (US Nuclear Power Industry, 2009)

2.3.4 Beneficios del PMO

Se determina el comportamiento de fallas en los equipos mediante la utilización adecuada de los recursos disponibles de la empresa, eliminando modos de fallo y paradas imprevistas los cuales incrementarían la disponibilidad de los equipos, ocasionando la reducción de las horas hombre de trabajo. (García, 2011 pág. 18)

Resultados entre RCM y PMO

El RCM y PMO son dos metodologías de mantenimiento completamente diferentes pero que tiene como finalidad el cumplimiento de un mismo objetivo; el cual es definir los requerimientos del departamento de mantenimiento.

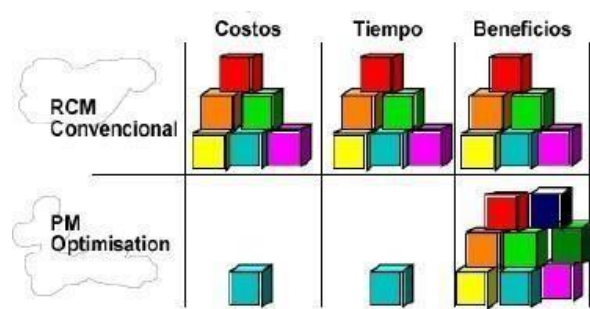


Figura 5-2: Relación costo-tiempo beneficio del RCM y PMO

Fuente: (US Nuclear Power Industry, 2009)

Como resultado, el PMO es una estrategia de revisión del plan de mantenimiento existente mientras que el RCM es una metodología que se utiliza al momento de la implantación o se la realiza a los equipos críticos. Hay que mencionar que, el PMO es más efectivo porque racionaliza el mantenimiento preventivo (PM) y así asegura la generación de valor agregado y optimiza los tiempos frecuencias y tareas presentes en el plan existente. (OMCS Latín América, 2010)

La diferencia principal de estas dos estrategias radica en su forma en que se generan los modos de fallo. (ver figura 5-2). El RCM genera una lista de todos los modos de fallo que son determinados después de realizar un análisis de todas las funciones, sin dejar de tomar en cuenta aquellos que tengan una probabilidad remota de ocurrencia, mientras que, el PMO genera una lista de los modos de fallo que se encuentran en el plan de mantenimiento existente, obteniendo una evaluación de los históricos de fallos si existiere en la empresa, y de la revisión de la documentación técnica que posee el departamento de mantenimiento. (OMCS Latín América, 2010)

La metodología tradicional de los departamentos de mantenimiento en muchas plantas, parte de la creación de tareas de mantenimiento, aumento injustificado de áreas innecesarias; los requerimientos de mantenimiento y órdenes de trabajo exceden los recursos disponibles, el mantenimiento correctivo consume más horas hombre de las que son necesarias, desperdiciando recursos y tiempos que se pueden utilizar en otras tareas de gran importancia.

2.3.5 Pasos para el desarrollo del PMO

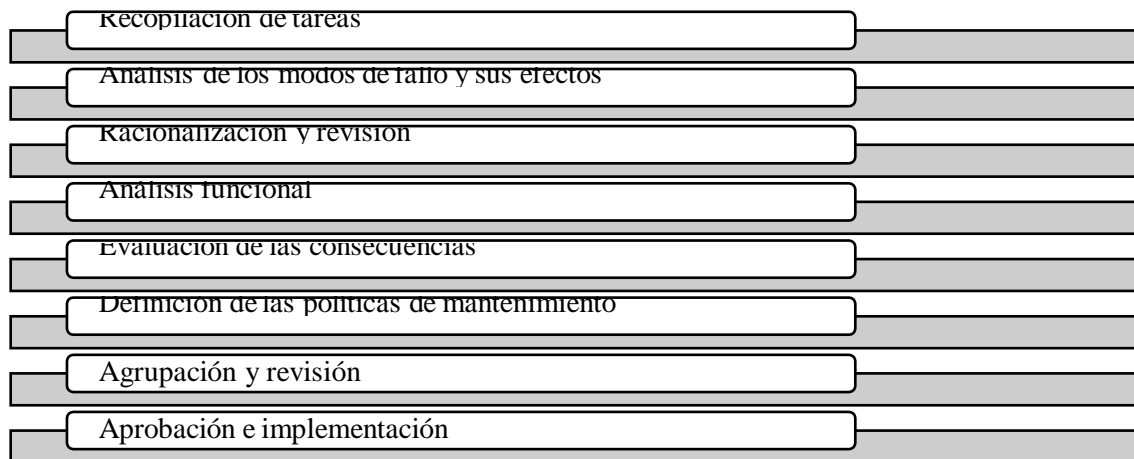


Figura 6-2: Pasos para el desarrollo del PMO

Fuente: (OMCS Latín América, 2010)

2.3.5.1 Recopilación de tareas

El primer paso contempla la recopilación o documentación de los planes de mantenimiento existentes en la empresa u organización referentes a los equipos a analizar. Hay que tomar en cuenta que, el personal de mantenimiento y operadores forman parte de esta etapa. (OMCS Latín América, 2010)



Figura 7-2: Fuentes de información del PMO

Fuente: (OMCS Latín América, 2010)

2.3.5.2 Análisis de los modos de fallo y sus efectos AMEF

Para la realización del RCM como para el PMO, es necesario realizar el análisis de los modos y efectos de fallo, los cuales están siendo atacadas con las tareas del plan de mantenimiento, después de analizar las funciones dentro del contexto operacional.

Se debe involucrar al personal de la planta creando equipos multidisciplinarios quienes se encargarán de identificar qué modos de fallo están enfocadas en las tareas de mantenimiento. (OMCS Latín América, 2010)

El análisis de los modos y efectos de fallo (AMEF) se aplicará a cada uno de los sistemas y subsistemas que se esté analizando, sin importar que su función sea idéntica o similar, debido a que existe la probabilidad de múltiples modos de fallo.

2.3.5.3 Racionalización y revisión

Ordenando la información obtenida de los modos de fallo se vuelve más fácil la identificación de tareas innecesarias y determinación de fallos ocultos o evidentes. La duplicidad de tareas se presenta cuando al mismo modo de fallo se aplica tareas de mantenimiento similares, por parte de operadores, técnicos y especialistas de monitoreo. (OMCS Latín América, 2010)

En este paso el equipo de trabajo revisa los modos de fallo que resultan del FMA y se agregan otros que no se hayan tomado en cuenta. Se elabora con base en el historial de fallos, documentación técnica o con la experiencia del equipo de trabajo.

2.3.5.4 Análisis funcional

La función que se pierde con cada fallo se determina en este paso, que es opcional y se justifica en caso de que se deban realizar análisis a equipos bastante críticos o muy complejos, en donde es esencial el entendimiento detallado de todas las funciones del equipo para el aseguramiento de un programa de mantenimiento sólido. Para aquellos equipos poco críticos o sistemas simples, la identificación de las funciones agrega tiempo y costo, más no beneficios tangibles. (García, 2011)

2.3.5.5 Evaluación de las consecuencias

En este paso, cada modo de fallo es analizado para determinar si los fallos son ocultos o evidentes. Para aquellos fallos evidentes se realiza un análisis de riesgos y consecuencias operacionales.

Las consecuencias que provocan un fallo múltiple (fallo evidente, oculto, impacto en la seguridad, en el ambiente, en la capacidad operacional, en los costos de reparación) (SAE-JA-1012, 2002 pág. 23)

2.3.5.6 Definición de las políticas de mantenimiento

La filosofía moderna de mantenimiento se basa en la premisa que los planes de mantenimiento exitosos se enfocan más en las consecuencias de los fallos que en los activos en sí. (OMCS Latín América, 2010)

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

- Que tareas serían más efectivas y menos costosas si fueran basadas en condición, en lugar de llevarlas a fallo.
- Que tareas no aportan beneficios y deben ser eliminadas del plan
- Que tareas serían más efectivas si se realizaran bajo diferentes rutinas
- Que fallos se manejarían mejor por medio del uso de tecnología avanzada o simple
- Qué tipo de información se debe recolectar para predecir mejor el comportamiento del equipo durante su ciclo de vida.
- Que fallos se deben eliminar con la ayuda de un Análisis de Causa Raíz (ACR)
- Los elementos del plan actual de mantenimiento que presentan costos efectivos y los que no deben eliminarse

2.3.5.7 Agrupación y revisión

Una vez finalizado el análisis de las tareas, el equipo de trabajo establece el método adecuado para administrar el mantenimiento de los activos teniendo en cuenta limitantes de producción. En este paso es posible que haya transferencia de responsabilidades en la ejecución de tareas de mantenimiento entre los técnicos, especialistas y operadores para lograr eficiencia y ganancias en producción. (OMCS Latín América, 2010)

2.3.5.8 *Aprobación e implementación*

En este paso el resultado del análisis del PMO se presenta al encargado del departamento de mantenimiento y a los coordinadores a cargo de la planta para su Revisión y aprobación con las observaciones pertinentes.

Una vez aprobado el plan inicial la etapa más importante es la implementación actividad que mayor tiempo consume. (OMCS Latín América, 2010)

2.4 Metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad

De acuerdo con Moubray (2004). define el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (Reliability Centred Maintenance RCM como un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual. (Moubray, 2004 pág. 7)

El RCM es una metodología de análisis sistemático, objetivo y documentado, aplicable a cualquier tipo de instalación industrial, muy útil para el desarrollo u optimización de un plan eficiente de mantenimiento.

El desarrollo y la aplicación del RCM se derivan de los estudios de Stanley Nowlan y Howard Heap en la aeronáutica comercial publicados en 1978. Los resultados de sus trabajos permitieron aumentar la confiabilidad en las aeronaves debido a que presentaban un número de fallos que la industria aeronáutica juzgo elevada. Actualmente, esta metodología se ha extendido a varios campos industriales como: militar, nuclear, automotriz, eléctrica y petrolera, entre otras. (Moubray, 2004)

Durante el transcurso del tiempo han existido propuestas sobre la etapa de análisis de la metodología de aplicación del RCM, tratando de disminuir los esfuerzos necesarios para su implementación y puesta en marcha. Cabe mencionar, que la aplicación parcial del método da resultados incompletos. para asegurar que esta metodología se utilice de manera adecuada dentro de la industria automotriz se desarrolló los estándares SAE-JA1011:1991 y SAE-JA 1012 2002. (Rea, y otros, 2012)

La industria que necesite desarrollar la metodología RCM II de John Moubray debe responder siete preguntas, que deben ser resueltas en el orden que plantea la norma. (SAE-JA-1011, 1999 pág. 6)

Dentro de las que se encuentran las primeras cinco preguntas y en la norma (SAE-JA-1012, 2002 pág. 48) las dos preguntas restantes, las cuales hacen referencia a la implantación de las medidas a ejecutar, las preguntas mencionadas se detallan en la tabla 2-2 de forma ordenada.

Tabla 2-2: Las siete preguntas del RCM

No.	Descripción de la pregunta	Requisito
1	¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?	Funciones
2	¿De qué manera falla en satisfacer cumplir dichas funciones?	Fallos funcionales
3	¿Cuál es la causa de cada fallo funcional?	Modos de fallo
4	¿Qué sucede cuando ocurre cada fallo?	Efectos de fallo
5	¿En qué sentido es importante cada fallo?	Consecuencias de fallo
6	¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada fallo?	Tareas proactivas y frecuencias de ejecución
7	¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?	Acciones predeterminadas

Fuente: (Moubray, 2004)

Realizado por: Freire Cazco, Darwin. 2021

El RCM comienza definiendo las funciones del activo en su contexto operacional, este paso ayudara a determinar cuándo se ha producido un fallo.

2.4.1 Criticidad

La criticidad es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos con el fin de facilitar la toma de decisiones el objetivo de este análisis es determinar el sistema más crítico dentro de la empresa. (Bucay Valdiviezo, y otros, 2018)

El estudio está basado en el análisis de modos y efectos de fallo, que permite establecer las consecuencias que afecta el impacto operacional, flexibilidad operacional, costo de mantenimiento, impacto en seguridad, medio ambiente e higiene; consiguiendo niveles de criticidad de forma cuantitativa, con resultados críticos, semicríticos y no críticos evaluando los activos de forma íntegra. (Bucay Valdiviezo, y otros, 2018)

La cuba E-COAT resulto ser critica basándonos en un estudio previo de un trabajo de tesis siendo esta una de las condiciones para aplicar la metodología del RCM es que, los activos analizados deban ser críticos.

2.4.2 Funciones y parámetros de funcionamiento

Para dar respuesta a la primera pregunta que plantea el RCM; se debe definir claramente la función de cada activo en su contexto operacional, junto con los parámetros de funcionamiento deseado.

Entonces, la norma (SAE-JA-1011, 1999) determina que se debe responder la pregunta ¿cuál es la función que los usuarios quieren que cumpla? Se debe enunciar la función con un verbo y definir los límites de evaluación de cada sistema a analizar.

2.4.3 Aspectos por considerar para definir la función de un activo

La norma (SAE-JA-1011, 1999 pág. 6) indica como determinar las funciones de un activo, lo cual se detalla continuación:

- Definir el contexto operacional del activo.
- Identificar todas las funciones del activo / sistema (todas las funciones primarias y secundarias incluyendo las funciones de todos los dispositivos de protección).
- Todos los enunciados de una función deben contener un verbo, un objeto, y un estándar de desempeño (cuantificado en cada caso que se pueda realizar).
- Los estándares de desempeño incorporados en los enunciados de una función deben tener el nivel de desempeño deseado por el dueño o usuario del activo /sistema en su contexto operacional.

2.4.4 Fallos funcionales

El fallo funcional se define como “un estado en el que el activo físico o sistema no se encuentra disponible para ejercer una función específica a un nivel de desempeño deseado”; esta definición abarca fallos parciales, en que el activo aún funciona, pero en un nivel inaceptable de desempeño. (incluyendo también los casos donde no se alcanza el nivel de precisión o calidad)”. (SAE-JA-1011, 1999 pág. 6).

Por lo tanto, el mantenimiento busca reducir o atenuar la ocurrencia de los fallos; los resultados de las consecuencias de estos se observan en tiempos perdidos y costos de reparación. Los fallos funcionales son identificables, una vez que las funciones y desempeño estándares hayan sido definidas con claridad.

La metodología del RCM explica que para realizar el listado de fallos funcionales se debe conformar un equipo de trabajo donde tengan participación, el personal de mantenimiento y de operación.

2.4.5 *Modos de fallo (causas del fallo)*

Este paso trata identificar todas las posibles causas del fallo funcional, conocido también como modo fallo que es definido “como cualquier suceso que cause un fallo funcional”. (Moubray, 2004)

Los modos de fallo incluyen fallos que ocurrieron en el mismo equipo o en similares que se encuentren operando con el mismo contexto, fallos que están siendo prevenidos por regímenes de mantenimiento existentes y aquellos fallos que aún no ocurren, pero se considera como posibilidades muy reales de fallo. (Moubray, 2004 pág. 87)

Las listas de modos de fallos incorporan las causas del deterioro, uso y desgaste normal, por errores humanos (en parte por personal de operación y personal de mantenimiento) o por desperfectos de diseño de modo que los posibles causantes de los fallos en equipos sean identificados y manejados de forma adecuada.

Tabla 3-2: Aspectos a considerar para definir los modos de fallo

Modos de fallo
Se deben identificar los modos de fallo “probables” que pueden causar cada fallo funcional.
El método utilizado para decidir que constituye un modo de fallo “probable” debe ser aceptado por el dueño o usuario del activo
Se deben identificar los modos de fallo en un nivel de causalidad que haga posible identificar una política de manejo de fallos apropiada.
Las listas de modos de fallo deben incluir los modos de fallo que han ocurrido antes, los modos de fallo que están siendo prevenidos actualmente por la existencia de programas de mantenimiento y los modos de fallo que han ocurrido aún pero que se piensan probables en el contexto operacional.
Las listas de los modos de fallo deben incluir cualquier evento o proceso que probablemente pueda causar un fallo funcional, incluyendo deterioro, defectos de diseño y errores humanos que pueden ser causado por operadores y mantenedores 8ª menos que el error humano este siendo activamente dirigido por un proceso analítico del RCM)

Fuente: (SAE-JA-1011, 1999 pág. 7)

Elaborado por: Freire Cazco Darwin.2021

2.4.6 *Efectos del fallo*

Describe que ocurre cuando los modos de fallo se presentan, deben direccionarse a todas las áreas, buscar las evidencias de anteriores acontecimientos, cómo afecta al proceso cuando sucede, los

daños físicos que afecta al personal, medio ambiente y las consecuencias que pueden suscitarse; este análisis determina el nivel de mantenimiento en el cual estaría el activo para tenerlo en condiciones óptimas de servicio. (Moubray, 2004 pág. 77)

El efecto del fallo responde a la pregunta ¿Qué sucede cuando se presenta el modo de fallo? Mientras que las consecuencias se refieren a los efectos que tiene en áreas como: operativa, económica, seguridad y medio ambiente (Moubray, 2004 pág. 77)

Tabla 4-2: Descripción de los efectos de fallo

Los efectos de fallo deben describir lo que puede pasar si no se realiza ninguna tarea específica para anticipar, prevenir o detectar la fallo
Los efectos de fallo deben incluir toda la información necesaria para soportar la evaluación de las consecuencias del fallo, tales como <ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué evidencia existe (si hay) de que la fallo a ocurrido? • ¿De qué modo representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente (¿si la representa? • ¿De qué, manera afecta a la producción o a las operaciones (si las afecta) hace (si hace algo)? • ¿Qué daños físicos (si los hay) han sido causados por el fallo? • ¿Qué debe hacerse para repararla?

Fuente: (Moubray, 2004 pág. 7)

Elaborado por: Freire Cazco Darwin. 2021

Para la recolección de datos, el RCM ha desarrollado una hoja de información en la cual se plasma un resumen de las funciones, fallos funcionales, modos de fallo, los efectos y las consecuencias. (ver tabla 4-2)

Las funciones se enlistan en la columna de la izquierda de la hoja de información del RCM. Se debe enlistar todas las funciones que cumple el equipo, las fallas funcionales, los modos de falla que tienen relación con las fallas funcionales.

Los efectos de fallo describen que sucede cuando ocurre un modo de fallo, tratando de analizar las formas y características cuando suceda el fallo

Tabla 5-2: Hoja de información del RCM

Hoja de Información RCM	Área		Sistema n°	Facilitador:	Fecha:	Hoja N°
	Sistema		Subsistema n°	Auditor:	Fecha:	de
Función	Falla funcional	Modo de falla		Efecto de falla		
1	A	1				
		2				
		:				
		n				
	B	1				
		2				
	C	1				
		:				
		n				
	D	1				
		2				
		:				
		n				

Fuente: (Moubray, 1997)

Realizado por: Freire Cazco, Darwin. 2021

2.4.7 Consecuencias del fallo

Hacen referencia de qué manera afecta. Una vez que se determine las funciones, los fallos funcionales, los modos de fallo y los efectos del fallo en cada elemento significativo, el próximo paso del proceso del RCM es preguntar cómo y cuándo importa cada fallo. (Moubray, 2004)

Las consecuencias son categorizadas de acuerdo con la norma (SAE-JA-1011, 1999 pág. 7), como se detalla en la tabla 5-2.

Tabla 6-2: Categorías de las consecuencias

Categorías de consecuencias de fallo
El proceso de categorización de consecuencias debe separar los modos de fallo ocultos de los modos de fallo evidentes
El proceso de categorización de consecuencias debe distinguir claramente los eventos (modos de fallo y fallos múltiples) que tengan consecuencias en la seguridad y/o medioambiente de los que solo tengan consecuencias económicas (consecuencias operacionales y no operacionales)
La valoración de las consecuencias de los fallos se debe llevar a cabo como si ninguna tarea específica se esté llevando a cabo actualmente para anticipar, prevenir o detectar el fallo.

Fuente: (SAE-JA-1011, 1999 pág. 7)

Realizado por: Freire Cazco, Darwin. 2021

2.4.8 Funciones evidentes y consecuencias del fallo

De acuerdo con (Moubray, 1997 pág. 96) una función evidente “es aquella cuyo fallo es inevitablemente por sí misma para los operadores bajo circunstancias normales de trabajo”.

Función no evidente o una función oculta: de acuerdo con (Moubray, 1997 pág. 96) es aquella cuyo fallo no será evidente a los operarios bajo circunstancias normales de trabajo si esta se presenta por sí misma, generalmente esta se manifiesta al ocurrir otro fallo. esta función está ligado principalmente a equipos de protección.

Una vez que se haya determinado las funciones, los fallos funcionales, los modos de fallo y los efectos del fallo, el siguiente paso es preguntarse cómo y cuánto importa cada fallo. (Moubray, 2004).



Figura 8-2: Consecuencias de los fallos

Fuente: (Moubray, 2004 pág. 97)

Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente: el fallo ocasiona lesiones o la muerte, colocando como eje primordial los recursos humanos sobre cualquier problemática de la organización, tomando en cuenta las afectaciones al medio ambiente, si esta infringe normas gubernamentales de cada país. (Moubray, 2004 pág. 97)

Consecuencias operacionales: tienen el segundo lugar de importancia dentro del RCM, la cual afecta a producción o las operaciones (capacidad productiva, calidad del producto, servicio al cliente, costos operativos, además del costo directo de reparación. (Moubray, 2004 pág. 97)

Consecuencias no operacionales: los fallos son evidentes, los cuales no afectan ni a la seguridad y al medio ambiente, ni en la producción, únicamente implica costos directos de reparación.

Si un fallo tiene consecuencias significativas en cualquiera de la clasificación de estas tres categorías, es importante tratar de prevenirlas, si las consecuencias no son significativas, entonces no se necesitará realizar cualquier tipo de mantenimiento sistemático que no sea el de mantenimiento rutinario como lubricación y servicio. (Moubray, 2004 pág. 97)

2.4.9 Tareas de mantenimiento

El RCM maneja tareas de mantenimiento proactivas, es decir actividades que se realicen antes de que ocurra el fallo. Para lo cual, es necesario determinar políticas de manejo de fallo como se indica en la tabla.

Tabla 7-2: Selección de las políticas de manejo de fallos

Selección de las políticas de manejo de fallos
El proceso de selección de manejo de fallos debe tomar en cuenta el hecho de que la probabilidad condicional de algunos modos de fallo se incrementará con el tiempo (o con la exposición al esfuerzo), que la probabilidad condicional de otros no cambiará con el tiempo y que la probabilidad condicional de otros tampoco decrecerá con el tiempo.
Todas las tareas programadas deben ser técnicamente factibles y que valgan la pena hacerlas, es decir que sean efectivas en tratar la causa del fallo
Si dos o más políticas de manejo de fallos propuestas son técnicamente factibles y valen la pena hacerlas (aplicables y efectivas), se debe seleccionar la política que sea mejor costo-efectiva.
La selección de las políticas de manejo de fallos debe ser llevada a cabo como si ninguna tarea específica estuviese siendo realizada actualmente para anticipar, prevenir o detectar el fallo.

Fuente: (SAE-JA-1011, 1999 pág. 8)

Realizado por: Freire Cazco, Darwin. 2021

2.4.10 Técnicas de manejo de fallos

El RCM utiliza los términos: reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica y mantenimiento a condición y tareas proactivas. (Pinzón, 2011)

- Las tareas proactivas, se realizan antes de la ocurrencia del fallo (mantenimiento preventivo y predictivo).
- La restauración cíclica es reparar un componente o un conjunto de componentes sin importar la condición de ese momento. (Pinzón, 2011)
- La sustitución cíclica se lo realiza al componente o un conjunto de componentes sin importar la condición en que se encuentre en ese momento. (Moubray, 2004 pág. 138)

- Las tareas a condición: son nuevas técnicas que se basan en el hecho que la mayoría de los fallos dan algún tipo de advertencia antes de ocurrir, estos avisos se denominan fallos potenciales (el cual consiste en condiciones físicas identificables que indican que un fallo funcional está en proceso). (Moubray, 2004 pág. 153).

2.4.11 Acciones a falta de

Cuando no se ha encontrado ninguna tarea proactiva que reduzca el riesgo de fallo a un nivel bajo se emplean acciones “a falta de”, dentro de las que se encuentran. búsqueda de fallos, rediseño y mantenimiento a rotura.

Búsqueda de fallo: para los fallos ocultos que originan fallos múltiples y no se han encontrado una tarea proactiva que reduzca el riesgo de fallar, se debe realizar periódicamente una tarea en búsqueda del fallo, en caso de no encontrar una tarea apropiada, se debe rediseñar. (Moubray, 2004 pág. 190)

Rediseño: Se presenta cuando hay algún cambio en las especificaciones o cualquier componente de un equipo, incluye además modificaciones cuando se agrega un elemento nuevo, se sustituye la máquina entera o se cambia de ubicación. (Moubray, 2004 pág. 192).

Mantenimiento no programado: el mantenimiento no programado es válido solo si el fallo múltiple asociada no trae consecuencias a la seguridad ni al medio ambiente, y si no se puede encontrar una tarea proactiva o basada en condición que no sea costo eficaz. (Sexto, 2017)

2.4.12 Modelo de gestión de mantenimiento

Realizado un análisis del modelo de gestión de mantenimiento, se tiene un punto de partida para conceptualizar el RCM y PMO (Optimización del Plan de Mantenimiento), tomando en cuenta el plan existente en la planta donde se aplique estas metodologías.

El cual se basa en registros semanalmente de actividades de toda la planta y toma de parámetros de funcionamiento para poder determinar el comportamiento de los equipos y mantener o cambiar frecuencias y actividades de ser necesarias para poseer un plan de mantenimiento eficiente.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

El presente capítulo describe la metodología para la ejecución de la optimización del plan de mantenimiento PMO y el desarrollo de la metodología RCM, para la cuba E-coat las cuales son aplicables a los activos del proceso ELPO de la empresa CIAUTO de la ciudad de Ambato tomando como referencia la norma ISO 14424 :2016, y los criterios técnicos del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM2 de John Moubray.

3.1 Adquisición de la información

La adquisición de información de las actividades de mantenimiento en la empresa CIAUTO, ayuda a tener un punto de partida, para el desarrollo de las metodologías de mantenimiento expuesto en el capítulo III.

Obteniendo la documentación que reposa en el departamento de mantenimiento como el plan de mantenimiento, se utiliza para las actividades el cual consta las actividades que se van a realizar en la semana, las fichas técnicas de cada uno de los equipos del proceso ELPO mediante el cual se tiene información técnica del fabricante, los check list de cada uno de los equipos 1 cual contempla un listado de revisiones diarias que debe realizar el operario, los diagramas de procesos ayudan a ubicar de mejor manera los activos a ser estudiados.

3.2 Identificación del área de trabajo

El desarrollo del trabajo se enfocó en el proceso ELPO del área de pintura, cuyo proceso está dividido en once etapas las cuales están expuestas en la tabla 1-3.

Tabla 1-3: Etapas del proceso ELPO

Número de etapa	Descripción de la
Etapa #1	Desengrase por aspersión
Etapa # 2	Desengrase por inmersión
Etapa #3	Enjuague de desengrase por inmersión (agua blanda)
Etapa #4	Activación de sustrato por inmersión
Etapa #5	Proceso de fosfatizado por inmersión
Etapa #6	Enjuague de fosfato por inmersión (agua blanda)
Etapa # 7	Agua DI recirculada
Etapa #8	Electrodeposición de la unidad (Resina, pasta, aditivo anticrater)

Etapa #9	Enjuague Permeato ultrafiltrado #1 por inmersión
Etapa #10	Enjuague Permeato, ultrafiltrado #2 por inmersión
Etapa #11	Agua DI recirculada

Fuente: CIAUTO 2021

Realizado por: Freire Cazco, Darwin, 2021

3.3 Codificación de los activos

La codificación de los activos facilita la ubicación de estos dentro de la empresa a la que pertenecen. Para el presente trabajo se utilizó la norma (ISO 14224, 2016) encontrando en esta norma la mayor concentración de equipos industriales que son de uso frecuente en los distintos tipos de industria, mencionada norma expone nueve niveles jerárquicos de los cuales se utilizó cinco aplicables.

Esta norma internacional brinda una base para la recolectar datos de confiabilidad y mantenimiento en un formato estándar para las áreas de perforación, producción, refinación transporte de petróleo y gas natural, con criterios que pueden extenderse a otras actividades e industrias, siendo nuestro caso la industria automotriz en el ensamblaje de vehículos, la cual dispone de equipos de iguales o similares características.

Detallando cada uno de los cinco niveles jerárquicos, los dos primeros niveles (localización, áreas), hacen referencia a la ubicación de los activos y los tres niveles restantes (sistema, máquina y equipo). Los cuales nos indican la familia que pertenece cada activo y la descripción década uno de sus componentes. A continuación, se detalla cada nivel jerárquico en forma sistemática.

3.3.1 Ubicación

El nivel uno se refiere a la ubicación, para lo cual se utilizó una codificación de tipo alfabética., el cual consta de dos letras mayúsculas como se presenta la estructura del código en la figura 1-3.

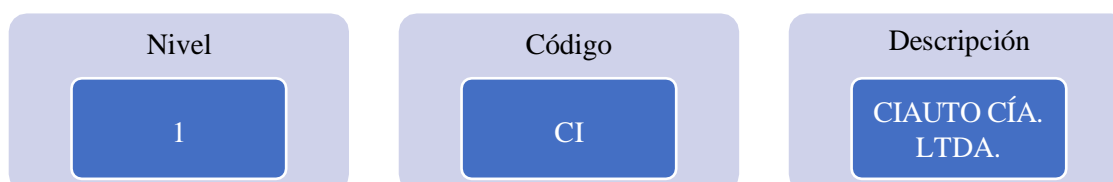


Figura 1-3: Nivel uno

Fuente: (ISO 14224, 2016)

3.3.2 Área

El nivel dos se refiere al área de intervención del trabajo, la cual es la planta de pintura, su respectiva codificación se muestra en la figura 2-3:

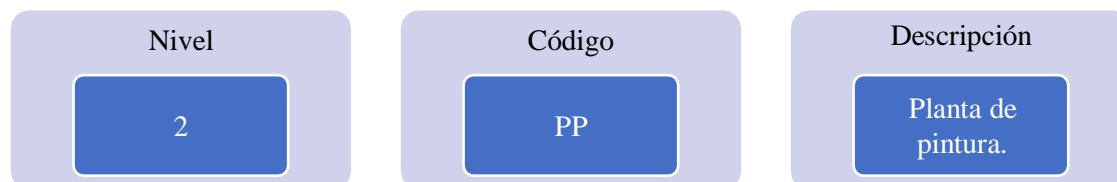


Figura 2-3: Nivel dos

Fuente: (ISO 14224, 2016)

3.3.3 Sistema

En el nivel tres se encuentran los diferentes sistemas del área de pintura, para efecto del trabajo se tomará al sistema de pintura por electrodeposición, cuya codificación se muestra en la figura 3-3.



Figura 3-3: Nivel tres

Fuente: (ISO 14224, 2016)

3.3.4 Máquina

El nivel cuatro contiene a las máquinas del sistema de electrodeposición, las cuales son cubas en gran porcentaje y el sistema eléctrico. Un ejemplo aplicativo de la codificación de este nivel se muestra en la figura 4-3



Figura 4-3: Nivel cuatro

Fuente: (ISO 14224, 2016)

3.3.5 Equipos

El nivel cinco está compuesto por los equipos de las cubas y el sistema eléctrico del nivel posterior. Un ejemplo aplicativo de la codificación se encuentra en la figura 5-3.



Figura 5-3: Nivel cinco

Fuente: (ISO 14224, 2016)

La codificación completa se muestra en la figura 6-3



Figura 6-3: Codificación completa

Fuente: (Moubray, 2004)

3.4 Desarrollo de la metodología PMO

Para el desarrollo del PMO la empresa Ciauto tiene un estudio previo que se desarrolló mediante una tesis en la cual muestra que el proceso ELPO consta de once cubas determinando la cuba E-coat es la más crítica, para la cual se realizara un RCM, las cubas restantes resultaron poseer una categorización semi crítica, por lo cual, la aplicación de la metodología PMO para la obtención de las tareas apropiadas con base al plan de mantenimiento actual, para el desarrollo de la metodología del PMO se realizaron los siguientes pasos:

3.4.1 Recopilación de la información

La recopilación de información es uno de los puntos más importantes debido a que, se obtiene un punto de partida para el adecuado desarrollo de la metodología del PMO. Para obtener la información necesaria, se realizó visitas a la empresa, la cual emitió la siguiente documentación:

- Planes de mantenimiento
- Diagramas de proceso
- Fichas técnicas

- Lista de comprobación (check list)

3.4.2 *Análisis modos de fallo*

En este paso los modos de fallo son mitigados con actividades de mantenimiento recolectadas del plan que dispone la empresa, permitiendo clasificar de manera objetiva sus causas y efectos de forma documentada. Cabe mencionar que la empresa cuenta con personal encargado del análisis de los modos de fallo, que debe llenar la información proporcionada por los técnicos de mantenimiento para colocar en la hoja del historial de modos de fallo detallado en el anexo K.

Los históricos de mantenimiento ayudan a generar actividades que mitiguen el modo de fallo ocurrido, se identifica el código del equipo al que se está interviniendo con la tarea mencionada, en la tabla 2-3 se muestra el ejemplo aplicativo a la cuba 1 de desengrase por aspersión. El análisis de las actividades restantes se encuentra en el anexo A

Tabla 2-3: Análisis de modos de fallo

Actividades	Frec.	Cod. Equipo	Modos de fallo
Revisar corrosión, grietas o fugas en las paredes estructurales de la cuba, en las tuberías de recirculación, en las tuberías de los aspersores y en las tuberías de calentamiento.	2S	CU01	Desgaste del material. Corrosión

Fuente: CIAUTO 2021

Realizado por: Freire Cazco, Darwin. 2021

3.4.3 *Revisión de los modos de fallo*

El objetivo de este paso es realizar una revisión de los modos de fallo presentados del análisis anterior, sin descartar que se añadan nuevas causas de fallo que no hayan sido contempladas durante el desarrollo del plan de mantenimiento inicial, es importante estandarizar para verificar si existen tareas redundantes o repetidas que ataquen al mismo modo de fallo. Para realizar esta acción es necesario tener fuentes como manuales, historiales y la experiencia de los operadores.

3.4.4 *Depuración y codificación de los modos de fallo*

El presente paso permite depurar los modos de fallo mediante una adecuada codificación, ayudando a su rápida identificación y evitar la redundancia o repetición. En ocasiones se presenta una o más tareas que atacan al mismo modo de fallo.

En la tabla 3-3 se presenta la depuración y codificación de los modos de fallo para el ejemplo aplicativo de la cuba 1 de desengrase por aspersión.

Tabla 3-3: Depuración y codificación de los modos de fallo

Cod. Equipo	Modos de fallo	Cod. del modo de fallo
MB01	Falta de lubricación de los rodamientos	A
MB01	Degradación del aceite de la bomba	B
MB01	Sobrecalentamiento del motor	C

Fuente: (CIAUTO,2021)

Elaborado por: Freire Cazco Darwin, 2021

3.4.5 Evaluación de las consecuencias

Para este paso se define las consecuencias de fallos (ocultas o evidentes) de acuerdo con los modos de fallo.

Las consecuencias de fallo que nos muestra (Moubray, 2004 pág. 11) nos indica. Si el fallo afecta al plan de producción la consecuencia es operacional (O).si el fallo tiene incidencia en los costos de reparación y mantenimiento, la consecuencia es no operacional. (NO), si infringe en la salud del trabajador o en alguna ley medio ambiental, la consecuencia es de seguridad (S), si deriva en un fallo múltiple que en la mayoría de los casos es catastrófico, la consecuencia es oculta

3.4.6 Determinación de las tareas de mantenimiento

La determinación de las tareas de mantenimiento está de acuerdo con el diagrama de decisión del RCM, cuyo proceso se da de acuerdo con la previa evaluación de las consecuencias de fallo.

Entonces, si las consecuencias son evidentes u ocultas se deberá escoger una tarea de mantenimiento, evaluando que actividad mitigará el modo de fallo analizado. Por lo tanto, las actividades de mantenimiento son: tarea a condición, reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica y combinación de tareas, si existen afectaciones que incurren en la seguridad humana o ambiental, y ninguna de las tareas mencionadas anteriormente ayudan a reducirlas.

Es necesario realizar un rediseño de manera obligatoria. Si la consecuencia de fallo es oculta y no se definieron ninguna tarea de mantenimiento, entonces se procede a elegir entre las tareas de: rediseño, trabajo al fallo y búsqueda de fallos.

3.4.7 Agrupación y revisión de tareas de mantenimiento

Para este paso se realizó la agrupación de tareas en función de la frecuencia de mantenimiento, que fueron en semanas y horas de funcionamiento, tomando en cuenta al personal técnico de mantenimiento trabaja en turnos rotativos de 8 horas.

Al no contar con históricos de fallo para determinar la frecuencia de las tareas, se puede optar por otras formas para definir las frecuencias como: experiencia del personal, manuales del fabricante, normativas o estándares como la NFPA -70 B práctica recomendada para el mantenimiento de equipos eléctricos, mismos que detallan características similares.

Tabla 4-3: Agrupación de tareas

Cod. Equipo	Tareas de mantenimiento	Frec.
MB01	Lubricación de rodamientos del conjunto motor bomba	8 S
MB01	Cambio de aceite y revisión del estado de los amortiguadores del conjunto motor bomba	16 S

Fuente: (CIAUTO,2021)

Realizado por: Freire Cazco, Darwin. 2021

3.4.8 Aprobación e implementación

Se presenta el plan al departamento de mantenimiento de CIAUTO, el personal técnico de la planta de pintura tiene conocimiento de optimización del plan, mediante el PMO se configuro nuevas frecuencias y nuevos modos de fallo para su verificación o posterior ejecución, cuando el coordinador de mantenimiento decide.

3.5 Desarrollo del plan de mantenimiento basado en el RCM

La cuba E-COAT resulto ser critica basándonos en un estudio previo de un trabajo de tesis, cumpliendo las condiciones para aplicar la metodología RCM al ser la que mayor equipo crítico dispone y tiene un tiempo limitado para realizar actividades de mantenimiento.

Esta cuba trabaja los 365 días del año recirculando pintura para que pueda desarrollar la cataforesis por inmersión de la carrocería del vehículo, si se presentan daños en la cuba repercutirá en la calidad del producto, de este pintado dependerá la vida útil y la conservación de las características de brillo y grosor de la misma.

3.5.1 Criticidad

La criticidad de los equipos permite determinar qué equipo o máquina requiere destinar una mayor parte de los recursos de mantenimiento, con el fin de poder tomar decisiones acertadas en beneficio de la empresa.

3.5.1.1 Modelo semi cuantitativo para la evaluación de criticidad

Es un proceso que resulta como el producto de la multiplicación de la frecuencia del fallo por la consecuencia de fallo, el cual consta de las siguientes expresiones. (Parra Márquez, y otros, 2012)

Donde:

$$CTR = FF * C$$

CTR= Criticidad total por riesgo

FF= frecuencia de fallos (año)

C= Consecuencia de fallos.

Tabla 5-3: Criterios para determinar criticidad

Criterios para determinar la criticidad	Cuantificación
Frecuencia de fallos (FF):	
Mayor de 3 fallos/mes	4
3 fallos/ mes	3
2 fallos / mes	2
Mínimo 1 fallo /mes	1
Impacto operacional (IO):	
Pérdidas de producción superior al 75%	5
Pérdidas de producción entre el 51% y 75%	4
Pérdidas de producción entre el 26% y 50%	3
Pérdidas de producción entre el 11% y 25%	2
Pérdidas de producción menor al 10%	1
Flexibilidad operacional (FO):	
No se tiene unidades en reserva para cubrir la producción, tiempos de reparación y logística muy grandes	4
Se tiene unidades de reserva para cubrir de forma parcial el impacto de producción, tiempos de reparación y logística	2
Se tiene unidades de reserva en línea.	1

Costos de mantenimiento (CM):	
Mayor o igual a 5000 \$	2
Menor a 5000\$	1
Impacto en la seguridad, higiene y medio ambiente (SHA):	
Riesgo alto de pérdida de vida o daños graves a la salud o medio ambiente que exceden el límite permitido	8
Riesgo medio de pérdida de vida, daños importantes a la salud, y/o incidentes ambientales.	6
Daños menores, lesiones, riesgo mínimo de pérdida de vida, incidentes ambientales recuperables y controlables	3
No existe ningún riesgo ni personal ni ambiental	1

Fuente: (Bucay Valdiviezo, y otros, 2018)

Realizado por: Freire Cazco, Darwin. 2021

Para obtener el valor de las consecuencias de los fallos se obtiene de la siguiente expresión.

$$C = (IO * FO) + CM + SHA$$

IO = Factor de impacto en la producción

FO = Factor de flexibilidad operacional

CM = Factor de costes de mantenimiento

SHA = Factor de impacto en la seguridad, higiene y ambiente

Para obtener el resultado final en este análisis se colocan los valores de la consecuencia en el eje horizontal y los valores de la frecuencia en el eje vertical, como se observa en la figura 7-3.

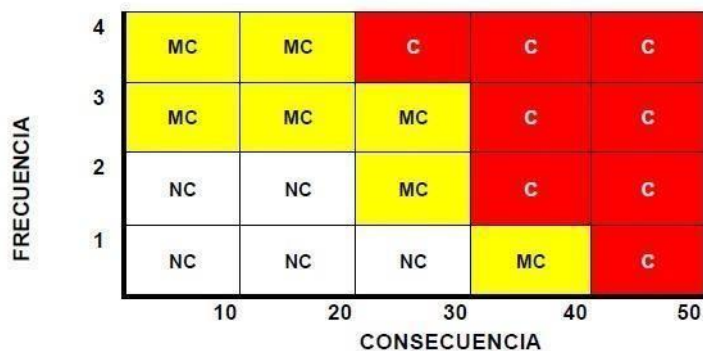


Figura 7-3: Matriz de criticidad por el método de criticidad de riesgo

Fuente: (Parra Márquez, y otros, 2012)

FF = 3, la cuba Ecoat falla un promedio de 2 veces al mes.

IO = 7, se tiene una estimación de pérdida de producción equivalente al 60% ya que la carrocería quedaría prácticamente dañada al no adherirse la pintura.

FO = 4, no se cuenta con unidades de reserva.

CM = 2, su reparación demanda tanto mano de obra como químicos que son muy costosos.

SHA = 8, al trabajar la cuba con químicos fuertes dentro de la piscina, el fallo produciría daños graves en la salud del personal, así como un impacto ambiental que sobrepasa el límite permitido.

Aplicando la fórmula para el cálculo de la consecuencia del fallo.

$$C = (IO * FO) + CM + SHA$$

$$C = (7 * 4) + 2 + 8$$

$$C = 38$$

$$CTR = FF * C$$

$$CTR = 3 * 38$$

$$CTR = 114$$

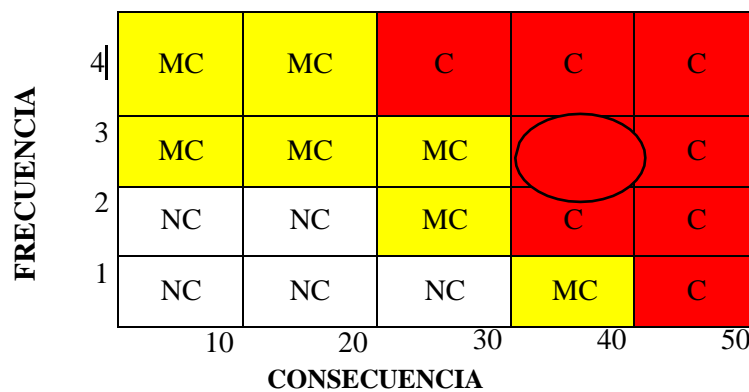


Figura 8-3: Matriz de criticidad por el método de criticidad de riesgo

Realizado por: Freire Cazco, Darwin. 2021

3.5.1.2 Método del flujograma

El cuadro de criterios para el diagrama de flujo contempla áreas de impacto como: Seguridad y Salud, medio ambiente, calidad y productividad, producción, tiempos de operación, intervalos entre actividades y tiempos y costos de mantenimiento, como se muestra en la tabla 5-3, donde en cada área de impacto se explica cuando el impacto tiene un riesgo alto, un riesgo medio o un riesgo bajo.

Para llegar al resultado final, se analiza las áreas de impacto y se sigue el esquema del diagrama de flujo que se muestra en la figura 9-3, donde cada uno de los ítems del flujograma tiene una de las tres posibles respuestas A, B, C. Direccionándoles a la siguiente área de impacto para de la

misma forma analizarla dándole uno de los tres criterios y así sucesivamente hasta llegar al resultado de criticidad.

Tabla 6-3: Secuencia de ítems del diagrama de flujo

Causas de paradas no planeadas			
Área de impacto	A	B	C
	Riesgo alto	Riesgo medio	Riesgo bajo
Seguridad & Salud (S&S)	Alto riesgo de vida del personal	Riesgo de vida significativa de personal	No existe riesgo ni de salud ni de daños al personal
	Daños graves en la salud del personal	Daños menores en la salud del personal	Sin efectos
Medio Ambiente (MA)	Alto excedente de los límites permitidos de derrames y fugas	Excedente de los límites permitidos y repetitivos de derrames y fugas	Emisiones normales de la planta dentro de los límites permitidos
Calidad y Productividad C&P)	Defectos de producción	Variaciones en las especificaciones de calidad y producción	Sin efectos
	Reducción de Capacidad		
	Reducción de producción		
Producción (P)	Parada de todo el proceso	Parada de una parte del proceso	Sin efectos
Operación de equipos			
Área de impacto	A	B	C
	Riesgo alto	Riesgo medio	Riesgo bajo
Tiempos de Operación (TO)	24 horas al día	2 turnos 8 horas normales de trabajo	Ocasionalmente o no es un equipo de producción
Intervalos entre actividades (TBF)	Menos de 6 meses	En promedio una vez al año	Raramente
Tiempos y costos de mantenimiento (MT)	Tiempo y/o costos de reparación altos	Tiempo y/o costos de reparación razonables	Tiempo y/o costos de reparación irrelevantes

Fuente: (Bucay Valdiviezo, y otros, 2018)

Realizado por: Freire Cazco, Darwin. 2021

En el anexo B se identifica el análisis de las cubas estudiadas a continuación tenemos un ejemplo para la cuba E-coat de análisis de criticidad mediante el método del flujograma. El primer criterio

que se debe tomar en cuenta para este análisis es que, si Seguridad y Salud, Medio Ambiente o Calidad y productividad poseen un riesgo alto, es decir, tienen un gran impacto, directamente el equipo es crítico sin importar los criterios en las demás áreas de impacto.

Para el factor de seguridad (S&S) se determinó para la cuba E-COAT una condición tipo A porque al producirse un desperfecto causaría la ausencia laboral temporal o total en el lugar de trabajo.

Para el factor de medio ambiente (MA) se definió para la cuba E-COAT la condición tipo A porque un desperfecto afecta de manera grave a la salud de las personas y al medio ambiente.

En el factor de calidad y productividad (Q&P) se definió para la cuba E-COAT una condición tipo A porque un desperfecto produciría una consecuencia negativa que afecta a la calidad del producto.

En el factor producción (P) se determinó para la cuba E-COAT una condición tipo A porque, un desperfecto produciría un paro importante

En el factor de tiempo de Operación (MT) se determinó que la cuba E-COAT alcanza una condición tipo A debido a que esta trabaja 3 turnos diarios.

Intervalo entre actividades (TBF) se determinó para la cuba E-COAT una condición tipo A debido a que, la probabilidad de fallo es muy alta.

En el factor Tiempo y costos de mantenimiento (M) se determinó para la cuba E-COAT, se obtuvo una condición tipo A porque el tiempo de reparación requerido es alto

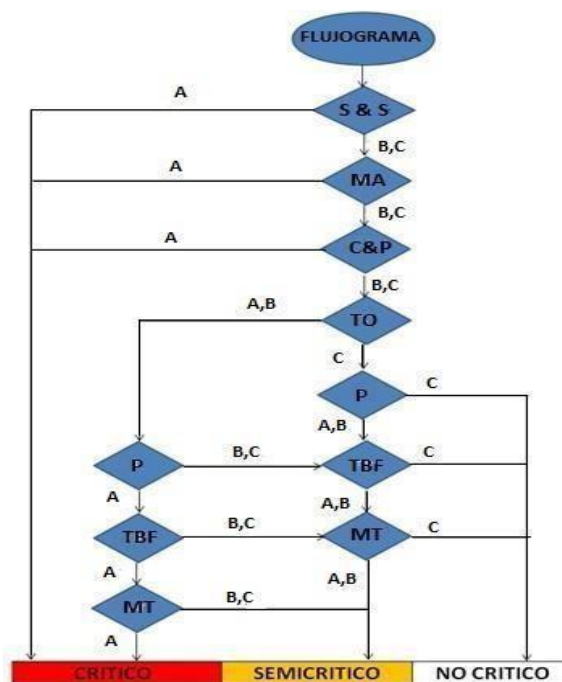


Figura 9-3: Flujograma para el análisis de criticidad

Realizado por: Freire Cazco, Darwin. 2021

3.5.2 Funciones y estándares de funcionamiento

Las funciones son la razón principal para la adquisición de un activo, mientras que, los estándares de funcionamiento son los parámetros que van a ser definidos por el usuario para que el equipo funcione. El contexto operacional recoge toda esta información. La definición adecuada del contexto operacional ayudará al análisis de fallo que se realizará posteriormente. Por ejemplo, la cuba E-COAT se encarga de realizar la cataforesis o electrodeposición catódica es un método de pintado por inmersión basado en el desplazamiento de partículas cargadas dentro de un campo eléctrico hacia el polo de signo opuesto.

3.5.3 Fallos

Los fallos pueden ser de dos tipos: fallos funcionales y fallos parciales, las cuales pueden presentarse de diversas formas en los equipos tomando como ejemplo en la tabla 5-3 en el cual se describe el caso del motor eléctrico del conjunto motor bomba de la cuba 1 de desengrase.

En el fallo funcional el equipo no realiza la función para la cual fue diseñada en nuestro caso no genera movimiento al acople motor bomba, y el fallo parcial está realizando la función, pero no cumple con los estándares para lo cual fue diseñado.

Tabla 7-3: Fallos

Motor eléctrico	
Fallo funcional	No genera movimiento al acople motor bomba
Fallo parcial	No genera las 2900 RPM

Fuente:(CIAUTO,2020)

Realizado por: Freire Cazco, Darwin. 2021

3.5.4 Modos de fallo

Para los modos de fallos que presenten los equipos la empresa CIAUTO dispone de un formato el cual debe ser llenado por el encargado de la disponibilidad de la planta de pintura el cual se utiliza para llevar un registro de históricos de mantenimiento, el cual registra los reportes de tiempos de parada, los trabajos de mantenimiento que se realizó, para lo cual se procede a realizar el llenado de la hoja de vida de la máquina cuyo formato se indica en el anexo C.

Para poder categorizar los modos de fallo partimos de una recopilación de datos que van a servir de ejemplo para determinar los posibles nuevos modos de fallo en las cubas, partimos de la norma ISO 14224:2016 tomando como ejemplo los siguientes modos de fallo.

La tabla7-3. Detalla ejemplos de modos de fallo que se presentan en los equipos del proceso de pintura. Detallando de manera más ordenada en el anexo A.

Tabla 8-3: Ejemplo de modos de fallo

Tuberías accesorios y estructura de la cuba	motor eléctrico	Bomba	válvulas
Fuga externa. Obturación, estrangulación Vibración Sobrecalentamiento	No arranca en funcionamiento Desalineación de poleas Vibración Sobrecalentamiento Corto circuito en bobinas	Bomba desarrolla menos caudal del esperado Vibración Sobrecalentamiento desalineación conjunto motor bomba Liqueo de fluidos	No se abre en el funcionamiento Operación retrasada Fugas internas y externas

Fuente: (ISO 14224, 2016)

Realizado por: Freire Cazco, Darwin. 2021

Hay que mencionar que, para llegar a la raíz del fallo se debe realizarse la pregunta por qué se produjo el modo de fallo analizado, por ejemplo: ¿por qué se produjo una sobrecarga eléctrica? Porque hay un deterioro en la capacidad de los cables, y así sucesivamente se va realizando la siguiente pregunta hasta determinar la raíz del problema.

3.5.5 Efectos de fallo

Una vez identificado los modos de fallo el siguiente paso es identificar y listar los efectos del fallo y las posibles causas que origino este modo de fallo. De acuerdo con (ISO 14224, 2016) las causas de fallo se clasifican en categorías:

- a) Fallos mecánicos
- b) Fallos de materiales
- c) Fallos de instrumentación
- d) Fallos eléctricos
- e) Influencia externa
- f) Varios

Tabla 9-3: Categorías y división de modos de fallo

Mecanismo de fallo		Subdivisión de los mecanismos de fallo		Descripción del mecanismo de fallo
Número de código	Notación	Número de código	Notación	
1	Fallo mecánico	1.0	General	Fallo relacionado a algún defecto mecánico, pero donde no se conocen detalles mayores.
		1.1	Fuga	Fugas externas e internas, ya sean de líquidos o gases: si el modo de fallo al nivel del equipo se codifica como “fuga”, se debe utilizar un mecanismo de fallo orientado a la causa siempre que sea posible.
		1.2	vibración	Vibración anormal: Si el modo de fallo al nivel del equipo es “vibración”, un mecanismo de fallo orientado a la causa, la causa del fallo (causa raíz) debe ser registrado siempre que sea posible.
		1.3	Alineamiento/espacio	Fallo provocado por un espacio o alineamiento inadecuado.
		1.4	Deformación	Distorsión, flexión, abolladura, mellas, exceso de tensión, contracción, formación de ampollas, reptación, etc.
		1.5	Soltura	Desconexión, ítems sueltos.

		1.6	Atascamiento	Atascamiento, agarrotamiento, bloqueo por razones aparte de la deformación o problemas de alineamiento/espacio.
2	Fallo de material	2.0	General	Fallo relacionado a un defecto del material, pero donde no se conocen detalles mayores.
		2.1	Cavitación	Relevante para los equipos tales como las bombas y válvulas
		2.2	Corrosión	Todo tipo de corrosión, tanto húmeda (electroquímica) como seca (química)
		2.3	Erosión	Desgaste por erosión
		2.4	Desgaste	Desgaste abrasivo y adhesivo, p.ej. ralladuras, engrane, raspado, frotamiento
		2.5	Rotura	Fracturas, quebrantamientos, grietas
		2.6	Fatiga	Si la causa del fallo puede ser trazado a la fatiga, se debe utilizar este código.
		2.7	Sobrecalentamiento	Daños al material debido al sobrecalentamiento/ quemado
		2.8	Estallido	Ítem estallido, reventado, explosión, implosión, etc.
3	Fallo de instrumento	3.0	General	Fallo relacionado al instrumento, pero donde no se conocen detalles mayores.
		3.1	Fallo de control	Falta de regulación o regulación inapropiada
		3.2	Sin señal / indicación/ alarma	Falta de señal/indicación/alarma esperada
		3.3	Señal / indicación/ alarma defectuosa	Señal/indicación/alarma inapropiada con relación al proceso real. Puede ser falsa, intermitente, oscilante, arbitraria
		3.4	Desajuste	Error de calibración, cambio de parámetros
		3.5	Error de software	Falta de control/monitoreo/operación, control/monitoreo/operación inapropiada debido a error de software
		3.6	Fallo de causa común /modo común	Varios instrumentos fallaron simultáneamente, p.ej. detectores de incendio y gas redundantes; también fallos

				relacionados a una causa común.
<p>a La persona responsable de adquirir los datos debe juzgar cuál de los descriptores de mecanismo de fallo es más importante si existe más de uno, intentando evitar los códigos 6.3 y 6.4.</p> <p>b Los errores humanos no están considerados bajo los mecanismos de fallo, sino que se consideran como parte de las causas de fallo.</p>				
4	Fallo eléctrico	4.0	General	Fallos relacionados al suministro y transmisión de energía eléctrica, pero donde no se conocen detalles mayores.
		4.1	Cortocircuito	Cortocircuito
		4.2	Circuito abierto	Desconexión, interrupción, cable roto
		4.3	Sin energía / voltaje	Suministro de energía eléctrica faltante o insuficiente
		4.4	Energía / voltaje inapropiado	Suministro de energía eléctrica inapropiado, p.ej. exceso de voltaje
		4.5	Fallo de puesta a tierra / aislamiento	Fallo de puesta a tierra, baja resistencia eléctrica
5	Influencia externa	5.0	General	Fallo debido a algún evento externo o sustancia fuera del límite, pero donde no se conocen detalles mayores.
		5.1	Bloqueo / taponamiento	Restricción/taponamiento de flujo debido a incrustaciones, congelamiento, aseguramiento de flujo (hidratos) etc.
		5.2	Contaminación	Fluido/gas/superficie contaminada, p.ej. contaminación de aceite de lubricación, contaminación del cabezal del detector de gas
		5.3	Otra influencia externa	Objetos externos, impactos, influencia ambiental desde sistemas cercanos
6	Varios	6.0	General	Mecanismo de fallo que no entre en las categorías anteriores
		6.1	Ninguna causa encontrada	Fallo investigado, pero no se reveló la causa o existe demasiada incerteza
		6.2	Causas combinadas	Varias causas: Si existe una causa predominante, esta debe ser codificada.
		6.3	Otros	Sin código aplicable: Utilizar texto libre.

		6.4	Desconocido	No existe información disponible
<p>a La persona responsable de adquirir los datos debe juzgar cuál de los descriptores de mecanismo de fallo es más importante si existe más de uno, intentando evitar los códigos 6.3 y 6.4.</p> <p>b Los errores humanos no están considerados bajo los mecanismos de fallo, sino que se consideran como parte de las causas de fallo.</p>				

Fuente: (ISO 14224, 2016)

Realizado por: Freire Cazco, Darwin. 2021

Los efectos de fallo tienen dentro de su descripción datos como sucesos que se producen cuando se suscita la fallo, por ejemplo, para un modo de fallo de sobrecarga eléctrica, el efecto de fallo sería, que las temperaturas sobrepasan los estándares de funcionamiento.

3.5.6 Hoja de información y de decisión

La hoja de información recolecta los datos desde la definición de las funciones, fallos funcionales parciales, modos de fallo con sus respectivos niveles y efectos de fallo. La cual se detalla en la figura 7-3.

	Sistema:	Sistema: N° 001	Facilitador:	Fecha:	Hoja N°
	Subsistema:	Subsist. N°:	Auditor:	Fecha:	de
Función	Falla funcional	Modo de falla			Efecto de falla
		Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	

Figura 10-3: Hoja de información

Fuente: (Moubray, 2004 pág. 206)

La hoja de decisión permite registrar las respuestas formuladas en el diagrama de decisión como se detalla en la figura 8-3.

HOJA DE DECISION RCM II		ELEMENTO						Nº	Realizado por:	Fecha:	Hoja:
		COMPONENTE						Ref.	Revisado por:	Fecha:	de:
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				Tareas "a falta de"			Frecuencia Inicial	A realizar por
F	FF	FM	H	S	E	O	H1 S1	H2 S2	H3 S3		
							O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4 H5 S4	

Figura 11-3: Hoja de decisión

Fuente: (Moubray, 2004 pág. 206)

La hoja de decisión está dividida en dieciséis columnas. Las columnas tituladas F, FF y MF identifican el modo de fallo que se analiza en esa línea. se utilizan referencias entre las hojas de información y las hojas de decisión. (Moubray, 2004 pág. 206).

Los encabezamientos de las próximas diez columnas se refieren a las preguntas del diagrama de decisión del RCM de acuerdo con (Moubray, 2004 pág. 206) las cuales se detallan a continuación:

Las columnas tituladas H, S, E, O, son utilizadas para registrar las respuestas a preguntas concernientes a las consecuencias de cada modo de fallo.

Las tres columnas siguientes (tituladas H1, H2, H3, etc.) registran si ha sido seleccionada una tarea proactiva, y si es así, que tipo de tarea.

Si se hace necesario responder cualquiera de las preguntas “a falta de” las columnas encabezadas con H4 Y H5, o S4, permiten registrar esas respuestas.

Las últimas tres columnas registran la tarea que ha sido seleccionada (si la hubiera), la frecuencia con que se realiza esto y quien ha sido seleccionado para hacerlo. La columna “tarea propuesta” también se utiliza para registrar los casos donde se requiere el rediseño, o en que se ha decidido que el modo de fallo no necesita mantenimiento programado

3.5.7 Consecuencias de los fallos

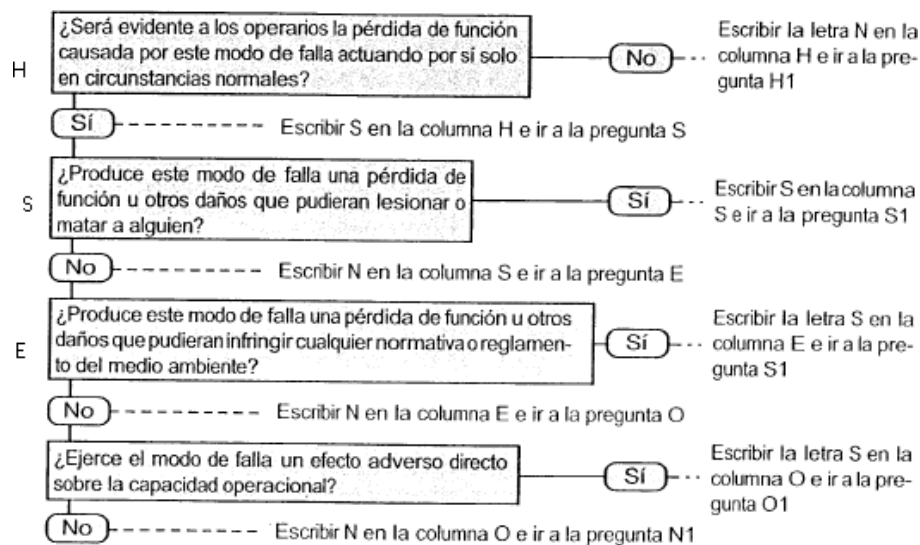


Figura 12-3: Como se registran las consecuencias de fallo en la hoja de decisión

Fuente: (Moubray, 2004 pág. 207)

Cada modo de fallo es ubicado en una sola categoría de consecuencias. entonces si es clasificado como que tiene consecuencias ambientales, no se evalúa, también sus consecuencias operacionales (al menos cuando se realiza el primer análisis de un activo físico cualquiera). Esto significa que, por ejemplo, si se registra una “S” en la columna E, no se registra nada en la columna O. Una vez que las consecuencias del modo de fallo han sido categorizadas, el próximo paso es buscar una tarea proactiva adecuada. (Moubray, 2004 pág. 207)

Referencia de información			Evaluación de consecuencias				
F	FF	FM	H	S	E	O	
3	A	1	N				Una falla oculta: Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea preventiva debe reducir el riesgo de esta falla a un nivel tolerable
5	B	2	S	S			Consecuencias para la seguridad: Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea preventiva debe reducir por sí sola el riesgo de esta falla a un nivel tolerable
2	C	4	S	N	S		Consecuencias para el medio ambiente: Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea preventiva debe reducir por sí sola el riesgo de esta falla a un nivel tolerable
1	A	5	S	N	N	S	Consecuencias operacionales: Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea preventiva a través de un período de tiempo debe costar menos que el costo total de las consecuencias operacionales más el costo de la reparación de la falla que pretende prevenir
1	B	3	S	N	N	N	Consecuencias No-operacionales: Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea preventiva a través de un período de tiempo debe costar menos que el costo de la reparación de las fallas que pretende prevenir

Figura 13-3: Consecuencias de fallo

Fuente: (Moubray, 2004 pág. 207)

De acuerdo con (Moubray, 2004 pág. 207) nos habla de las tareas proactivas las cuales se encuentran desde la octava columna a la décima.

La columna titulada H1/S1/O1/N1 es utilizada para registrar si se pudo encontrar una tarea a condición apropiada para anticipar el modo de fallo a tiempo como para evitar consecuencias.

La columna titulada H2/S2/O2/N2 es utilizada para registrar si se pudo encontrar una tarea de reacondicionamiento cíclico apropiada para prevenir los fallos. La columna titulada H3/S3/O3/N3 es utilizada para registrar si se pudo encontrar una tarea de sustitución cíclica para prevenir fallos.

H1	H2	H3	
S1	S2	S3	
O1	O2	O3	
N1	N2	N3	
S			<p>¿Es técnicamente factible realizar una tarea para detectar si está ocurriendo una falla o está a punto de ocurrir? :</p> <p>¿Hay alguna clara condición de falla potencial? ¿Cuál es? ¿Cuál es el intervalo P-F? ¿Es suficientemente largo como para ser de utilidad? ¿Es razonablemente consistente? ¿Es posible hacer la tarea a intervalos menores al intervalo P-F?</p>
N	S		<p>¿Es técnicamente factible realizar una tarea de reacondicionamiento programado para reducir la frecuencia de la falla (evitar todas las fallas en el caso en que afecte la seguridad)?</p> <p>¿Hay una edad en la que aumenta rápidamente la probabilidad condicional de falla? ¿Cuál es? ¿Ocurren la mayoría de las fallas después de esta edad (todos en el caso de consecuencias para la seguridad o el medio ambiente)? ¿Restituirá la tarea la resistencia original a la falla?</p>
N	N	S	<p>¿Es técnicamente factible realizar una tarea de sustitución cíclica para reducir la frecuencia de la falla (evitar todas las fallas en el caso de que afecte a la seguridad)?</p> <p>¿Hay una edad en la que aumenta rápidamente la probabilidad condicional de falla? ¿Cuál es? ¿Ocurren la mayoría de las fallas después de esta edad (todos en el caso de consecuencias para la seguridad o el medio ambiente)?</p>

Figura 14-3: Criterio de factibilidad técnica

Fuente: (Moubray, 2004 pág. 209)

En cada caso, una tarea solo es apropiada si merece la pena realizarla y si es técnicamente factible. En esencia, para que una tarea sea técnicamente factible y que merezca la pena realizarla, debe ser posible dar una respuesta positiva a todas las preguntas que muestra la figura 11-3 que se aplican a esa categoría de tareas, y la tarea debe responder al criterio de “merece la pena ser realizada”. si la respuesta a cualquiera de estas preguntas es “NO” o se desconoce, entonces se rechaza la tarea totalmente. (Moubray, 2004)

Si todas las preguntas pueden ser contestadas afirmativamente, entonces se registra “S” en la columna apropiada.

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de		
F	FF	FM	H	S	E	O	S1 O1 N1	S2 O2 N2	S3 O3 N3	H4	H5	S4
3	A	1	N				N	N	N	S		
<p>¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar una tarea de búsqueda de falla?</p> <p>Registrar "sí", si es posible realizar la tarea y resulta práctico hacerlo con la frecuencia requerida y reduce el riesgo de la falla múltiple a un nivel tolerable.</p>												
4	B	4	N				N	N	N	N	S	
4	C	2	N				N	N	N	N	N	
<p>¿Podría la falla múltiple afectar la seguridad o el medio ambiente?</p> <p>(Sólo se hace esta pregunta si la respuesta a la pregunta H4 es no.) Si la respuesta a esta pregunta es sí, el rediseño es obligatorio. Si la respuesta es no, la acción "a falta de" es no realizar mantenimiento programado, pero el rediseño puede ser deseable.</p>												
5	B	2	S	S			N	N	N			S
2	A	5	S	S			N	N	N			N
<p>¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar una combinación de tareas?</p> <p>"Sí", si una combinación de dos o más tareas proactivas cualquiera reducen el riesgo de falla a un nivel tolerable (esto rara vez sucede). Si la respuesta es no, el rediseño es obligatorio.</p>												
1	A	5	S	N	N	Y	N	N	N			
1	B	3	S	N	N	N	N	N	N			
<p>En estos dos casos, las consecuencias de la falla son puramente económicas y no se pudo encontrar una tarea proactiva apropiada. Como resultado, la decisión "a falta de" inicial es no realizar mantenimiento programado, pero el rediseño puede ser deseable.</p>												

Figura 15-3: Las preguntas "a falta de"

Fuente: (Moubray, 2004 pág. 210)


Las preguntas "a falta de" se encuentran ubicadas en las columnas H4, H5 y S4 en la hoja de decisión son utilizadas para registrar las respuestas a las tres preguntas "a falta de". (cabe mencionar que las preguntas "a falta de" solo se preguntan si las respuestas a las tres preguntas previas fueron todas "NO". (Moubray, 2004 pág. 210)

3.5.8 Programación de mantenimiento

La programación de mantenimiento conlleva una secuencia de pasos para obtener un plan de mantenimiento eficiente, en la empresa dispone de un instructivo para la realización de trabajos de mantenimiento, el cual nos da las pautas para poder realizar las actividades que conlleva el plan de mantenimiento.

la tabla 9-3. detalla la forma para la realización de trabajos de mantenimiento correctivo la misma que se complementa con el instructivo para la realización de trabajos de mantenimiento que se muestran en el anexo J

Tabla 10-3: Instructivo para la realización de trabajos de mantenimiento

	INSTRUCTIVO PARA LA REALIZACION DE TRABAJOS DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO			Código:	SOP-04-IT-01
	SOP-04 PROCESO DE GESTION DE MANTENIMIENTO			Versión:	00
	Elaborado por: Coordinador de Mantenimiento	Revisado por: Coordinador de Calidad	Aprobado por: Representante de la dirección.	Fecha Emisión:	2013-10-24
<p>1. Propósito Establecer las directrices necesarias para la realización de trabajos de mantenimiento de la infraestructura de la organización.</p>					
<p>2. Alcance El presente instructivo establece las directrices para la realización de trabajos de mantenimiento de la infraestructura de la organización, así como establecer la metodología para realizar el mantenimiento.</p>					
<p>3. Objetivos Normar las actividades que se van a realizar en mantenimiento</p>					
<p>4. Responsabilidad y autoridad El Coordinador y asistente de mantenimiento son responsables de aplicar este instructivo para la realización de trabajos de mantenimiento de la infraestructura de la organización.</p>					
<p>5. Descripción de actividades</p>					
<p>5.1. Notificación del problema (por parte del operador) El operador notifica el problema, mediante el registro de actividades para mantenimiento correctivo, mismo que se encuentra ubicado en el departamento de mantenimiento</p>					
<p>5.2. Identificación de problema Inspección visual del equipo que presenta los fallos.</p>					
<p>5.3. Cortar el suministro de energía eléctrica de la máquina, (liberar la presión) Bajar el disyuntor del tablero principal, cerrar el suministro a aire, liberar la presión neumática abriendo la válvula de alivio de presión, o reiterando la manguera del racor.</p>					
<p>5.4. Desmontar la parte con el daño (si aplica) Utilizar las herramientas adecuadas para desmontar el componente averiado de la máquina, manipulando con cuidado para no dañar el resto de los componentes</p>					
<p>5.5. Despiece del componente según el manual de la máquina (consultar información) Revisar en el manual el despiece de la parte averiada, los planos, las propiedades de los componentes de la parte y actividades que deben realizarse.</p> <p>Procedemos a realizar el desarmado del componente averiado, utilizando las herramientas adecuadas, en el lugar de trabajo establecido, tomar evidencias fotografías, del desarmado como una guía para facilidad en el ensamble Ubicar secuencialmente las partes del componente para el posterior ensamble</p>					
<p>5.6. Reparar la parte dañada y calibrar. Cambiar los repuestos en mal estado. Limpiar, rectificar los componentes que van a ser utilizados nuevamente.</p> <p>Ensamblar el componente, en cada paso verificar que cada parte se encuentre correctamente calibrada.</p>					
<p>5.7. Realizar la lubricación si requiere. Realizar la prueba de funcionamiento del componente (Cuando aplique)</p> <p>Conectar alimentación eléctrica, neumática, verificarlos parámetros de funcionamiento del componente, con los equipos de medición.</p>					

<p>5.8. Realizar el montaje de la parte reparada en la máquina. Verificar que el lugar donde va a trabajar el componente se encuentre libre de suciedad, grasa, partículas de polvo, u otros contaminantes. Ubicar el componente en la máquina, realizar su anclaje, conectar alimentación eléctrica, neumática, hidráulica si aplica</p>
<p>5.9. Realizar las pruebas de funcionamiento correspondiente, calibraciones según estándares de operación. Conjuntamente con el operador realizar las pruebas necesarias, hasta que la máquina esté operando, dentro de los parámetros establecidos.</p>
<p>5.10. Darle el seguimiento correspondiente. Revisar posteriormente si el trabajo de mantenimiento realizado solucionó definitivamente el fallo presentado; en caso de no solucionarse repetir el proceso de mantenimiento.</p>
<p>6. Documentos y registros asociados * SOP-04-FR-01 Formatos de registro de actividades para mantenimiento correctivo. * SOP-04-FR-02 Formato de inventario de repuestos * SOP-04-FR-03 Formato de inventario de herramientas. * SOP-04-FR-04 Formato de revisión de maquinaria antes de iniciar la operación. * SOP-04-FR-05 Formato de hoja de vida de maquinaria. * SOP-04-FR-06 Formato de actividades para mantenimiento preventivo. * SOP-04-FR-07 Formato de prueba de materiales de proveedor. * SOP-04-FR-08 Formato de control de parámetros de máquinas. * SOP-04-FR-09 Tendencia diaria de calibración de velocidad * SOP-04-FR-10 Formato de salida de material de bodega. * SOP-04-FR-11 Formato de reporte diario personal de mantenimiento. * SOP-04-FR-12 Formato de tendencia de calibración. * SOP-04-FR-13 Formato capacitación de personal. * SOP-04-FR-14 Tendencia diaria de calibración de llenado de fluidos freno embrague * SOP-04-FR-15 Tendencia diaria de calibración de deslizamiento * SOP-04-FR-16 Formato Orden de Trabajo. * SOP-04-FR-17 Implementación de procedimientos no establecidos. * SOP-04-OTR-01 Listado de maquinaria crítica y repuestos. * SOP-04-OTR-02 Ficha técnica de maquinaria CIAUTO. * SOP-04-OTR-03 Izaje de carga * SOP-04-PL Plan de mantenimiento anual CIAUTO 2013.</p>

Fuente: CIAUTO 2021

Realizado por: Freire Cazco, Darwin. 2021

La programación del mantenimiento muestra la gran importancia que tiene la industria, en buscar las oportunidades de mejora en la productividad el cual se detalla la programación para la cuba 1 de desengrase por aspersion y para la cuba E-coat en el anexo D.

El instructivo para realizar las actividades de mantenimiento en el anexo J

CAPITULO IV

4. RESULTADOS

4.1 Adquisición de información

La recopilación de información se desarrolló dentro de la empresa CIAUTO, en la planta de pintura, proceso ELPO, obteniendo información técnica de las actividades de mantenimiento la cual ayuda a tener un punto de partida, para el desarrollo del trabajo de integración curricular que están expuesto en el capítulo IV.

Obteniendo la siguiente información que se detalla a continuación:

- Planes de mantenimiento la empresa facilitó el plan de mantenimiento del año 2018 ya que este plan en ese año es de dominio público se detalla las actividades mecánicas, eléctricas que debe realizar el técnico mantenimiento que se encuentre a cargo realizadas por el personal técnico de la empresa detallado en el anexo E.
- Fichas técnicas: se recopiló un inventario de fichas técnicas de los equipos existentes en el proceso ELPO los cuales están disponibles un ejemplo de ficha técnica en el anexo F ya que por motivos de seguridad y confidencialidad de la empresa no permite publicar el listado completo.
- Lista de comprobación (check list) esta hoja lo maneja cada operador de las máquinas en ella se registra antes de comenzar la jornada laboral las novedades que suelen presentar las máquinas, realizan una inspección visual de cada componente, si sucede algún altercado se da informe a mantenimiento, un ejemplo de esta hoja se detalla en el anexo F.
- Diagramas de proceso este diagrama de proceso nos ayuda a identificar en donde se encuentra ubicado cada uno de los equipos del proceso ELPO., los cuales se detallan en el anexo G y el esquema de distribución de la planta ayuda a entender de mejor manera donde está ubicada cada uno de los equipos del proceso dentro de la empresa los cuales se detallan en el anexo H.

4.2 Identificación del área de trabajo

El área de trabajo va a ser el proceso ELPO, mismo que está constituido por diferentes etapas, cada una tienen características diferentes, cuyo proceso final es realizar el pintado inicial de los vehículos.

Dentro del proceso ELPO existen distintas etapas las cuales son expuestas en la tabla 1-4.

Tabla 1-4: Etapas del proceso ELPO

Descripción de la máquina	Número de etapa
Cuba de desengrase por aspersión	Etapa # 1
Cuba de desengrase por sumersión	Etapa # 2
Cuba de desengrase por inmersión (agua blanda)	Etapa # 3
Cuba de activación de sustrato por inmersión	Etapa # 4
Cuba de pasivado de fosfato	Etapa # 5
Cuba de enjuague de fosfato de inmersión	Etapa # 6
Cuba de transferencia	Etapa # 7
Cuba E-COAT	Etapa # 8
Cuba de enjuague por Permeato por inmersión #1	Etapa # 9
Cuba de enjuague por Permeato por inmersión #2	Etapa # 10
Cuba de enjuague de agua	Etapa # 11

Fuente: Ciauto 2021

Realizado por: Freire Cazco, Darwin. 2021

4.3 Codificación

La codificación aplicada a los activos del área ELPO se realizó bajo la norma ISO 14224, la cual detalla cada componente que existe en las cubas estudiadas presentada en la tabla 2-4 como un ejemplo para la cuba 1 de desengrase por aspersión y para la cuba 2 desengrase por sumersión la codificación restante se encuentra en el anexo I.

Para la codificación de los equipos se han establecido cinco niveles jerárquicos, el nivel uno hace referencia con la empresa, el nivel dos con el nombre de la planta, el nivel tres detalla el proceso, los dos niveles restantes describen el subsistema y los equipos de la planta.

Tabla 2-4: Codificación de activos

Fuente: Freire Cazco, Darwin

Realizado por: Freire Cazco, Darwin, 2021

4.4 Análisis de resultados de la metodología PMO

La metodología PMO se desarrolló para el proceso ELPO, excluyendo la cuba E- coat ya que esta se desarrolló mediante la metodología RCM, a través de los siguientes pasos:

4.4.1 *Recopilación de información*

La recopilación de información para desarrollar el proceso del PMO, se realizó mediante la ayuda del personal técnico de mantenimiento, que facilitó documentos digitales de los equipos.

Lo primordial, para el desarrollo del PMO fue la obtención de las tareas de mantenimiento con su respectiva frecuencia, que como caso aplicativo se tomó la cuba 1 de desengrase; cuya información se presenta en la tabla 3-4.

Las actividades, frecuencias de los equipos estudiados se menciona en el anexo A que detalla el plan de mantenimiento de la empresa.

Tabla 3-4: Recopilación de información

ÁREA: Pintura	
Proceso: ELPO	
ACTIVIDADES	Frecuencia
Revisar corrosión, grietas o fugas en las paredes estructurales de la cuba, en las tuberías de recirculación, en las tuberías de los aspersores y en las tuberías de calentamiento.	2S
Limpieza y alineación de rociadores "2 personas"	12S
Reajustar abrazaderas que sostienen las tuberías de recirculación, calentamiento y rociadores	14S
Verificar el funcionamiento de la electroválvula de calentamiento de la cuba, realizar limpieza externa (utilizar WD40)	2S
Limpieza de filtros del sistema de recirculación de acuerdo con el cronograma del personal de tratamiento de aguas	S
Cambiar aceite de la bomba (Aceite de transmisión 15W40 G15)	6M
Control de parámetros de máquinas (voltaje, amperaje, temperatura, presión)	S
Revisar ruidos y vibraciones en el cuerpo de rodamientos, acoplamiento bomba y motor de accionamiento (reemplazar rodamientos y alinear de ser necesario)	S
Lubricar rodamientos del motor-bomba (grasa SKF LGHP 2/5)	M
Inspección visual del estado del sello mecánico no presente fugas, de ser necesario sustituir inmediatamente.	2M
Pintar bomba y motor para evitar corrosión de los equipos	A
Sustitución de rodamientos, empaques y retenedores de la bomba. Evaluar sello mecánico, cambiar sello de ser necesario.	A
Cambio de rodamientos del motor, barnizado y megado del bobinado	15000 h
Verificar el nivel de aceite en el cuerpo de rodamientos 3/4 de nivel (completar de ser necesario)	M
Limpieza del conjunto bomba - motor (carcasa, aletas, etc.)	M
Limpieza y ajuste del terminal de conexión a tierra	11S
Inspección del sistema de iluminación del área de cuba (reemplazar de ser necesario)	M
Reajustar todas la borneras de conexión "Potencia y control" del motor en el tablero de control de cubas ELPO	11S
Revisar funcionamiento correcto de botoneras y luz piloto en el tablero principal y tablero secundario de la cuba (reemplazar de ser necesario)	M
Desmontaje, limpieza y ajuste de tornillos de conexión de la termocupla (Validar su funcionamiento)	M
Mantener temperatura de la cuba, lista para producción del primer turno (Temperatura de la cuba 46°C)	S
Revisar funcionamiento de las protecciones, paros de emergencia y guardas	M

Fuente: Ciauto, 2021

Realizado por: Freire Cazco, Darwin. 2021

Al recopilar la información se obtiene un total de veinte y dos actividades de mantenimiento, llevando el mayor porcentaje las actividades que se realiza mensualmente, seguido de las actividades semanales.

4.4.2 Análisis de los modos de fallo

El análisis de modos de fallo se realizó a la cuba 1 de desengrase, cuyo proceso se muestra en la tabla 4-4, las cubas restantes tienen modos de fallo similares ya que tienen equipos de iguales características técnicas.

De las veinte y dos actividades mencionadas en la recopilación de información se determinó actividades con frecuencias muy cortas y actividades repetidas.

Tabla 4-4: Análisis de modos de fallo

Actividades	Frec.	Cod. Equipo	Modos de fallo
Revisar corrosión, grietas o fugas en las paredes estructurales de la cuba, en las tuberías de recirculación, en las tuberías de los aspersores y en las tuberías de calentamiento.	2S	CU01	Desgaste del material. Corrosión
Limpieza y alineación de rociadores "2 personas"	12S	CU01	Obstrucción de rociadores
Reajustar abrazaderas que sostienen las tuberías de recirculación, calentamiento y rociadores	14S	CU01	Abrazaderas de soporte de tuberías flojas
Inspección del sistema de iluminación del área de cuba (reemplazar de ser necesario)	M	CU01	No aplica
Limpieza de filtros del sistema de recirculación de acuerdo con el cronograma del personal de tratamiento de aguas	S	MB01	Filtros sucios
Cambiar aceite de la bomba (Aceite de transmisión 15W40 G15)	6M	MB01	Sobrecalentamiento
Control de parámetros de máquinas (voltaje, amperaje, temperatura, presión)	S	MB01	No aplica
Revisar ruidos y vibraciones en el cuerpo de rodamientos, acoplamiento bomba y motor de accionamiento (reemplazar rodamientos y alinear de ser necesario)	S	MB01	Desalineación
Lubricar rodamientos del motor-bomba (grasa SKF LGHP 2/5)	M	MB01	No aplica
Inspección visual del estado del sello mecánico no presente fugas, de ser necesario sustituir inmediatamente.	2M	MB01	Fugas de la bomba
Pintar bomba y motor para evitar corrosión de los equipos	A	MB01	Corrosión del equipo
Sustitución de rodamientos, empaques y retenedores de la bomba. Evaluar sello mecánico, cambiar sello de ser necesario.	A	MB01	Sello mecánico desgastado. Fugas de la bomba
Cambio de rodamientos del motor, barnizado y megado del bobinado	15000 h	MB01	Aislamiento desgastado
Verificar el nivel de aceite en el cuerpo de rodamientos 3/4 de nivel (completar de ser necesario)	M	MB01	Fugas del aceite
Limpieza del conjunto bomba - motor (carcasa, aletas, etc.)	M	MB01	Corrosión

Limpieza y ajuste del terminal de conexión a tierra	11S	MB01	Fugas de corriente
Reajustar todas la borneras de conexión "Potencia y control" del motor en el tablero de control de cubas ELPO	11S	TCC	No aplica
Revisar funcionamiento correcto de botoneras y luz piloto en el tablero principal y tablero secundario de la cuba (reemplazar de ser necesario)	M	TCC	Botoneras defectuosas
Mantener temperatura de la cuba, lista para producción del primer turno (Temperatura de la cuba 46°C)	S	TCC	No aplica
Revisar funcionamiento de las protecciones, paros de emergencia y guardas	M	TCC	No aplica
Verificar el funcionamiento de la electroválvula de calentamiento de la cuba, realizar limpieza externa (utilizar WD40)	2S	EL01	Falta de calibración
Desmontaje, limpieza y ajuste de tornillos de conexión de la termocupla (Validar su funcionamiento)	M	COT01	Falta de calibración Obstrucción de termocupla

Fuente: Ciauto, 2021

Realizado por: Freire Cazco, Darwin. 2021

Realizada la recopilación de la información del plan de mantenimiento vigente, se determinan los diferentes modos de fallo ocurridos en la cuba y las actividades realizadas para mitigar que ocurra ese modo de fallo y obtener un documento de prevención.

4.4.3 Revisión de los modos de fallo

La tabla 5-4 presenta la revisión de los modos de fallo para el ejemplo aplicativo de la cuba 1 de desengrase por aspersión, se codificaron los modos de fallo para cada una de las cubas el cual se resume con cada uno de los códigos de equipo.

Tabla 5-4: Revisión de modos de fallo

Cod. Equipo	Modos de fallo
CU01	Desgaste de la estructura
CU01	Corrosión
CU01	Obstrucción de los rociadores
CU01	Abrazaderas de soporte de tuberías flojas
CU01	Desgaste de las tuberías de succión y descarga
MB01	Falta de lubricación en los rodamientos
MB01	Degradación del aceite de la bomba
MB01	Sobrecalentamiento
MB01	Desalineación
MB01	Fricción
MB01	Desgaste del aislamiento
MB01	Filtros sucios
MB01	Fugas de corriente
MB01	Sellos desgastados
MB01	Bases flojas

MB01	Falta de aislamiento en el motor
MB01	Corrosión
MB01	Elementos de control defectuosos (botoneras, luz piloto)
MB01	Ajuste inadecuado de las borneras del motor
TCC	Conductores desgastados
TCC	Botoneras defectuosas
TCC	Luces de señalización deterioradas
EL01	Obstrucción electroválvula
EL01	Falta de calibración
EL01	Desgaste de elementos internos
COT01	Falta de calibración
COT01	Controlador de temperatura obstruido
SER01	Falta de calibración
SER01	Elementos internos desgastados
SEC01	Servoválvula defectuosa

Fuente: Ciauto, 2021

Realizado por: Freire Cazco, Darwin, 2021

En este paso se tiene un listado de los diferentes modos de fallo encontrados en la Cuba, se debe revisar la información histórica y llevar un registro actualizado de los fallos que hayan ocurrido en el proceso para poder mitigar los posteriores nuevos modos de fallo que podrían ocurrir después de esto se procede con la depuración y la codificación, para tener históricos actualizados se diseñó un formato que se detalla en el anexo K

4.4.4 Depuración y codificación de los modos de fallo

La tabla 6-4 presenta la depuración y codificación de los modos de fallo para el ejemplo aplicativo de la cuba 1 de desengrase por aspersion. Otra estrategia para reducir los modos de fallo fue establecer un código por cada modo de fallo, estos modos de fallo son de gran importancia al realizar el plan de mantenimiento.

Tabla 6-4: Depuración y codificación de los modos de fallo

Cod. Equipo	Modos de fallo	Cod. del modo de fallo
CU01	Desgaste de la estructura	A
CU01	Obstrucción de los rociadores	B
CU01	Abrazaderas de soporte de tuberías flojas	C
CU01	Desgaste de las tuberías de succión y descarga	D
MB01	Falta de lubricación de los rodamientos	E
MB01	Degradación del aceite de la bomba	F
MB01	Sobrecalentamiento del motor	G
MB01	Desalineación del conjunto motor bomba	H
MB01	Desgaste del aislamiento del motor	I
MB01	Fugas	J
MB01	Corrosión del conjunto motor bomba	K

MB01	Borneras flojas	L
TCC	Conductores desgastados	M
TCC	Botoneras defectuosas	N
TCC	Luces de señalización deterioradas	O
EL01	Obstrucción electroválvula	P
EL01	Falta de calibración	Q
EL01	Desgaste de elementos internos	R
COT01	Falta de calibración	S
COT01	Controlador de temperatura obstruido	T
SER01	Borneras flojas	U
SER01	Servoválvula obstruida	V
SEC01	Borneras flojas	W
INC01	Intercambiadores de calor obstruidos	X
		Y

Fuente: Ciauto, 2021

Realizado por: Freire Cazco, Darwin, 2021

En este paso se añaden o se quitan los modos de fallo que no han sido tomado en cuenta en el plan de mantenimiento vigente, y se procede a codificar tratando de evitar repeticiones.

4.4.5 Evaluación de las consecuencias

La evaluación de las consecuencias de fallo para la cuba 1 de desengrase por aspersión se muestran en la tabla 7-4, agrupando los modos de fallo con su código, obteniendo un total de veinte y cinco modos de fallo de los cuales ocho tienen consecuencias Operacionales, dieciséis modos de fallo tienen consecuencias no operacionales y un modo de fallo tiene consecuencias a la seguridad.

Tabla 7-4: Evaluación de consecuencias

Cod. Equipo	Modos de fallo	Cod. modo de fallo	Consecuencias evidentes			Consec. ocultas
			O	NO	S	
CU01	Desgaste de la estructura	A		X		
CU01	Obstrucción de los rociadores	B		X		
CU01	Abrazaderas de soporte de tuberías flojas	C		X		
CU01	Desgaste de las tuberías de succión y descarga	D		X		
MB01	Falta de lubricación de los rodamientos	E		X		
MB01	Degradación del aceite de la bomba	F		X		
MB01	Sobrecalentamiento del motor	G		X		
MB01	Desalineación del conjunto motor bomba	H		X		
MB01	Desgaste del aislamiento del motor	I		X		
MB01	Fugas	J	X			
MB01	Corrosión del conjunto motor bomba	K		X		
MB01	Borneras flojas del motor	L		X		
TCC	Conductores desgastados	M			X	
TCC	Botoneras defectuosas	N		X		

TCC	Luces de señalización deterioradas	O		X		
EL01	Obstrucción electroválvula	P	X			
EL01	Falta de calibración	Q	X			
EL01	Desgaste de elementos internos	R		X		
COT01	Falta de calibración	S	X			
COT01	Controlador de temperatura obstruido	T	X			
SER01	Borneras flojas	U	X			
SER01	Servoválvula obstruida	V		X		
SEC01	Servoválvula obstruida	W	X			
SEC01	Borneras flojas	X		X		
INC01	Intercambiadores de calor obstruidos	Y	X			

Fuente: Ciauto, 2021

Realizado por: Freire Cazco, Darwin. 2021

En este paso se determina las consecuencias sean ocultas o evidentes, en las consecuencias evidentes se procede con el análisis de las afectaciones que pueden suceder, si afecta la operación se verá reflejado en producción, si existe afectaciones no operacionales afectara los costos de mantenimiento, y las afectaciones a la seguridad afectara a los operarios y al medio ambiente.

4.4.6 Determinación de las tareas de mantenimiento

De acuerdo con el diagrama de decisión del RCM, cuyo proceso se da con la evaluación de las consecuencias de fallo. De no disponer de los históricos para determinar tareas y frecuencias, se puede adoptar otras formas como manuales del fabricante y experiencia del personal encargado de mantenimiento. Al analizar las tareas de la cuba 1 de desengrase por aspersion se determinó que las consecuencias no operativas abarcan un 60%, seguido de las consecuencias operativas con el 32% y las consecuencias para la seguridad con un 8%. Este se indica en la figura 1-4.

Consecuencias de los fallos



Gráfico 1-4: Consecuencias de los fallos

Realizado por: Freire Cazco, Darwin. 2021

Tabla 8-4: Selección de tareas

Cod. Equipo	Modos de fallo	Cod. modo de fallo	Consecuencias evidentes			Evaluación de tareas				Ocultas		
			Operativas	No operativas	De seguridad	TA	Re	SC	CT	1	2	3
CU01	Desgaste de la estructura	A		X					X			
CU01	Obstrucción de los rociadores	B		X					X			
CU01	Abrazaderas de soporte de tuberías flojas	C		X					X			
CU01	Desgaste de las tuberías de succión y descarga	D		X				X				
MB01	Falta de lubricación	E		X				X				
MB01	Degradación del aceite de la bomba	F		X				X				
MB01	Sobrecalentamiento del motor	G		X		X						
MB01	Desalineación del conjunto motor bomba	H		X		X						
MB01	Desgaste del aislamiento del motor	I		X			X					
MB01	Fugas	J	X					X				
MB01	Corrosión del conjunto motor bomba	K		X			X					
MB01	Borneras flojas del motor	L		X					X			
TCC	Conductores desgastados	M			X				X			
TCC	Botoneras defectuosas	N		X				X				
TCC	Luces de señalización deterioradas	O		X				X				
EL01	Obstrucción electroválvula	P	X						X			
EL01	Falta de calibración	Q	X				X					
EL01	Desgaste de elementos internos	R		X					X			
COT01	Falta de calibración	S	X				X					
COT01	Controlador de temperatura obstruido	T	X						X			
SER01	Borneras flojas	U	X				X					
SER01	Servoválvula obstruida	V		X					X			
SEC01	Servoválvula obstruida	W	X				X					
SEC01	Borneras flojas	X							X			
INC01	Intercambiadores de calor obstruidos	Y	X				X					

Fuente: Ciauto, 2021

Elaborado por: Freire Cazco Darwin, 2021

Realizado el análisis de las consecuencias procedemos a realizar una evaluación de las tareas de las cuales el 8% corresponde a tareas a condición, el 24 % son sustituciones cíclicas, el 28% tareas de reacondicionamiento cíclico y el que mayor porcentaje abarca son una combinación de tareas como se detalla en la figura 2-4.

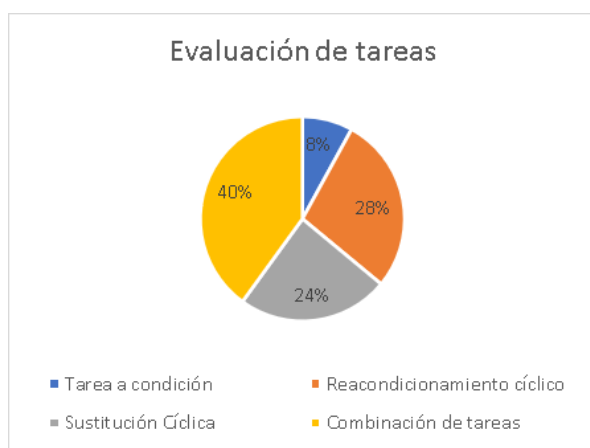


Gráfico 2-4: Evaluación de tareas

Realizado por: Freire Cazco, Darwin. 2021

Realizado el análisis de las tareas se procede a definir frecuencias las cuales se detalla en la tabla 9-4 muestra las nuevas tareas de mantenimiento junto a sus respectivas frecuencias, las cual mitigarán los modos de fallo determinados en pasos anteriores.

Tabla 9-4: Definición de tareas y frecuencia

Cod. Equipo	Modos de fallo	Nuevas Tareas de mantenimiento	Frecuencia
CU01	Desgaste de la estructura	Inspección del estado de la estructura de la cuba, tuberías de recirculación, tuberías de los rociadores y tuberías de calentamiento	9 S
		Limpieza y pintura de la cuba	Anual
CU01	Obstrucción de los rociadores	Limpieza y alineación de rociadores	5 S
CU01	Abrazaderas de soporte de tuberías flojas	Reajuste de elementos de fijación de la cuba	12 S
CU01	Desgaste de las tuberías de succión y descarga	Cambio de juntas flexibles	Anual
MB01	Falta de lubricación de los rodamientos	Lubricación de rodamientos del conjunto motor bomba	8 S
MB01	Degradación del aceite de la bomba	Cambio del aceite de la bomba	16 S
MB01	Sobrecalentamiento del motor	Termografía del conjunto motor bomba	16 S
MB01		Alineación del equipo	16 S

	Desalineación del conjunto motor bomba	Revisar el estado de los amortiguadores del conjunto motor bomba	16 S
		Cambio de rodamientos	8000 h
		Análisis de vibraciones	16 S
MB01	Desgaste del aislamiento del motor	Barnizado y megado del bobinado	8000 h
MB01	Fugas	Inspección del estado del sello, empaques y retenedores de la bomba	9 S
		Cambio de empaques y retenedores de la bomba	8000 h
MB01	Corrosión del conjunto motor bomba	Limpieza y pintura del conjunto motor bomba	Anual
MB01	Borneras flojas del motor	Ajuste de borneras del motor	13 S
TCC	Conductores desgastados	Inspección del estado de los conductores	12 S
		Medición de parámetros eléctricos (voltaje, amperaje)	12 S
TCC	Botoneras defectuosas	Verificar el funcionamiento de las botoneras	6 S
TCC	Luces de control deterioradas	Verificar el funcionamiento de la luz piloto	6 S
EL01	Obstrucción electroválvula	Limpieza de la electroválvula	11 S
EL01	Falta de calibración	Calibración y pruebas de funcionamiento	11 S
EL01	Desgaste de elementos internos	Inspección del estado de los elementos internos	11 S
COT01	Falta de calibración	Calibración y pruebas de funcionamiento	1 S
COT01	Controlador de temperatura obstruido	Limpieza del controlador de temperatura	1 S
SER01	Borneras flojas	Ajuste de borneras	15 S
SER01	Servoválvula obstruida	Inspección del estado	15 S
		Limpieza y pruebas de funcionamiento	15 S
SEC01	Servoválvula obstruida	Inspección del estado	3 S
		Limpieza y pruebas de funcionamiento	3 S
SEC01	Borneras flojas	Ajuste de borneras	3 S
INC01	Intercambiadores de calor obstruidos	Limpieza de los intercambiadores	26 S

Fuente: Ciauto, 2021

Realizado por: Freire Cazco, Darwin. 2021

4.4.7 Agrupación y revisión de tareas de mantenimiento

La tabla 10-4 muestra la agrupación de tareas de mantenimiento obtenidas del proceso anterior. Las cuales fueron agrupadas cada una de las tareas con su respectiva frecuencia teniendo frecuencias anuales, semanales y horas de funcionamiento.

Tabla 10-4: Agrupación de tareas

Cod. Equipo	Tareas de mantenimiento	Frec.
CU01	Limpieza y pintura de la cuba y cambio de juntas flexibles	Anual
CU01	Inspección del estado de la estructura de la cuba, tuberías de recirculación, tuberías de los rociadores y tuberías de calentamiento	9 S
CU01	Limpieza y alineación de rociadores	5 S
CU01	Reajuste de elementos de fijación de la cuba	12 S
MB01	Lubricación de rodamientos del conjunto motor bomba	8 S
MB01	Cambio de aceite y revisión del estado de los amortiguadores del conjunto motor bomba	16 S
MB01	Termografía, alineación y análisis de vibraciones	16 S
MB01	Cambio de rodamientos, empaques y retenedores de la bomba. Barnizado y megado del bobinado del motor	8000 h
MB01	Inspección del estado del sello, empaques y retenedores de la bomba	9 S
MB01	Limpieza y pintura del conjunto motor bomba	Anual
MB01	Ajuste de borneras del motor	13 S
MB01	eléctrico (voltaje, amperaje). Ajuste de borneras y contactos	
TCC	Verificar el funcionamiento de botoneras y luz piloto	6 S
TCC	Inspección del estado de los conductores. Medición de parámetros	12 S
EL01	Inspección de elementos internos. Calibración y pruebas de funcionamiento. Limpieza integral de la electroválvula	11 S
COT01	Inspección del estado. Calibración y pruebas de funcionamiento. Limpieza del controlador de temperatura	1 S
SER01	Inspección del estado, limpieza, pruebas de funcionamiento y ajuste de borneras y contactos	15 S
SEC01	Inspección del estado técnico, limpieza, pruebas de funcionamiento y ajuste de borneras y contactos	3 S
INC01	Limpieza de los intercambiadores	26 S

Fuente: Ciauto, 2021

Realizado por: Freire Cazco, Darwin. 2021

En este paso se agrupa las tareas de mantenimiento, la empresa cuenta con personal técnico para dar solución a cada una de las tareas sean estas tareas electricas, mecánicas, electrónicas, hidráulicas y neumáticas, si existen tareas de sustitución se procede a realizar los fines de semana en tareas que demande mayor tiempo para no afectar producción, o se asignación al personal encargado del tercer turno

Tabla 11-4: Plan de mantenimiento con frecuencias y responsables

Ítem	Tareas de mantenimiento	Frec.	Est.
M	Mecánico		
M1	Inspección del estado de la estructura de la cuba, tuberías de recirculación, tuberías de los rociadores y tuberías de calentamiento	9S	P/F
M2	Cambio de aceite y revisión del estado de los amortiguadores del conjunto motor bomba	16S	P

M3	Análisis de termografía, alineación y análisis de vibraciones	16S	F
M4	Revisar integridad de los amortiguadores de transmisión, alinear conjunto bomba-motor	16S	P
M5	Lubricación de rodamientos del conjunto motor bomba (grasa SKF LGHP 2/5)	8S	P/F
M6	Cambio de rodamientos, empaques y retenedores de la bomba. Barnizado y megado del bobinado del motor	8000h	P
M7	Limpieza y pintura del conjunto motor bomba	Anual	P
M8	Limpieza mecánica de las placas del intercambiador	26S	P
M9	Limpieza y pintura de la cuba y cambio de juntas flexibles	Anual	P
M10	Limpieza y alineación de rociadores	5S	P
M11	Reajuste de elementos de fijación de la cuba	12S	P/F
E	Eléctrico		
E1	Inspección del estado de los conductores. Medición de parámetros de máquinas (voltaje, amperaje, temperatura, presión)	12S	P/F
E2	Revisar funcionamiento correcto de botoneras y luz piloto en el tablero principal y tablero secundario de la cuba (reemplazar de ser necesario)	6S	F
E3	Revisar integridad de cables de potencia, desde el tablero de control hasta el motor de la bomba, reajustar cables en las borneras del motor	13S	P
E4	Inspección de elementos internos, calibración y pruebas de funcionamiento, limpieza integral de la electroválvula	11S	P
E5	Inspección del estado., calibración y pruebas de funcionamiento. limpieza del controlador de temperatura	1S	F
E6	Inspección del estado, limpieza, pruebas de funcionamiento y ajuste de borneras y contactos	15S	P
E7	Limpia y verificar el correcto funcionamiento de la Servoválvula de recirculación-aspersión del sistema, verificar integridad de las conexiones eléctricas, verificar la correcta regulación del potenciómetro de control de cierre y apertura.	15	P/F

Fuente: Ciauto, 2021

Realizado por: Freire Cazco, Darwin. 2021

La frecuencia referente a estructura de la cuba el fabricante identifico el tiempo para realizar las inspecciones.

En motores eléctricos se toma en cuenta las recomendaciones del fabricante ya que están trabajando con fluidos a temperaturas no ambientales que afectaran al contexto operacional de la máquina. Las frecuencias de mantenimiento en tareas electricas se ajustaron de acuerdo con la norma NFPA 70 B, que detalla la práctica recomendada para el mantenimiento de equipos eléctricos, detallando el tiempo en el cual se deben realizar las inspecciones, los análisis de los equipos. Las tareas de sustitución y las actividades que se deben realizar con el equipo apagado se realizaran en el tercer turno.

4.4.8 Aprobación e implementación

Se presento el plan de mantenimiento al ingeniero Jorge Ninacuri Supervisor de mantenimiento en la planta de pintura y encargado del proceso ELPO.

4.5 Beneficios obtenidos con la optimización del plan de mantenimiento

Después de realizado la optimización del plan de mantenimiento, la implantación de tareas preventivas como análisis termográfico, análisis de vibraciones, control de parámetros de consumo de energía. Se identificaron frecuencias con tiempos demasiados largos, tareas que no concuerdan al contexto operacional de la máquina, y tareas con cambio programado como se detalla en la tabla 12-4.

Tabla 12-4: Comparación de frecuencias iniciales y actuales con PMO.

Ítem	Tareas de mantenimiento	Frec. Ini.	Frec. Fin.
M	Mecánico		
M1	Inspección del estado de la estructura de la cuba, tuberías de recirculación, tuberías de los rociadores y tuberías de calentamiento	2S	9S
M2	Cambio de aceite y revisión del estado de los amortiguadores del conjunto motor bomba	6M	16S
M3	Análisis de termografía, alineación y análisis de vibraciones	S.F.	16S
M6	Cambio de rodamientos, empaques y retenedores de la bomba. Barnizado y megado del bobinado del motor	1500h	8000 h
M8	Limpieza mecánica de las placas del intercambiador	S.F.	26S
E	Eléctrico		
E1	Inspección del estado de los conductores. Medición de parámetros de máquinas (voltaje, amperaje, temperatura, presión)	S	12S
E2	Revisar funcionamiento correcto de botoneras y luz piloto en el tablero principal y tablero secundario de la cuba (reemplazar de ser necesario)	M	6S

Fuente: Ciauto, 2021

Realizado por: Freire Cazco, Darwin. 2021

La tabla 12- 4 hace referencia a las frecuencias que se optimizaron crearon con el PMO, corrigiendo la asignación de tareas al personal técnico de mantenimiento, llevando documentación de mantenimiento actualizada, para aumentar valores en indicadores que utiliza la empresa como es disponibilidad el cual se detalla en la figura 3-4

Tabla 13-4: Análisis porcentual aplicando el PMO.

Análisis del PMO	# de tareas	Porcentaje
Número total de tareas	22	100%
Numero de tareas con PMO	18	81.8%
Reducción de tareas de mantenimiento	2	9.1%
Combinación de tareas de mantenimiento	2	9.1%
Cambio de frecuencias en tareas de mantenimiento	5	22.7%
Creación de nuevas frecuencias de mantenimiento	2	9.1%
Tareas sin cambios	7	31.8%

Fuente: Freire Cazco, Darwin. 2020

Realizado por: Freire Cazco, Darwin. 2021

La tabla 13-4 muestra la optimización del plan de mantenimiento en valores porcentuales, partiendo del plan del 2018 que consta de 22 tareas y con la optimización se redujeron a 18 tareas.

Realizada la optimización del plan de mantenimiento se determina como evoluciono el plan del año 2018, definiendo tareas al personal de mantenimiento, definiendo nuevos modos de falla que aseguren el buen funcionamiento de los equipos. Detallando en la figura 4-4

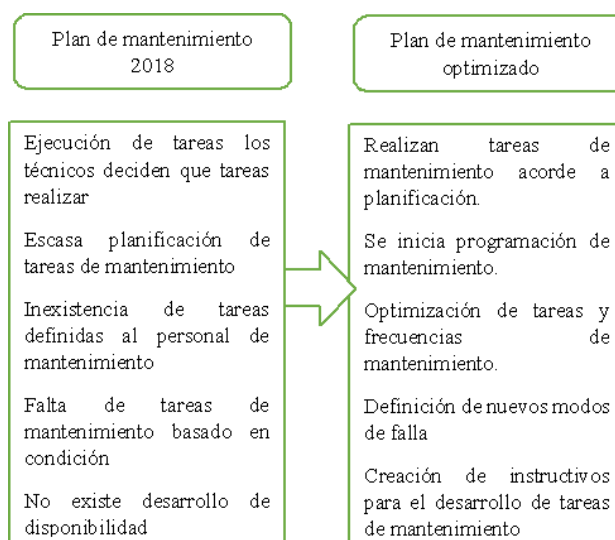


Figura 1-4: Comparación y evolución del plan de mantenimiento.

Realizado por: Freire Cazco, Darwin. 2021

El principal beneficio de la optimización del plan de mantenimiento se verá reflejado en el aumento de la disponibilidad de los equipos como se detalla en la figura 4-5.

Tabla 14-4: Beneficios alcanzados con el PMO.

Beneficios esperados con la optimización del plan de mantenimiento		
Mejoramiento en tareas de mantenimiento	Beneficios esperados de Aumento de disponibilidad %	Clave de éxito
Diagnóstico temprano de modos de fallo	2 -5%	Mente abierta al cambio
Definición de frecuencias de mantenimiento	5%	Enfoque en la optimización del plan de mantenimiento
Mantenimiento basado en condición	10%	Uso de nuevas metodologías

Fuente: Freire Cazco, Darwin. 2021

Realizado por: Freire Cazco, Darwin. 2021

4.6 Metodología RCM

4.6.1 Análisis de criticidad

El análisis de criticidad para los activos del área ELPO fue realizada mediante el método del flujograma, el cual es presentado en la tabla 15-4.

Tabla 15-4: Criticidad

Sistema		Factores de la criticidad							Criticidad
Código	Descripción	S & S	MA	C & P	P	TO	TMF	MT	
C1	Cuba 1: Desengrase por aspersión	C	C	C	C	A	C	C	No crítico
COAT	Cuba E-COAT	A	B	A	A	A	A	A	Crítico

Fuente: Ciauto, 2021

Realizado por: Freire Cazco, Darwin. 2021

Cabe mencionar que se dispone de un estudio previo de criticidad que determino que la cuba E-coat es la más crítica al trabajar las 24 horas durante los 365 días del año, por tal motivo el personal de mantenimiento trabaja en tres turnos. Para precautelar que ocurra modos de fallo en esta cuba. Si llega a producirse una parada esta cuba tiene un tiempo límite de dos horas para realizar actividades de mantenimiento, posterior a este tiempo comenzara a cristalizarse la pintura.

Mas a detalle se presenta el estudio de criticidad en el anexo B

4.6.2 Definición del contexto operacional

La definición del contexto operacional para la cuba E-COAT se presenta en la tabla 16-4.

Tabla 16-4: Contexto operacional

RESUMEN OPERATIVO			
Nombre del equipo	Cuba E-COAT	Sistema	ELPO
Ubicación Técnica		Código del equipo	
Jerarquización del sistema	Localización	CIAUTO	
	Área	Planta de Pintura	
	Sistema	ELPO	
	Máquina	Cuba E-COAT	
Propósito del sistema	La cuba E-COAT es la encargada de realizar la cataforesis o electrodeposición catódica es un método de pintado por inmersión basado en el desplazamiento de partículas cargadas dentro de un campo eléctrico hacia el polo de signo opuesto		
Descripción de la máquina	La cuba E-COAT es la parte principal de un proceso de pintura por electrodeposición catódica de la cual dependerá la vida útil de la pintura en los vehículos		
Dispositivos de seguridad	Paro de emergencia, balizas luminosas cuando este encendido la electrodeposición, sirena de encendido de electrodeposición		
Metas de Seguridad/Ambientales/Operacionales	Seguridad: Cumplir con los estándares de seguridad para evitar el derramamiento de pintura.		
	Ambientales: evitar el derramamiento de pintura		
	Operacionales: Cumplir con control de calidad de pintura		
Planes futuros			
PERSONAL			
Turnos rotativos	3 turnos diarios.		
Operación	24 horas		
Mantenimiento	De acuerdo con el plan de mantenimiento		
DIVISIÓN DE PROCESO			
División del proceso en sistemas	Sistema eléctrico, sistema mecánico, sistema de control		
Listado de componentes en cada sistema	Estructura de la cuba Conjunto motor bomba A Conjunto motor bomba B Conjunto motor bomba C Conjunto motor bomba D Bomba Anolito Tablero de electrolisis Intercambiador de calor Electroválvula Chiller Chiller (back up) Bomba limpieza membranas Bomba lubricación sello mecánico Bomba lubricación sello mecánico (back up) Filtros de membrana		

Fuente: Ciauto, 2021


Realizado por: Freire Cazco, Darwin. 2021

La cuba E-COAT se encarga de realizar la cataforesis o electrodeposición catódica, es un método de pintado por inmersión basado en el desplazamiento de partículas cargadas dentro de un campo eléctrico hacia el polo de signo opuesto.

4.6.3 Hoja de información

La hoja de información que se presenta en la tabla 17-4, recoge los datos sobre las funciones, fallos, modos de fallo y efectos de fallo, acerca del conjunto motor-bomba.

Tabla 17-4: Hoja de información

		Sistema: Cuba E-coat		Sistema: N° 001	Facilitador: Darwin Freire	Fecha:	Hoja N°	
		Subsistema: Conjunto motor - bomba		Subsist. N°:	Auditor:	Fecha:	de	
Máquina	Función	Fallo funcional	Modo de fallo			Efecto de fallo		
			Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3			
1	Motor	A	No genera movimiento al acople motor bomba	1	Motor quemado	Cortocircuito en los bobinados del motor	Desgaste del esmalte del aislamiento	Se observa que existe una baja resistencia en los bobinados del motor cuando se realiza megado.
				2	Sobrecarga eléctrica	Deterioro de la capacidad eléctrica de cables	Calentamiento de conductores	Las temperaturas sobrepasan los estándares de funcionamiento
				3	Rodamientos atascados	Rodamientos desgastados	Lubricación inadecuada	Desgaste prematuro de rodamientos
						Eje pandeado	Desalineación en acople motor bomba	
				4	Atascamiento del rotor	Rotor desalineado	Rozamiento entre el rotor y el estator	Desgaste del rotor
		5	Bobina del motor en cortocircuito	Contaminación interna del motor	Degradación del material aislante	Pérdida del barniz que cubre el aislante de los devanados		
		B	No genera las 2900 RPM	1	El motor arranca, pero no cumple la velocidad nominal	Variador de frecuencia descalibrado		Sobrecalentamiento en Variador de frecuencia
				2	Lectura anormal de corriente y voltaje	Conexiones con mal contacto		Se observa durante el encendido que existe rozamiento entre el estator y el rotor lo que ocasiona presencia de chispas
				3	Calentamiento de rodamientos de	Desgaste de las pistas de rodadura	Lubricante inadecuado para las	Desgaste prematuro en elementos rodantes y pistas de rodadura

					lado libre y lado carga del motor		condiciones de trabajo		
				4	Aislamiento deteriorado	Falta de barniz		El motor funciona intermitentemente	
				5	Lectura anormal de corriente y voltaje de alimentación	Conexión al neutro en lugar de una de las fases		Las lecturas tomadas no concuerdan con los rangos establecidos	
2	Bomba	Recircular $200m^3$ de fluido de pintura en la cuba E-coat /h	C	No recircula los $200m^3$ de fluido de pintura en la cuba E-coat /h	1	Alta temperatura de la carcasa	Lubricante saturado		Se nota que la carcasa de la bomba está a una temperatura elevada al tacto
					2	Sobrecalentamiento en los rodamientos de la bomba	Rodamientos agarrotados	Falta de lubricación	Desgaste prematuro en elementos rodantes y pistas de rodadura
					3	Desalineamiento entre eje del motor y eje de la bomba	Elementos rotativos no balanceados		Desgaste de acoples conjunto motor bomba
					4	Vibraciones excesivas	Rozamiento entre parte rotatoria de la bomba y partes estacionarias	Desgaste prematuro en elementos rodantes y pistas de rodadura	Se escucha un ruido fuerte
							Falta de alineación		Se observa que hay pandeo
							Amortiguadores desgastados		Se nota que la bomba esta desnivelada
					5	Fugas	Empaques y retenedores desgastados		Se observa fugas
Sello mecánico deteriorado	Falta de refrigeración								
6	Ruidos anormales	Acoplamiento falso conjunto motor bomba		Ruptura o acoplamiento deteriorado					

3	Estructura de la cuba	Dar soporte a los elementos de la cuba	D	No proporciona el soporte adecuado ni tampoco contiene la pintura	1	Corrosión de la estructura	Falta de pintura anticorrosiva		Se observa un deterioro de la estructura
					2	Fugas	Desgaste de las paredes de la estructura		Se observa, que el nivel de pintura se reduce
					3	Soporte de las tuberías flojos			Se observa tuberías pandeadas o flexionadas
					4	Falta de ajuste de los rociadores			No se da un adecuado enjuague.
4	Intercambiador de calor	Conservar la temperatura de 32°C en el fluido de la cuba E-coat	E	No conserva los 32°C de temperatura en el fluido	1	Placas sucias	Falta de limpieza		No se genera el calor adecuado para el proceso, la temperatura aumenta o disminuye.
5	Electroválvula de enfriamiento y calentamiento	Abrir o cerrar el paso de pintura	F	No permite el paso de pintura	1	Elementos internos defectuosos			No se produce un control adecuado de la temperatura.
					2	Falta de accionamiento del controlador	Falta de ajuste de contactos		No se produce un control adecuado de la temperatura.
					3	Selectores de calentamiento y enfriamiento defectuosos			No se produce un control adecuado de la temperatura.
6	Controlador de temperatura	Controlar la temperatura	G	No controla la temperatura	1	Falta de calibración			No existe un adecuado control de la temperatura para el proceso.

Fuente: (Moubray, 1997)

Realizado por: Freire Cazco, Darwin. 2021

4.6.4 Consecuencias de fallo

El análisis de consecuencias de fallo se detalla en la tabla 14-4, cuyo proceso se realizó a los fallos para el conjunto motor bomba de la cuba E-COAT, para lo cual, se utilizan los códigos de fallo y modos de fallo presente en la tabla 18-4.

Tabla 18-4: Consecuencia de fallo

Cod. Fallo	Cod. Modo de fallo	Consecuencia de fallo
A	1	Oculto
	2	No operacional
	3	Operacional
	4	Operacional
	5	Operacional
B	1	No operacional
	2	No operacional
	3	No operacional
	4	No operacional
	5	No operacional
C	1	No operacional
	2	No operacional
	3	Operacional
	4	No operacional
	5	Medio ambiente y seguridad
	6	No operacional
D	1	No operacional
	2	Seguridad y medio ambiente
	3	No operacional
	4	No operacional
E	1	Operacional
F	1	Operacional
	2	Operacional
	3	Operacional
G	1	Operacional


Fuente: (Moubray, 2004)

Realizado por: Freire Cazco, Darwin, 2021

4.6.5 Hoja de decisión del RCM

La hoja decisión del RCM ayuda a determinar las actividades a realizar mediante el uso del diagrama de decisión del RCM cuyos pasos a seguir se describieron en el capítulo III. En la tabla 19-4, se presentan el resultado de este proceso.

Tabla 19-4: Hoja de decisión del RCM

			Sistema: Cuba E-COAT				Sistema: N° 001			Facilitador:				Fecha:	Hoja N°					
			Sub - sistema: Motor eléctrico A				Subsist. N°:			Auditor: Darwin Freire				Fecha:	de					
Referencia de información			Consecuencia de la evaluación				H1	H2	H3	Acción a falta de					TAREA PROPUESTA				Frecuencia Inicial	Puede ser realizado por
							S1	S2	S3											
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4								
1	A	1	S	N	N	S	N	N	N	N	N	S	Verificar el estado del aislamiento de las bobinas del motor				6 S	Eléctrico		
1	A	2	S	N	N	S	S						Análisis termográfico en los cables de alimentación de energía/Medición de parámetros eléctricos				26 S	Predictivo		
1	A	3	S	N	N	S	S						Análisis de vibraciones en rodamientos, lado libre y lado carga/Alineación				26 S	Predictivo		
1	A	4	S	S	N	S	S						Análisis de vibraciones del motor				26 S	Predictivo		
1	A	5	N	N	N	S	N	S					Barnizado y Megado				8 S	Eléctrico		
1	B	1	N	N	N	S	N	N	N	N	N	S	Calibración del variador de frecuencia				6 S	Eléctrico		
1	B	2	S	N	N	S	N	N	N	N	N	S	Ajuste de contactos eléctricos				6 S	Eléctrico		
1	B	3	S	N	N	S	N	S					Lubricación de los rodamientos				2 S	Lubricador		
1	B	4	N	N	N	S	N	S					Barnizado y Megado				2 S	Eléctrico		
1	B	5	S	N	N	N	N	N	N	N	N	S	Revisión del adecuado ajuste de la conexión del neutro				6 S	Eléctrico		
2	C	1	N	N	S	S	N	N	S				Cambio del aceite de la bomba				Annual	Lubricador		
2	C	2	N	N	N	S	N	N	S				Cambio de rodamientos				8 S	Mecánico		
2	C	3	N	N	N	S	N	S					Alineación del eje del conjunto motor bomba				16 S	Predictivo		
2	C	4	S	N	N	S	S						Análisis de vibraciones/Inspección de amortiguadores				26 S	Predictivo		
2	C	5	N	N	N	S	N	N	S				Cambio de empaques, retenedores y sello mecánico				1500 h	Mecánico		
2	C	6	N	N	N	S	S						Inspección del estado del acoplamiento				8 S	Mecánico		
3	D	1	N	N	S	N	N	S					Pintura de la estructura y sus elementos de la cuba				8 S	Mecánico		
3	D	2	N	N	S	N	S						Inspección de fugas.				2 S	Mecánico		
3	D	3	N	S	N	N	N	N	N	N	N	S	Ajuste de soportes				2 M	Mecánico		
3	D	4	N	N	N	S	N	N	N	N	N	S	Ajuste de los rociadores/Alineación				M	Mecánico		

4	E	1	N	N	N	S	N	N	N	N	N	S	Limpieza de las placas del intercambiador	2 S	Mecánico
5	F	1	S	N	N	S	N	N	N	N	N	S	Inspección y limpieza de los elementos internos	3 S	Mecánico
5	F	2	S	N	N	S	N	N	N	N	N	S	Ajuste de contactos de la Servoválvula/Calibración	2 S	Mecánico
5	F	3	N	N	N	S	N	N	N	N	N	S	Comprobar el estado de funcionamiento de los selectores	2 S	Mecánico
6	G	1	N	N	N	S	N	N	N	N	N	S	Calibración del controlador de temperatura y pruebas de funcionamiento	2 S	Mecánico

Fuente: (Moubray, 2004)

Elaborado por: Freire Cazco Darwin, 2021

CONCLUSIONES

El proceso ELPO del área de pintura en la empresa CIAUTO, presenta el mayor número de equipos rotatorios, eléctricos su función es entregar la carrocería del vehículo con el acabado superficial de calidad, los activos presentes necesitan de un riguroso plan de mantenimiento.

El proceso PMO se realizó en diez cubas que obtuvieron un nivel semi crítico, la recopilación de información de tareas, obtuvieron la consecuencia no operacional que implica costos de mantenimiento, realizando un análisis de los modos de fallo que atacan a las tareas obtenidas inicialmente.

La metodología del RCM fue aplicada a la cuba E-COAT por ser la más crítica del proceso ELPO, se desarrolló la definición de funciones y estándares de funcionamiento, fallos funcionales y parciales, modos y efectos de fallo, la información fue recolectada en un formato, se determinaron las consecuencias, que sirve para determinar las acciones de mantenimiento.

El plan de mantenimiento obtenido mediante la metodología del RCM fue aplicado a la cuba E-COAT, mientras que, para el resto de las cubas que obtuvieron un valor de semi crítico se desarrolló, sus respectivos planes de mantenimiento se obtuvieron a través de la metodología PMO

RECOMENDACIONES

Dar seguimiento a las tareas obtenidas mediante las dos metodologías aplicadas, para observar la eficiencia de las tareas.

Desarrollar indicadores que ayuden al control de las tareas de mantenimiento obtenidas.

Realizar una revisión periódica de los modos de fallo establecidos en el proceso del PMO, para incluir nuevos si los hubiera.

GLOSARIO

ELPO	Conjunto de piscinas donde se sumerge la carrocería para limpieza, procesos de pintado por inmersión, tratamiento anticorrosivo, procesos totalmente automatizados
E-COAT	Parte del elpo, procesos de cataforesis en el cual las cargas positivas y negativas se desplazan en un rango de posición

BIBLIOGRAFÍA

Bucay Valdiviezo, Juan Carlos y Carillo Albán, Marjorie Elizabeth. Optimización de la gestión de mantenimiento basado en la disponibilidad operacional de equipos en la planta pintura de la empresa CIAUTO Ambato - Ecuador. Riobamba : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2018.

García, Oliverio. El Sistema PMO: Optimización Real del Mantenimiento Planeado. Bogotá: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2011, págs. 2-18.

ISO 14224. *Gestión de los datos de mantenimiento.* 2016.

Marsan, Grupo. Cataforesis -Grupo Marsan. [En línea] 2019. [Citado el: 11 de julio de 2019.] <https://www.grupomarsan.com/servicios/tratamientos-superficial/cataforesis/>.

Moubray, John. *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II.* Madrid: Aladon Ltd., 2004.

Moubray, John. *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.* New York -Estados Unidos: Industrial Pres Inc., 1997.

OMCS Latín América. PMO - Optimización del Plan de Mantenimiento. [En línea] 2010. [Citado el: 20 de junio de 2020.] <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/pmo-optimizacion-de-mantenimiento>.

Palencia García, Oliverio. Optimización Real del Mantenimiento Planeado. Santiago de Chile: s.n., 2007, págs. 13-14.

Parra Márquez, Carlos Alberto y Crespo Márquez, Adolfo *Técnicas de Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicadas en el proceso de Gestión de Activos.* Sevilla: s.n., 2012.

Pinzón, Alexander. Diseño de un plan de gestión para el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para el centro de generación eléctrica a base de gas de la empresa COPOWER Ltda. Bucaramanga: Universidad de Santander, 2011.

Prieto Gracia, Carlos. *Fiabilidad, Mantenibilidad y Mantenimiento.* Sevilla: Universidad de Sevilla, 2008.

Rea, Rogelio, y otros. Metodología para realizar análisis de mantenimiento basado en confiabilidad en centrales hidroeléctricas. Cuernavaca: s.n., 2012, págs. 143 - 149.

SAE-JA-1011. *Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.* 1999. págs. 2-10.

SAE-JA-1012. *Guía para el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC).* USA: s.n., 2002. pág. 5.

Sexto, Luis. Tipos de mantenimiento ¿Cuántos y Cuáles son? Italia: No coma cuento, coma carne, 2017, Vol. 9, págs. 40-46.

UNE EN 13306. *Terminología del Mantenimiento.* Madrid, España: AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación, 2018. págs. 5-31.

Tabla B.7 — Equipos mecánicos — Modos de falla

Código de modo de falla	Descripción	Código de clase de equipo Ejemplos	CR	HE	HB	PI	VE	WI	TU	SW	TA
			Grúas	Intercambiadores de calor	Calefactores y calderas	Tuberías	Tanques de presión	Tornos	Torretas	Uniones giratorias	Tanques de almacenamiento
AIR	Lectura anormal en instrumento	Falsa alarma, indicación errónea en instrumento	X	X	X	X	X	X	X	X	X
BRD	Parada	Parada	X			X		X			
ELP	Fuga externa - medio del proceso	Aceite, gas, condensado, agua		X	X	X	X			X	X
ELU	Fuga externa - medio de suministro	Lubricante, aceite de enfriamiento, aceite de barrera	X	X	X	X	X	X		X	X
FCO	Falla de conexión	Falla de conexión							X	X	
IHT	Transferencia de calor insuficiente	Falta o insuficiencia de transferencia de calor			X						
		Sistema de calefacción/enfriamiento por debajo del nivel aceptado		X			X				X
INL	Fuga interna	Fuga interna de fluidos de proceso o suministro	X	X	X	X				X	X
FLP	Falla en sistema de protección contra rayos	Falla de puesta a tierra, espesor insuficiente de techo, etc.									X
FRO	Falla de rotación	Falla de rotación	X					X	X	X	
FTD	Falla en desconexión	Falla en desconexión de conector superior							X		
FTI	Falla de funcionamiento	Falla operacional general	X						X	X	
FTS	Falla en el arranque bajo demanda	Falla en el arranque bajo demanda	X					X			
LBP	Baja presión de suministro de aceite	Baja presión de suministro de aceite								X	
LOA	Reducción de carga	Reducción de carga	X					X			
LOB	Pérdida de flotación	Pérdida de flotación en posición de espera							X		X
LOO	Baja producción	Rendimiento por debajo de especificaciones						X			
MOF	Falla de anclaje	Falla de anclaje							X		
NOI	Ruido	Ruido excesivo	X			X		X	X		
OHE	Sobrecalentamiento	Sobrecalentamiento	X		X	X		X			
OTH	Otro	Modos de falla no cubiertos anteriormente	X	X	X	X	X	X	X	X	X
PDE	Desviación de parámetros	Parámetro monitoreado excede los límites, p.ej. alarma alto/bajo	X	X	X	X	X	X	X	X	X
PLU	Taponamiento/atascamiento	Restricción de flujo debido a contaminación, objetos, cera, etc.		X	X	X	X			X	X
PTF	Falla de transmisión de potencia/señal	Falla de transmisión de potencia/señal				X				X	

Código de modo de falla	Descripción	Código de clase de equipo Ejemplos	CR	HE	HB	PI	VE	WI	TU	SW	TA
			Grúas	Intercambiadores de calor	Calefactores y calderas	Tuberías	Tanques de presión	Tornos	Torretas	Uniones giratorias	Tanques de almacenamiento
SBU	Acumulación de lodo	Acumulación de lodo					X				X
SER	Problemas menores en servicio	Ítems sueltos, descoloración, suciedad	X	X	X	X	X	X	X	X	X
SLP	Deslizamiento	Deslizamiento de cable	X					X			
SPO	Operación espuria	Operación inesperada	X					X			
STD	Deficiencia estructural	Daños materiales (grietas, desgaste, fracturas, corrosión)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
STP	Falla en detención bajo	Falla en detención bajo demanda						X			
UNK	Desconocido	Información insuficiente para definir modo de falla	X	X	X	X	X	X	X	X	X
VIB	Vibración	Vibración excesiva	X			X		X			

Tabla B.8 — Equipos Eléctricos — Modos de falla

Código de modo de falla	Descripción	Ejemplos	Código de clase de			
			UP Suministro de potencia ininter-rumpible	PT Transformadores de potencia	FC Convertidores de frecuencia	SG Commutadores
AIR	Lectura anormal en instrumento	Error en nivel de aceite, falsa alarma, indicación errónea en instrumento		X	X	
BRD	Parada	Daños graves			X	
DOP	Operación retrasada	Retraso en respuesta a comandos			X	
ELU	Fuga externa - medio de suministro	Fuga de aceite, lubricante, agua de enfriamiento		X	X	X
ERO	Producción errática	Oscilación, variación, inestabilidad	X		X	
FOF	Error en frecuencia de salida	Frecuencia equivocada/oscilante	X			
FOV	Error en voltaje de salida	Voltaje de salida equivocado/oscilante	X	X		
FTC	Falla en cierre bajo demanda	El disyuntor de circuito/fusible de conmutación/desconector/bus tie no cierra bajo demanda				X
FTF	Falla en funcionamiento bajo demanda	No arranca bajo demanda, o no responde tras la activación/señal, o no responde a comandos de entrada Función auxiliar, subsistema o dispositivo de monitoreo o control no opera	X	X	X	
FTI	Falla de funcionamiento previsto	Respuesta inesperada Dispositivo de protección / disyuntor de circuito / interruptor no resuelve una falla en el circuito			X	X
FTO	Falla en abrir bajo demanda	Disyuntor de circuito/fusible conmutador/desconector/bus tie no abre bajo demanda				X
FTR	Falla de regulación	No controla la carga, mala respuesta a retroalimentación			X	
HIO	Alta producción	Exceso de velocidad/ producción sobre nivel aceptado			X	
INL	Fuga interna	Oil leakage, Leakage internally process or utility fluids		X	X	
LOO	Baja producción	Rendimiento/producción menor del nivel aceptado			X	
NOI	Ruido	Ruido anormal				X
OHE	Sobrecalentamiento	Piezas de la máquina, escape, agua de enfriamiento	X	X	X	
OHE	Sobrecalentamiento	Temperatura interna demasiado alta				X
OTH	Otro	Modos de falla no cubiertas anteriormente	X	X	X	X
PDE	Desviación de parámetros	Parámetro monitoreado excede los límites, p.ej, alarma alto/bajo	X	X	X	
PLU	Taponamiento/atascamiento	Tuberías obstruidas		X		

Código de modo de falla	Descripción	Ejemplos	Código de clase de			
			UP Suministro de potencia ininter-rumpible	PT Transformadores de potencia	FC Convertidores de frecuencia	SG Commutadores
SER	Problemas menores en servicio	Ítems sueltos, descoloración, suciedad	X	X	X	
SPO	Operación espuria	Desconexión intermitente u operación no intencionada. Operación inesperada	X		X	X
STD	Deficiencia estructural	Ruptura de tanque		X		
UNK	Desconocido	Información insuficiente para definir modo de falla	X	X	X	X
UST	Parada espuria	Parada inesperada Desconexión no intencionada de un circuito			X	
VIB	Vibración	Vibración anormal				X

Tabla B.9 — Equipos de seguridad y control — Modos de falla

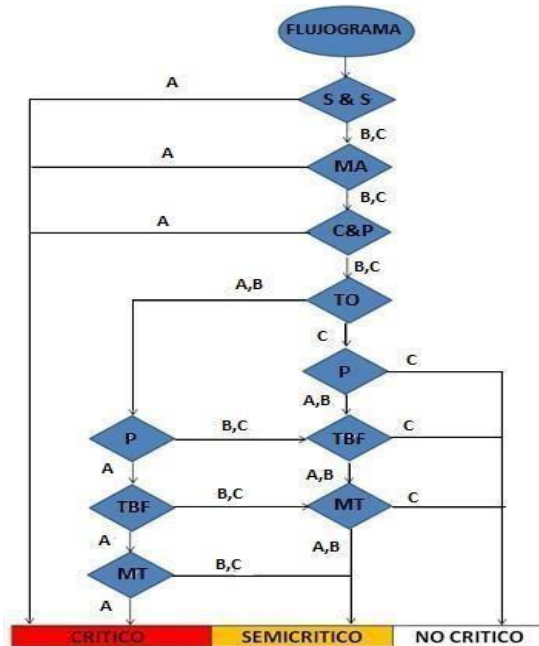
Código de modo de falla	Descripción	Ejemplos	Código de clase de equipo						
			FGA Detección de incendio	FGE Detección de gas	IP Dispositivos de entrada	CL Unidades de lógica de control	VA Válvulas	NO Boquillas	LB Botes Salvavidas
AIR	Lectura anormal en instrumento	Falsa alarma, indicación errónea en instrumento					X		X
BRD	Parada	Parada, daño grave (agarrotamiento, rotura) y/o fuga importante de fluido de proceso							X
DOP	Operación retrasada	Tiempo de abertura/cierre no cumple con especificaciones					X	X	X
ELP	Fuga externa - medio del proceso	Aceite, gas, condensado, agua			X		X		
ELU	Fuga externa - medio de suministro	Aceite hidráulico, aceite de lubricación, aceite de barrera, refrigerante, agua, etc.			X		X		X
ERO	Producción errática	Oscilación, variación, inestabilidad	X	X	X	X			
FTC	Falla en cierre bajo demanda	No cierra bajo demanda					X		
FTF	Falla en funcionamiento bajo demanda	No responde tras señal/activación	X	X	X	X			X
FTO	Falla en abrir bajo demanda	No abre bajo demanda, bloqueado en posición cerrada o no abre completamente					X	X	
FTS	Falla en el arranque bajo demanda	No arranca bajo demanda							X
HIO	Alta producción	Exceso de velocidad/ producción sobre nivel aceptado	X	X	X	X	X		
INL	Fuga interna	Fuga interna de fluidos de proceso o suministro					X		X
LCP	Fuga en posición cerrada	Fuga a través de la válvula en posición cerrada					X		
LOA	Reducción de carga	Descenso/lanzamiento no intencionado de bote salvavidas							X
LOO	Baja producción	Rendimiento/producción menor del nivel aceptado	X	X	X	X	X		X
NOI	Ruido	Ruido anormal o excesivo					X		X
NOO	Sin producción	Sin producción	X	X	X				
OHE	Sobrecalentamiento	Piezas de la máquina, escape, agua de enfriamiento, etc.							X
OTH	Otro	Modos de falla no cubiertas anteriormente	X	X	X		X	X	X
PLU	Taponamiento/ atascamiento	Restricción parcial o total del flujo					X	X	


Código de modo de falla	Descripción	Ejemplos	Código de clase de equipo						
			FGA Detección de incendio	FGE Detección de gas	IP Dispositivos de entrada	CL Unidades de lógica de control	VA Válvulas	NO Boquillas	LB Botes Salvavidas
POW	Potencia insuficiente	Falta de potencia o potencia demasiado baja							X
PTF	Falla de transmisión de potencia/señal	Falla de transmisión de potencia/señal							X
SER	Problemas menores en servicio	Items sueltos, descoloración, suciedad	X		X	X	X	X	X
SHH	Alarma espuria de alto nivel	ej. 60 % de Límite Inferior de Explosión (LEL)	X	X					
SLL	Alarma espuria de bajo nivel	ej. 20 % de Límite Inferior de Explosión (LEL)	X	X					
SLP	Deslizamiento	Deslizamiento de cable							X
SPO	Operación espuria	ej. falsa alarma	X	X	X	X			
		Abertura indeseada						X	
		No opera bajo demanda, falsa alarma, cierre/detención premadura, operación inesperada / no opera según demanda					X		X
STD	Deficiencia estructural	Daños materiales (grietas, desgaste, fracturas, corrosión), reducidos					X	X	X
STP	Falla en detención bajo	No se detiene bajo demanda							X
UNK	Desconocido	Información insuficiente para definir modo de falla	X	X	X	X	X		X
UST	Parada espuria	Parada inesperada							X

Anexo B: Criticidad elpo



MATRIZ DE CRITICIDAD			
CAUSAS DE PARADAS NO PLANEADAS			
ÁREA DE IMPACTO	A RIESGO ALTO	B RIESGO MEDIO	C RIESGO BAJO
Seguridad & Salud (S&S)	Alto riesgo de vida del personal	Riesgo de vida significativa de personal	No existe riesgo ni de salud ni de daños al personal

	Daños graves en la salud del personal	Daños menores en la salud del personal	
Medio Ambiente (MA)	Alto excedente de los límites permitidos de derrames y fugas	Excedente de los límites permitidos y repetitivos de derrames y fugas	Emisiones normales de la planta dentro de los límites permitidos
Calidad y Productividad C&P)	Defectos de producción	Variaciones en las especificaciones de calidad y producción	Sin efectos
	Reducción de velocidad		
	Reducción de producción		
Producción (P)	Parada de todo el proceso	Parada de una parte del proceso	Sin efectos
OPERACIÓN DE EQUIPOS			
ÁREA DE IMPACTO	A RIESGO ALTO	B RIESGO MEDIO	C RIESGO BAJO
Tiempos de Operación (TO)	24 horas al día	2 turnos 8 horas normales de trabajo	Ocasionalmente o no es un equipo de producción
Intervalos entre actividades (TBF)	Menos de 6 meses	En promedio una vez al año	Raramente
Tiempos y costos de mantenimiento (MT)	Tiempo y/o costos de reparación altos	Tiempo y/o costos de reparación razonables	Tiempo y/o costos de reparación irrelevantes




 LISTADO DE MAQUINARIA PLANTA PINTURA		GESTIÓN DE MANTENIMIENTO								
		ANÁLISIS DE CRITICIDAD		TESISTA	Darwin Freire					
CRITICIDAD GENERAL		ORGANIGRAMA DE DECISIONES							CRITICIDAD	OBSERVACIONES
ÍTEM	MÁQUINA	S&S	MA	C&P	P	TO	TMF	MT		
1	CUBA 1 DESENGRASE POR ASPERSIÓN	C	C	C	C	A	C	C	●	
2	CUBA 2 DESENGRASE POR INMERSIÓN	C	C	C	B	C	B	B	●	
3	CUBA 3 ENJUAGUE DESENGRASE INMERSIÓN	C	B	B	C	B	C	C	●	
4	CUBA 4 ACTIVACIÓN SUSTRATO INMERSIÓN	C	C	C	C	C	C	C	●	
5	CUBA 5 PASIVADO DEL FOSFATO	C	C	C	B	B	C	B	●	
6	CUBA 6 ENJUAGUE FOSFATO INMERSIÓN	C	C	C	C	C	C	C	●	
7	CUBA 7 AGUA DE INMERSIÓN	C	C	C	C	C	C	C	●	
8	CUBA E-COAT	C	A	A	C	A	C	B	●	
9	CUBA 8 ENJUAGUE PERMEATO UF#1	C	C	B	C	C	C	C	●	
10	CUBA 10 ENJUAGUE PERMEATO UF#2	C	C	C	C	B	B	C	●	
11	CUBA 11 ENJUAGUE DE AGUA	C	C	C	B	C	C	C	●	

Anexo C: Formato hoja de vida de maquinaria.

						
[Redacted Title]						
	[Redacted Description]					
	<table border="1" style="width: 100%; height: 20px;"> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> </table>					
[Redacted Section Header]						

Anexo D: Programación de mantenimiento


		Código:			
		Versión:			
		Fecha Emisión:			
RESPONSABLE:					
N°	ACTIVIDADES	MÁQUINA	FRECUENCIA	FIRMA CUMPLIMIENTO	OBSERVACIONES

1	Lubricación de rodamientos del conjunto motor bomba	CUBA 1 DESENGRA SE POR ASPERSIÓN	8 S		
2	Cambio de aceite y revisión del estado de los amortiguadores del conjunto motor bomba		16 S		
3	Termografía, alineación y análisis de vibraciones		16 S		
4	Cambio de rodamientos, empaques y retenedores de la bomba. Barnizado y megado del bobinado del motor		8000 h		
5	Inspección del estado del sello, empaques y retenedores de la bomba		9 S		
6	Limpieza y pintura del conjunto motor bomba		Anual		
7	Ajuste de borneras del motor		13 S		
8	Limpieza y pintura de la cuba y cambio de juntas flexibles		Anual		
9	Inspección del estado de la estructura de la cuba, tuberías de recirculación, tuberías de los rociadores y tuberías de calentamiento		9 S		
10	Limpieza y alineación de rociadores		5 S		
11	Reajuste de elementos de fijación de la cuba		12 S		
12	Limpieza de los intercambiadores		26 S		
13	Inspección de elementos internos. Calibración y pruebas de funcionamiento. Limpieza integral de la electroválvula		11 S		
14	Inspección del estado. Calibración y pruebas de funcionamiento. Limpieza del controlador de temperatura		1 S		
15	Verificar el funcionamiento de botoneras y luz piloto		6 S		

16	Inspección del estado de los conductores. Medición de parámetros eléctrico (voltaje, amperaje). Ajuste de borneras y contactos		12 S		
17	Inspección del estado, limpieza, pruebas de funcionamiento y ajuste de borneras y contactos		15 S		
18	Inspección del estado, limpieza, pruebas de funcionamiento y ajuste de borneras y contactos		3 S		
19	Verificar el estado del aislamiento de las bobinas del motor	CUBA E-COAT	6 S		
20	Análisis termográfico en los cables de alimentación de energía/Medición de parámetros eléctricos		26 S		
21	Análisis de vibraciones en rodamientos, lado libre y lado carga/Alineación		26 S		
22	Análisis de vibraciones del motor		26 S		
23	Barnizado y Megado		8 S		
24	Calibración del variador de frecuencia		6 S		
25	Ajuste de contactos eléctricos		6 S		
26	Lubricación de los rodamientos		2 S		
27	Barnizado y Megado		2 S		
28	Revisión del adecuado ajuste de la conexión del neutro		6 S		
29	Cambio del aceite de la bomba		Annual		
30	Cambio de rodamientos		8 S		

31	Alineación del eje del conjunto motor bomba		16 S		
31	Análisis de vibraciones/Inspección de amortiguadores		26 S		
33	Cambio de empaques, retenedores y sello mecánico		1500 h		
34	Inspección del estado del acoplamiento		8 S		
35	Pintura de la estructura y sus elementos de la cuba		8 S		
36	Inspección de fugas.		2 S		
37	Ajuste de soportes		2 M		
38	Ajuste de los rociadores/Alineación		M		
39	Limpieza de las placas del intercambiador		2 S		
40	Inspección y limpieza de los elementos internos		3 S		
41	Ajuste de contactos de la Servoválvula/Calibración		2 S		
42	Comprobar el estado de funcionamiento de los selectores		2 S		
43	Calibración del controlador de temperatura y pruebas de funcionamiento		2 S		

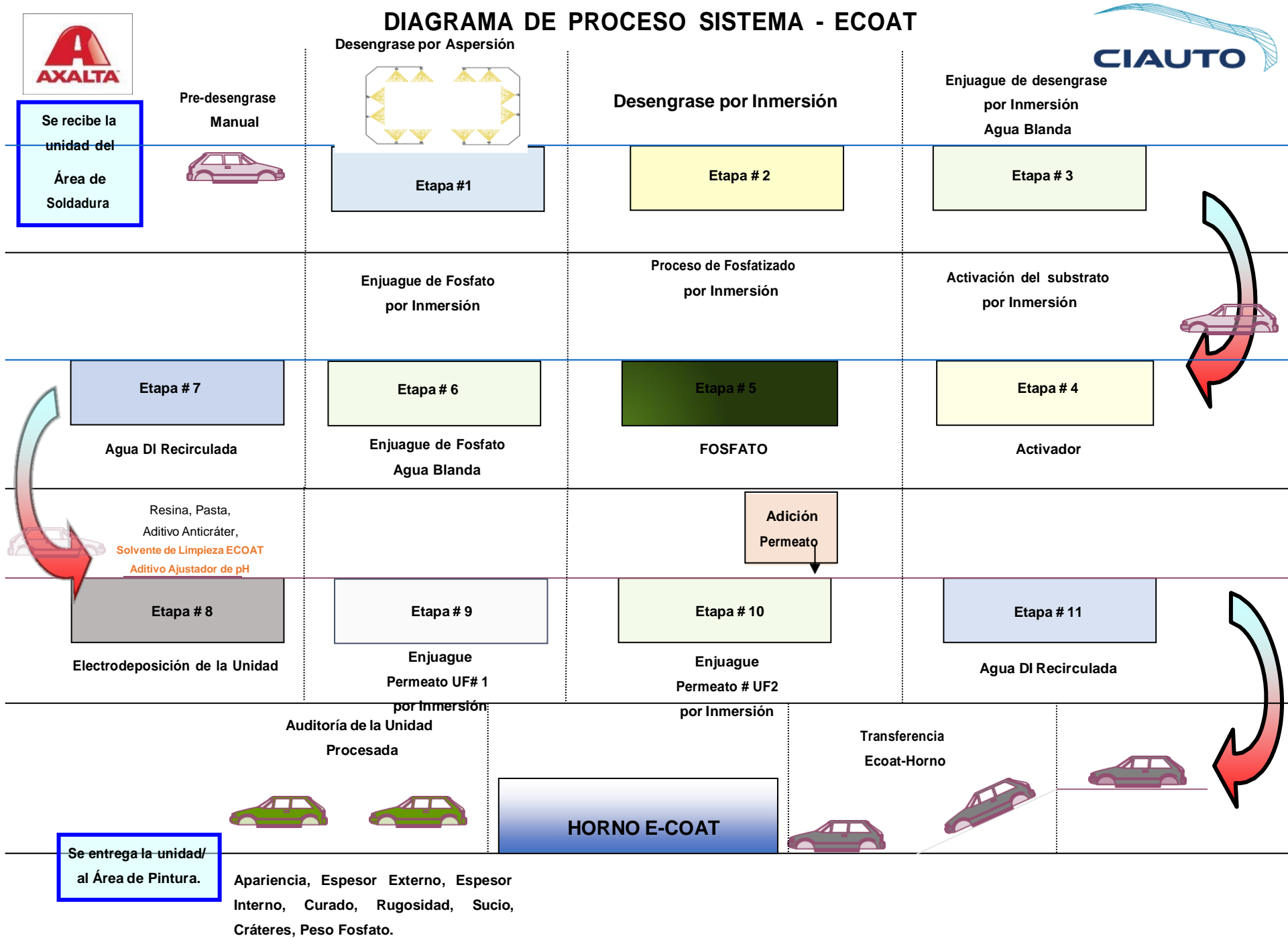
Anexo E: Plan de mantenimiento año 2018.

		REGISTRO DE ACTIVIDADES PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO			Código:	SOP-04-FR-06						
					Versión:	00						
RESPONSABLE:		PERSONAL TÉCNICO DE MANTENIMIENTO PINTURA		SEMANA NUMERO:		20						
SOP-04 GESTIÓN DE MANTENIMIENTO				Fecha Emisión:		2013-11-18						
Nº	ACTIVIDADES	MÁQUINA	ESTADO	TIE MP O	SEMANA					FIRMA CUMPLIMI ENTO	OBSERVACIONES	
					L	M	I	J	V	S		
1	Revisar fugas de agua en las tuberías de los aspersores	CUBA 1 DESENGRA SE POR ASPERSIÓN	P	0,2								
2	Verificar temperatura de rodamientos (bomba y motor) y sello mecánico		P	0,1								
3	Inspección termográfica del conjunto bomba-motor		P/F	0,1								
4	Revisar ruidos y vibraciones en el cuerpo de rodamientos, acoplamiento bomba y motor de accionamiento (reemplazar rodamientos y alinear de ser necesario)		P	0,2								
5	Verificar el nivel de aceite en el cuerpo de rodamientos (completar de ser necesario)		P	0,1								
6	Verificar consumo de amperaje y voltaje		P/F	0,2								
7	Revisar fugas de agua en las tuberías de los aspersores	CUBA 2 DESENGRA SE POR SUMERSIÓN	P	0,2								
8	Verificar el funcionamiento correcto de las válvulas de paso para el intercambiador de calor		P/F	0,1								
9	Verificar niveles de líquido en el tanque de desengrase		P/F	0,1								
10	Inspección termográfica del conjunto bomba-motor		P/F	0,1								
11	Verificar temperatura de rodamientos (bomba y motor) y sello mecánico		P	0,1								
12	Revisar ruidos y vibraciones en el cuerpo de rodamientos, acoplamiento bomba y motor de accionamiento (reemplazar rodamientos y alinear de ser necesario)		P	0,2								
13	Verificar el nivel de aceite en el cuerpo de rodamientos (completar de ser necesario)		P	0,1								

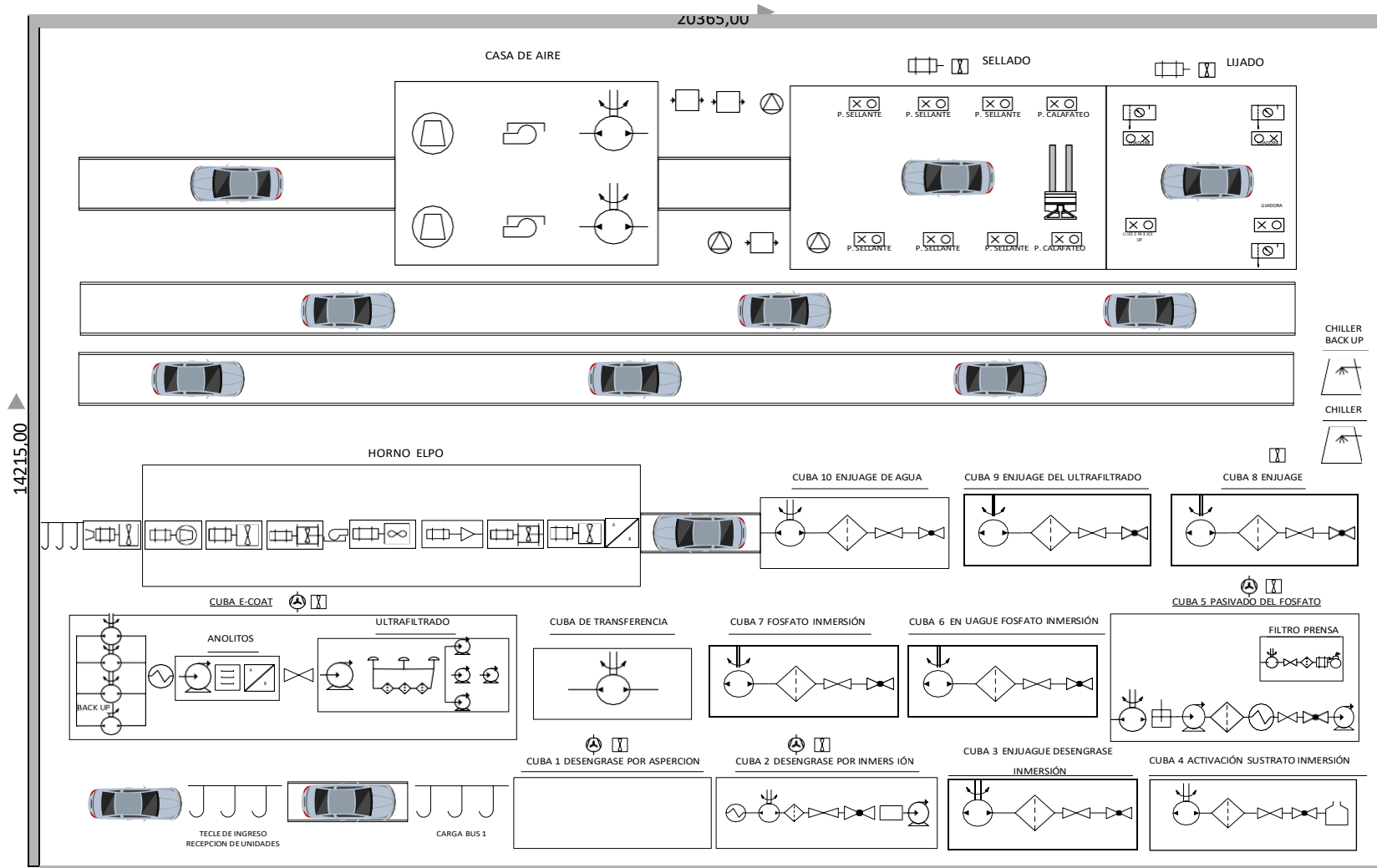
Anexo F: Modelo de ficha técnica y hoja check list.

	FICHA TÉCNICA MAQUINARIA CIAUTO		Código: SOP-04-OTR-02
			Versión: 02
SOP-04 GESTIÓN DE MANTENIMIENTO		Fecha Emisión: 2013-11-13	
BOMBA CENTRIFUGA B4-CUBA 4 ACTIVACIÓN SUBSTRATO INMERSIÓN	ESPECIFICACIONES	NOVEDADES	
	MOTOR		
	MODELO	YE2-160M1-2	
	NÚMERO DE SERIE	003 RT	
	STD. No.	JB/T8680-2008	
	FABRICANTE	Jiangsu Dazhong Electric Motors Co.	
	PERIODO DE INSTALACIÓN		
	Desde	1/04/2015	
	Hasta	1/12/2015	
	SISTEMA ELÉCTRICO MOTOR		
	Potencia	11 KW	
	Frecuencia	60 Hz	
	RPM	3530 RPM	
	VOLTAJE	380 V AC	
	AMPERAJE	20,8 A	
	COS (Θ)	0,89	
	IP	55	
	PESO	119 Kg	
	CONEXIÓN	Δ	
	RENDIMIENTO	90,20%	
	AÑO DE FABRICACIÓN	2015	
	ESTADO DE LA MAQUIN	OPERATIVO	
	TIEMPO DE VIDA ÚTIL	10 AÑOS	
	UBICACIÓN	PLANTA DE PINTURA	
	PROCEDENCIA	CHINA	
	BOMBA CENTRÍFUGA		
	MODELO	CYIH100-80-125	
	NÚMERO DE SERIE	2015214	
	STD. No.	JB/T10563-2006	
FABRICANTE	Jiangsu Xintai Pump & Valve Manufacturing Co.		
SISTEMA MECÁNICO			
POTENCIA	11 KW		
ALCANCE	20 m		
VELOCIDAD	2900 RPM		
CAPACIDAD	100 m3/h		
AÑO DE FABRICACIÓN	2015		
ESTADO DE LA MAQUIN	OPERATIVO		
TIEMPO DE VIDA ÚTIL	10 AÑOS		
UBICACIÓN	PLANTA DE PINTURA		
PROCEDENCIA	CHINA		

Anexo G: Diagrama de proceso

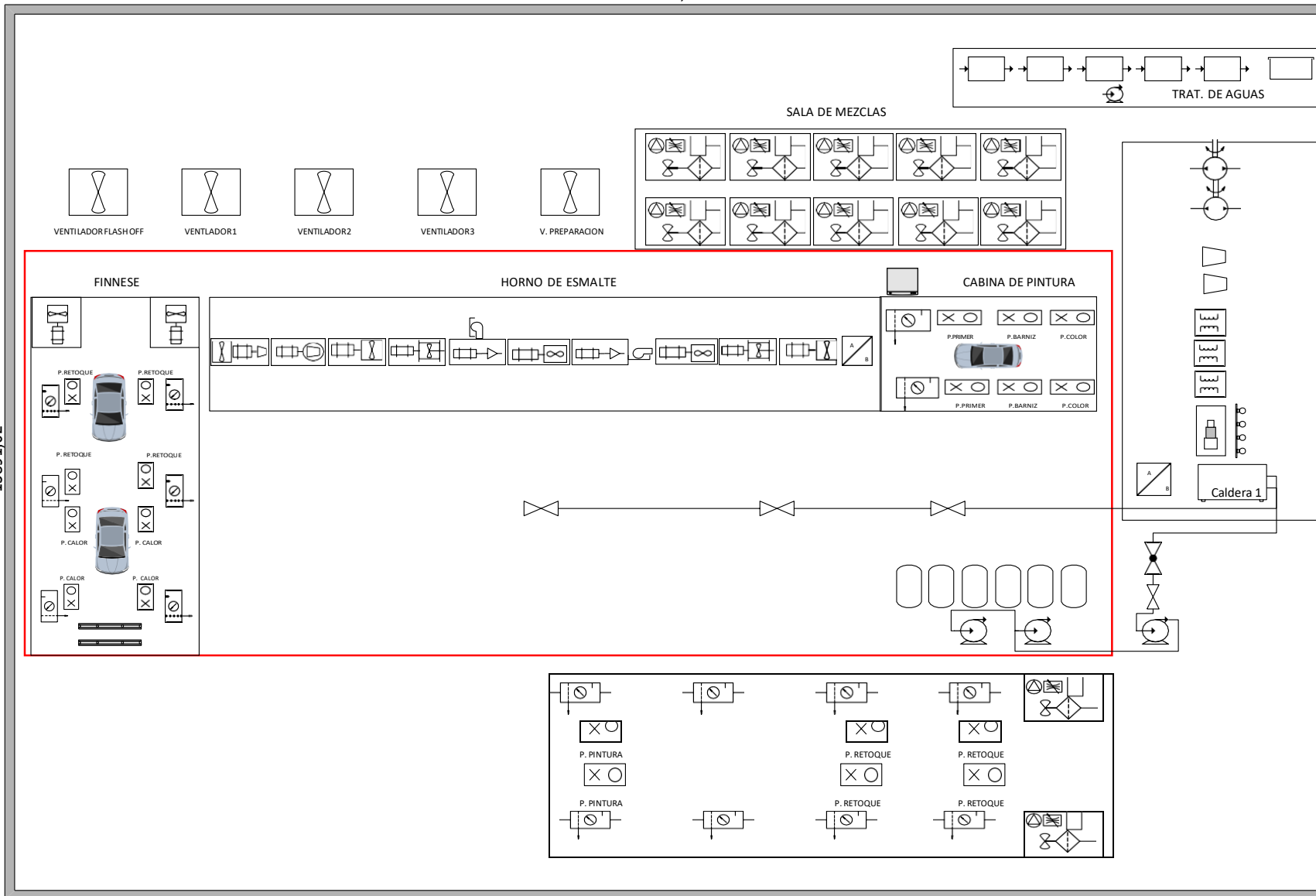


Anexo H: Esquema de distribución de planta pintura.




19782,50

13891,02



Anexo I: Inventario proceso elpo


				INVENTARIO ELPO				
				Realizado por:		Fecha de emisión		
				Aprobado por:		Fecha de aprobación		
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	SUBSISTEMA	Nivel 5	COMPONENTES	CODIGO NORMA ISO 14224	
CI	PP	EL	C00					
CIAUTO CIA. LTDA.	PLANTA PINTURA	ELPO	CUBAS	C1	CUBA 1 DESENGRASE POR ASPERSIÓN	CU01	CUBA 1 (ESTRUCTURA)	CI-PP-EL-C1-CU01
						MO01	MOTOR TRIFÁSICO DE BOMBA DE RECIRCULACIÓN	CI-PP-EL-C1-MO01
						BO01	BOMBA DE RECIRCULACIÓN	CI-PP-EL-C1-BO01
						SER01	SERVOVÁLVULA RECIRCULACIÓN DE	CI-PP-EL-C1-SER01
						SEC01	SERVOVÁLVULA CALENTAMIENTO DE	CI-PP-EL-C1-SEC01
						EL01	ELECTROVÁLVULA ASPERSIÓN DE	CI-PP-EL-C1-EL01
						INC01	INTERCAMBIADOR DE CALOR	CI-PP-EL-C1-INC01
						COT01	CONTROLADOR TEMPERATURA DE	CI-PP-EL-C1-COT01
						CU02	CUBA 3 (ESTRUCTURA)	CI-PP-EL-C2-CU02
						MO02	MOTOR TRIFÁSICO DE BOMBA DE RECIRCULACIÓN	CI-PP-EL-C2-MO02
				BO02	BOMBA DE RECIRCULACIÓN	CI-PP-EL-C2-BO02		
				SER02	SERVOVÁLVULA RECIRCULACIÓN DE	CI-PP-EL-C2-SER02		
				SEC02	SERVOVÁLVULA CALENTAMIENTO DE	CI-PP-EL-C2-SEC02		
				EL02	ELECTROVÁLVULA ASPERSIÓN DE	CI-PP-EL-C2-EL02		
				INC02	INTERCAMBIADOR DE CALOR	CI-PP-EL-C2-INC02		
				COT02	CONTROLADOR TEMPERATURA DE	CI-PP-EL-C2-COT02		
				MOP02	DESENGRASE: MOTOR DE PALETAS	CI-PP-EL-C2-MOP02		
				BOP02	DESENGRASE: BOMBA CENTRÍFUGA	CI-PP-EL-C2-BOP02		
				DNI02	DESENGRASE: NIQUELINA	CI-PP-EL-C2-DNI02		
				DAG01	DESENGRASE: AGITADOR	CI-PP-EL-C2-DGA01		
				CU03	CUBA 4 (ESTRUCTURA)	CI-PP-EL-C3-CU03		
				MO03	MOTOR TRIFÁSICO DE BOMBA DE RECIRCULACIÓN	CI-PP-EL-C3-MO03		
				BO03	BOMBA DE RECIRCULACIÓN	CI-PP-EL-C3-BO03		
				SER03	SERVOVÁLVULA RECIRCULACIÓN DE	CI-PP-EL-C3-SER03		
				EL03	ELECTROVÁLVULA ASPERSIÓN DE	CI-PP-EL-C3-EL03		

C4	CUBA 4 ACTIVACIÓN SUBSTRATO INMERSIÓN	CU04	CUBA 2 (ESTRUCTURA)	CI-PP-EL-C4-CU04
		MO04	MOTOR TRIFASICO DE BOMBA DE RECIRCULACIÓN	CI-PP-EL-C4MO04
		BO04	BOMBA DE RECIRCULACIÓN	CI-PP-EL-C4-BO04
		SER04	SERVOVÁLVULA DE RECIRCULACIÓN	CI-PP-EL-C4-SER04
		EL04	ELECTROVALVULA DE ASPERSIÓN	CI-PP-EL-C4-EL04
		MX04	MIXER	CI-PP-EL-C4MX04
C5	CUBA 5 PASIVADO DE FOSFATO	CU05	CUBA 5 (ESTRUCTURA)	CI-PP-EL-C5-CU05
		MO05	MOTOR TRIFASICO DE BOMBA DE RECIRCULACIÓN	CI-PP-EL-C5-MO05
		BO05	BOMBA DE RECIRCULACIÓN	CI-PP-EL-C5BO05
		SER05	SERVOVÁLVULA DE RECIRCULACIÓN	CI-PP-EL-C5-SER05
		SEC04	SERVOVÁLVULA DE CALENTAMIENTO	CI-PP-EL-C5-SEC05
		EL05	ELECTROVALVULA DE ASPERSIÓN	CI-PP-EL-C5-EL05
		INC05	INTERCAMBIADOR DE CALOR	CI-PP-EL-C5-INC05
		COT05	CONTROLADOR DE TEMPERATURA	CI-PP-EL-C5-COT05
		BOL05	BOMBA CENTRIFUGA (LIMPIEZA DEL INTERCAMBIADOR)	CI-PP-EL-C5-BOL05
		FPM01	FILTRO PRENSA: MOTOR BOMBA	CI-PP-EL-C5-FPM01
		FPE05	FILTRO PRENSA: ELECTROVÁLVULA	CI-PP-EL-C5-FPE05
		FPF05	FILTRO PRENSA: FILTRO	CI-PP-EL-C5-FPF05
		FPR01	FILTRO PRENSA: MOTOR REDUCTOR	CI-PP-EL-C5-FPR01
		FPB05	FILTRO PRENSA: BOMBA HIDRÁULICA	CI-PP-EL-C5-FPB05
C6	CUBA 6 ENJUAGUE FOSFATO INMERSIÓN	CU06	CUBA 6 (ESTRUCTURA)	CI-PP-EL-C6-CU06
		MO06	MOTOR TRIFASICO DE BOMBA DE RECIRCULACIÓN	CI-PP-EL-C6-MO06
		BO06	BOMBA DE RECIRCULACIÓN	CI-PP-EL-C6-BO06
		SER06	SERVOVÁLVULA DE RECIRCULACIÓN	CI-PP-EL-C6-SER06
		EL06	ELECTROVALVULA DE ASPERSIÓN	CI-PP-EL-C6-EL06
C7	CUBA 7 ENJUAGUE FOSFATO INMERSIÓN	CU07	CUBA 7 (ESTRUCTURA)	CI-PP-EL-C7-CU07
		MO07	MOTOR TRIFASICO DE BOMBA DE RECIRCULACIÓN	CI-PP-EL-C7-MO07
		BO07	BOMBA DE RECIRCULACIÓN	CI-PP-EL-C7-BO06
		SER07	SERVOVÁLVULA DE RECIRCULACIÓN	CI-PP-EL-C7-SER07
		EL07	ELECTROVALVULA DE ASPERSIÓN	CI-PP-EL-C7-EL07
CT	CUBA DE TRANSFERENCIA	CUTR	CUBA 8 (ESTRUCTURA)	CI-PP-EL-CT-CUTR
		MOTR	MOTOR TRIFÁSICO DE BOMBA DE RECIRCULACIÓN	CI-PP-EL-CT-MOTR
		BOTR	BOMBA DE RECIRCULACIÓN	CI-PP-EL-CT-BOTR
COAT	CUBA E-COAT	CUEC	CUBA E-COAT (ESTRUCTURA)	CI-PP-EL-COAT-CUEC
		MO11	MOTOR A TRIFÁSICO DE BOMBA DE RECIRCULACIÓN (BACK UP)	CI-PP-EL-COAT-MO11
		BO11	BOMBA A DE RECIRCULACIÓN (BACK UP)	CI-PP-EL-COAT-BO11

			MO11B	MOTOR B TRIFASICO DE BOMBA DE RECIRCULACIÓN	CI-PP-EL-COAT-MO11B
			BO11B	BOMBA B DE RECIRCULACIÓN	CI-PP-EL-COAT-BO11B
			MO11C	MOTOR C TRIFASICO DE BOMBA DE RECIRCULACIÓN	CI-PP-EL-COAT-MO11C
			BO11C	BOMBA C DE RECIRCULACIÓN	CI-PP-EL-COAT-BO11C
			MO11D	MOTOR D TRIFASICO DE BOMBA DE RECIRCULACIÓN	CI-PP-EL-COAT-MO11D
			BO11D	BOMBA DE RECIRCULACIÓN	CI-PP-EL-COAT-BO11D
			AMB11	ANOLITO: MOTOR BOMBA	CI-PP-EL-COAT-AMB11
			AEL11	ANOLITO: ELECTRODOS	CI-PP-EL-COAT-AEL11
			ATE11	ANOLITO: TABLERO DE ELECTROLISIS	CI-PP-EL-COAT-ATE11
			CHI09	CHILLER	CI-PP-EL-COAT-CHI09
			CHI09B	CHILLER (BACK UP)	CI-PP-EL-COAT-CHI09B
			UFM11	ULTRAFILTRADO: MOTOR BOMBA LIMPIEZA MEMBRANAS	CI-PP-EL-COAT-UFM11
			UFF01	ULTRAFILTRADO: FILTRO 1	CI-PP-EL-COAT-UFF01
			UFF02	ULTRAFILTRADO: FILTRO 2	CI-PP-EL-COAT-UFF02
			UFF03	ULTRAFILTRADO: FILTRO 3	CI-PP-EL-COAT-UFF02
			UFM01	ULTRAFILTRADO: MEMBRANA 1	CI-PP-EL-COAT-UFM01
			UFM02	ULTRAFILTRADO: MEMBRANA 2	CI-PP-EL-COAT-UFM02
			UF03	ULTRAFILTRADO: MEMBRANA 3	CI-PP-EL-COAT-UF03
			BLS01	BOMBA DE LUBRICACION SELLO MECÁNICO	CI-PP-EL-COAT-BLS01
			BLS02	BOMBA DE LUBRICACION SELLO MECÁNICO (BACK UP)	CI-PP-EL-COAT-BLS02
			BOA01	BOMBA MOTOR AEROSOL	CI-PP-EL-COAT-BOA01
	C8	CUBA 8 ENJUAGUE DE PERMEATO UF#1 POR INMERSIÓN	CU08	CUBA 8 (ESTRUCTURA)	CI-PP-EL-C8-CU08
MO08			MOTOR TRIFASICO DE BOMBA DE RECIRCULACIÓN	CI-PP-EL-C8-MO08	
BO08			BOMBA DE RECIRCULACIÓN	CI-PP-EL-C8-BO08	
SER08			SERVOVÁLVULA DE RECIRCULACIÓN	CI-PP-EL-C8-SER08	
EL08			ELECTROVÁLVULA DE ASPERSIÓN	CI-PP-EL-C8-EL08	
	C9	CUBA 9 ENJUAGUE POR PERMEATO #UF2 POR INMERSIÓN	CU09	CUBA 9 (ESTRUCTURA)	CI-PP-EL-C9-CU09
MO09			MOTOR TRIFASICO DE BOMBA DE RECIRCULACIÓN	CI-PP-EL-C9-MO09	
BO09			BOMBA DE RECIRCULACIÓN	CI-PP-EL-C9-BO09	
SER09			SERVOVÁLVULA DE RECIRCULACIÓN	CI-PP-EL-C9-SER09	
EL09			ELECTROVÁLVULA DE ASPERSIÓN	CI-PP-EL-C9-EL09	
	C10	CUBA 10 ENJUAGUE DE AGUA	CU10	CUBA 10 (ESTRUCTURA)	CI-PP-EL-C10-CU10
MO10			MOTOR TRIFÁSICO DE BOMBA DE RECIRCULACIÓN	CI-PP-EL-C10-MO10	
BO10			BOMBA DE RECIRCULACIÓN	CI-PP-EL-C10-BO10	
SER10			SERVOVÁLVULA DE RECIRCULACIÓN	CI-PP-EL-C10-SER10	

					EL10	ELECTROVÁLVULA DE ASPERSIÓN	CI-PP-EL-C10-EL10	
				SE	SISTEMA ELÉCTRICO	TCH	TABLERO DE CONTROL DEL HORNO ELPO	CI-PP-EL-SE-TCH
						TCC	TABLERO DE CONTROL DE LAS CUBAS ELPO	CI-PP-EL-SE-TCC
						TCT	TABLERO DE CONTROL DEL TRANSFORMADOR	CI-PP-EL-SE-TCT
						BOI	BOILER	CI-PP-EL-SE-BOI
						GEN01	GENERADOR DE EMERGENCIA	CI-PP-EL-SE-GEN01
						TAD	TABLERO DE DISTRIBUCIÓN	CI-PP-EL-SE-TAD
						TRD	TRANSFORMADOR	CI-PP-EL-SE-TRD
						TCB	TABLERO DE CONTROL DE BOMBAS E COAT	CI-PP-EL-SE-TCB
						TCF	TABLERO DE CONTROL DE FILTROS	CI-PP-EL-CE-TCF

Anexo J: Instructivo para actividades de mantenimiento

	INSTRUCTIVO PARA EL PROCEDIMIENTO DE ACTIVIDADES EN MANTENIMIENTO			Código:	
				Versión:	
	Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:	Fecha Emisión:	
7. Propósito Reconocer el procedimiento general de un mantenimiento de un equipo ya sea preventivo o correctivo, determinando las actividades generales que se deben realizar					
8. Alcance El presente procedimiento general aplica para mantenimiento correctivo o preventivo que se ejecuten a los equipos, en el cual es necesaria la información que se tenga conservada de cada máquina					
9. Objetivos Normar las actividades que se van a realizar en las actividades de mantenimiento					
10. Responsabilidad y autoridad El Coordinador y supervisor de mantenimiento son responsables de aplicar los procedimientos para realizar mantenimiento de la infraestructura de la organización.					
11. Definiciones y terminología La revisión y consulta de documentos, planos, manuales y registros de cada máquina permite una identificación detallada de las partes y de las actividades que ejecuta la máquina, esto permitirá la detección de modos de falla que se puedan presentar o que se estén presentando durante la operación. Cualquier inconformidad ya sea de la maquinaria, instalaciones, medios de servicio o documentación deberá ser informada inmediata y directamente al supervisor de mantenimiento, coordinador de mantenimiento, quien decidirá qué acción se debe tomar o autorizará a un trabajador para que lo realice.					
12. Descripción de actividades					
12.1. Planeación de actividades: Realizar una lectura general de la orden de trabajo, de los manuales, interpretación de los planos y partes de las máquinas lo que permitirá realizar un plan de ejecución de las actividades según sea el caso de cada máquina, además de identificar que responsabilidades debe cumplir el técnico en cuanto a instalaciones, medios de servicio, material para trabajo, condiciones de trabajo, Etc.					

