UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍAY TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TEMA:

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) PARA EL ÁREA DE CARPINTERÍA EN EL CENTRO DEL MUCHACHO TRABAJADOR

Trabajo de titulación bajo la modalidad de Estudio Metodológico previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial

Autor (a)

Andrés Paúl Llusca

Tutor (a)

Ing. Alexis Suárez del Villar Labastida, MSc.

QUITO– ECUADOR

2020

AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TÍTULACIÓN

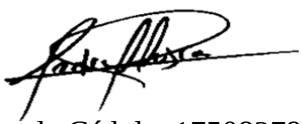
Yo Andrés Paúl Llusca, declaro ser autor del Trabajo de Titulación con el nombre "DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) PARA EL ÁREA DE CARPINTERÍA EN EL CENTRO DEL MUCHACHO TRABAJADOR", como requisito para optar al grado de Ingeniero Industrial y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Quito, a los 23 días del mes de Julio del 2020, firmo conforme:

Autor: Andrés Paúl Llusca Llusca

Firma: 

Número de Cédula: 175082799-8
Dirección: Pichincha, Quito, Parroquia Cotocollao, Barrio Santa Isabel.
Correo Electrónico: andreshoy97@hotmail.com
Teléfono: (+593) 09874 79673

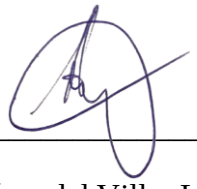
APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación "DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) PARA EL ÁREA DE CARPINTERÍA EN EL CENTRO DEL MUCHACHO TRABAJADOR" presentado por Andrés Paúl Llusca Llusca, para optar por el Título de Ingeniero Industrial.,

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del Tribunal Examinador que se designe.

Quito, 18 de Enero del 2021



Ing. Alexis Suárez del Villar Labastida, MSc.

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, como requerimiento previo para la obtención del Título de Ingeniero Industrial, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor

Quito, 18 de Enero del 2021

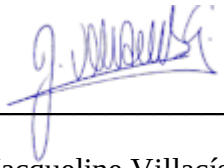
Andrés Paúl Llusca Llusca

175082799-8

APROBACIÓN TRIBUNAL

El trabajo de Titulación ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) PARA EL ÁREA DE CARPINTERÍA EN EL CENTRO DEL MUCHACHO TRABAJADOR, previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del trabajo de titulación.

Quito, 18 de Enero del 2021



Ing. Jacqueline Villacís, M.Sc
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Joel Segura, M.Sc
VOCAL

Ing. Andrés Morán, M.Sc
VOCAL

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi padre, un hombre luchador que siempre supo como sacar a mi familia adelante, quien me enseño que la humildad es un gran requisito para triunfar en la vida, y quien me enseño que el mejor conocimiento que se puede tener es el que se aprende por si mismo. A él le dedico esta tesis con todo mi amor y respeto.

A mi madre, una mujer humilde y tierna, una gran guerrera que siempre nos brindo amor y comprensión incluso en las situaciones mas difíciles, aquella mujer quien me enseño que incluso la tarea más grande se puede lograr si se hace un paso a la vez. A aquel amor de mi vida le dedico esta tesis con todo mi amor y respeto.

A mis hermanos, aquellos que me han sabido guiar y apoyar en el trayecto de mi niñez y juventud, quienes me han inculcado valores para poder ser la persona que soy ahora, aquellos que no se han rendido ante las adversidades y se han convertido en grandes hombres de familia. A ellos les dedico esta tesis con profunda admiración.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Ing. Alexis Suárez del Villar Labastida, MSc. por su oportuna y acertada guía en el desarrollo de este proyecto.

Agradezco a Dios por permitirme tener y disfrutar a mi familia, gracias a mi familia por apoyarme en cada decisión y proyecto, gracias a la vida porque cada día me demuestra lo hermosa y justa que puede ser, gracias a mi familia por permitirme cumplir con excelencia en el desarrollo de esta tesis. Gracias por creer en mí y gracias a Dios por permitirme vivir y disfrutar de cada día.

No ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a sus aportes, a su amor, a su inmensa bondad y apoyo, lo complicado de lograr esta meta se ha notado menos. Les agradezco, y hago presente mi gran afecto hacia ustedes, mi hermosa familia.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TÍTULACIÓN ii

APROBACIÓN DEL TUTOR ii

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD iv

APROBACIÓN TRIBUNAL v

DEDICATORIA vi

AGRADECIMIENTOS vii

ÍNDICE DE CONTENIDOS viii

ÍNDICE DE TABLAS x

ÍNDICE DE FIGURAS xi

RESUMEN EJECUTIVO xii

ABSTRACT xiii

CAPÍTULO I. 1

INTRODUCCIÓN 1

Antecedentes 5

Justificación 8

Objetivos 10

CAPÍTULO II. 11

INGENÍERIA DEL PROYECTO 11

Diagnóstico de la situación actual del área de carpintería en el Centro del Muchacho Trabajador 11

Área de estudio 24

Modelo Operativo 25

Aplicación de componentes 25

CAPITULO III 35
PROPUESTA Y RESULTADOS ESPERADOS 35
Desarrollo de la propuesta 35
Stock de Repuestos 53
Órdenes de Trabajo 53
Resultados esperados 54
Análisis de los costos 54
CAPÍTULO IV 57
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 57
CONCLUSIONES 57
RECOMENDACIONES 58
BIBLIOGRAFÍA 59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. 2.1. Listado y funciones de los equipos del área de carpintería del CMT 13
Tabla No. 2.2. Listado de los equipos seleccionados del área de carpintería del CMT . 17
Tabla No. 2.3. Ficha técnica de la Prensa Hidráulica 18
Tabla No. 2.4. Ficha técnica de la Laminadora CNC 19
Tabla No. 2.5. Ficha técnica de la Perforadora Múltiple 20
Tabla No. 2.6. Ficha técnica de la Escuadradora..... 21
Tabla No. 2.7. Ficha técnica de la Cortadora Láser..... 22
Tabla No. 2.8. Tasa de fallos por equipos..... 23
Tabla No. 2.9. Área de Estudio 24
Tabla No. 2.10. Valores para la Frecuencia de fallos 29
Tabla No. 2.11. Hoja de decisión RCM II 32
Tabla No. 3.1. Hoja AMFEC de Laminadora CNC..... 37
Tabla No. 3.2. Hoja AMFEC de Cortadora Láser 39
Tabla No. 3.3. Hoja AMFEC de Prensa Hidráulica..... 41
Tabla No. 3.4. Hoja AMFEC de Perforadora múltiple 43
Tabla No. 3.5. Hoja AMFEC de Escuadradora 45
Tabla No. 3.6. Hoja de decisión RCM II de Laminadora CNC 47
Tabla No. 3.7. Hoja de decisión RCM II de Cortadora Láser..... 48
Tabla No. 3.8. Hoja de decisión RCM II de Prensa Hidráulica 49
Tabla No. 3.9. Hoja de decisión RCM II de Perforadora múltiple..... 50
Tabla No. 3.10. Hoja de decisión RCM II de Escuadradora..... 51
Tabla No. 3.11. Hoja de trabajo RCM 52
Tabla No. 3.12. Listado de repuestos..... 53
Tabla No. 3.13. Desglose de los costos para implementar la propuesta 55
Tabla No. 3.14. Costos por concepto de paradas y reprocesos en el año 2019 en los equipos críticos 55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No. 2.1. Localización del Centro del Muchacho Trabajador 12
Figura No. 2.2. Causales de fallas correctivas en el año 2019 15
Figura No. 2.3. Diagrama de Causa – Efecto de tiempos prolongados fuera de servicio 16
Figura No. 2.4. Diagrama de Pareto de las fallas en los 24 equipos del área de carpintería 17
Figura No. 2.5. Prensa Hidráulica Modelo XLB350 18
Figura No. 2.6. Laminadora CNC Modelo G 680 FELDER 19
Figura No. 2.7. Perforadora Múltiple Modelo CMB 21 20
Figura No. 2.8. Escuadradora Modelo SCM MINIMAX SC4 21
Figura No. 2.9. Cortadora Láser Modelo CMB 21 22
Figura No. 2.10. Modelo Operativo 25
Figura No. 2.11. Diagrama de decisión RCM 33

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TEMA: DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) PARA EL ÁREA DE CARPINTERÍA EN EL CENTRO DEL MUCHACHO TRABAJADOR.

AUTOR: Andrés Paúl Llusca Llusca

TUTOR: Ing. Alexis Suárez del Villar Labastida, MSc.

RESUMEN EJECUTIVO

Este trabajo surge por la necesidad presentada en el área de Carpintería ubicada en el Centro del Muchacho Trabajador; donde se han suscitado fallas imprevistas en sus equipos lo que ha ocasionado que el sistema se encuentre inoperativo durante determinados períodos de tiempo, provocando esta situación incumplimientos en la producción planificada. Por tales motivos, se plantea como problemática de la investigación la siguiente: ¿cómo disminuir la frecuencia de fallas en los equipos correspondientes al área de carpintería ubicado en el Centro del Muchacho Trabajador? En correspondencia, se planteó diseñar un plan de mantenimiento denominado Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en el área de carpintería de la mencionada Institución, como vía de disminuir los fallos de sus equipos y su respectivo efecto negativo en la producción. Se analizó el contexto operacional de los equipos que se encuentran en el área y, se confirmó que se encuentran dentro de su contexto de diseño, se obtuvieron los datos históricos de las fallas durante el año 2019, se determinó la tasa de fallas de los equipos seleccionados como críticos, valorándose los modos de fallo, lo cual constituyó la información inicial para el análisis de la misma, sus efectos y criticidad (AMFEC); permitiendo realizar el diseño de las hojas de información de cada uno de los equipos críticos, con la aplicación del diagrama de decisión RCM II. Se obtuvo la misma por cada equipo, indicándose las tareas propuestas, para controlar cada modo de fallo, se considerará que las tareas planteadas son coherentes y viables. Finalmente se obtuvo el Plan de Mantenimiento RCM para el Área de Carpintería del CMT.

Palabras clave: AMFEC, Hoja de información, Hoja de decisión, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Tasa de fallas.

INDOAMÉRICA TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

FACULTY OF INDUSTRIAL ENGINEERING

CAREER OF INDUSTRIAL ENGINEERING

THEME: DESIGN OF A SCHEDULED MAINTENANCE BASED ON RELIABILITY (RCM) FOR THE AREA OF CARPENTRY IN THE HARDWORKING BOY'S CENTER.

AUTHOR: Andrés Paúl Llusca Llusca

TUTOR: Ing. Alexis Suárez del Villar Labastida, MSc.

ABSTRACT

This work arises from the need presented by the Carpentry area of the Boy Working Center, where unforeseen failures have occurred in their equipment, which has caused the system to be inoperative during certain periods of time, causing this situation to be non-compliant in production. planned. This situation reveals the following as a research problem: how to reduce the frequency of equipment failures present in the carpentry area of the Boy Working Center? Correspondingly, the objective was to design a maintenance plan based on Reliability Centered Maintenance (RCM) in the carpentry area at the Boy Worker Center as a way of reducing equipment failure and its respective negative effect on production. The operational context of the equipment found in the area was analyzed and it was confirmed that it is within its design context, historical data on failures were obtained during the year 2019, the failure rate of the selected equipment was determined As critics, failure modes were analyzed and valued, with this information the failure modes analysis, their effects and criticality (AMFEC) was developed, managing to design the information sheets of each of the critical equipment, with the application of the diagram of decision RCM II the decision sheet was obtained by team, in which the proposed tasks to control each failure mode were indicated, it is considered that the tasks proposed are coherent and viable, finally the RCM Maintenance Plan for the Area was obtained of Carpentry of the CMT.

Key words: AMFEC, Information sheet, Decision sheet, Reliability Centered Maintenance, Failure rate.

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

Dentro del marco actual del Ecuador y a nivel mundial, se ha observado que las grandes industrias diariamente emiten enormes cantidades de gases o desechos tóxicos al medioambiente, todo esto obedece entre otros factores, a la ausencia o deficiente diseño de un modelo de mantenimiento de equipos.

Actualmente se concede mayor atención a las actividades económicas y al crecimiento industrial de los países en vías de desarrollo. No obstante, el éxito no se concreta sólo a la inversión en nuevas plantas de producción y/o la transferencia de modernas tecnologías, sino que es imprescindible paralelamente hacer uso efectivo de las instalaciones existentes, para lo que uno de los requisitos claves es implementar un servicio integral de mantenimiento efectivo, seguro y económico de los activos. (Palencia, 2014)

Para la mejora continua de la industria es indispensable que los procesos de mantenimiento estén optimizados; ya que, en la vida útil de los activos, el uso, el paso del tiempo, los agentes externos y los accidentes ocasionales, provocan un deterioro no visualizado adecuadamente por los usuarios; lo que hace necesario, incrementar la inversión en mantenimiento de los equipos para minimizar el costo total de producción. (Palencia, 2014)

En la actualidad, en el marco de la industria mundial es el mantenimiento predictivo la herramienta mejor y mayormente implantada. Según estimaciones entre el 56 y 64% de las plantas industriales en el mundo poseen implementada algún tipo de herramienta del mantenimiento predictivo. Este porcentaje se incrementa en países desarrollados hasta cerca del 77%, las que presentan un programa de mantenimiento predictivo sólido y en marcha (Lubrication Management, 2017)

Es un criterio generalizado que en el Ecuador la gestión del mantenimiento progresa con pasos muy lentos, lo que conlleva que las organizaciones estructuren su gestión no de manera preventiva sino correctiva, por tanto; están orientadas a corregir los defectos y

(o) fallas que se presentan, debiendo prevenirlos proactivamente antes de que se presenten.

Ecuador en junio del 2018 en su Índice de Producción de la Industria Manufacturera expuso un resultado ascendente a 97,50 que comparándolo con el valor del mes de mayo del propio año (99,21), mostró una variación mensual negativa de 1,72%; no obstante, en el mes de abril dicha variación fue de 8,09%. (Dirección de Estadísticas Económicas, 2018)

En este índice, la Sección 3 "Otros bienes transportables, excepto productos metálicos, maquinaria y equipo" exhibió una variación mensual negativa en el índice de 5,59%, una anual de -0,59% y una variación acumulada de 1,68%. Dentro de las variaciones representativas de la sección 3, destacan los grupos: "Madera aserrada o cortada longitudinalmente, cortada en hojas o descortezada, (…)" con un valor negativo de 43,71 %; "Libros en impresión" que mostró una variación negativa de 34,90% y "Libros de registro, libros de contabilidad, cuadernos, (…)" con una diferenciación negativa de 16,23%. (Dirección de Estadísticas Económicas, 2018)

En este entorno y bajo estas condiciones se desarrolla el Centro del Muchacho Trabajador (CMT), que es una fundación la cual brinda herramientas necesarias para la subsistencia propia y abierta a las necesidades de los demás, ofreciendo oportunidades de empleo o crédito para la creación de microempresas para poder vivir en condiciones favorables.

Los jóvenes y adultos gozan de una provechosa experiencia de aprendizaje en los talleres de capacitación localizados cerca de las áreas de producción y negocios a pequeña escala del CMT: artículos de costura, panadería, muebles, restaurante, juegos didácticos, sala de belleza y servicios en los talleres de mecánica industrial y carpintería. Las pequeñas unidades de producción se crearon con el objetivo de que su rentabilidad aportará al financiamiento de las actividades con enfoque social.

Considerando que la fundación no está constituida únicamente como obra social, sino también por componentes de diferentes naturalezas tales como sistemas eléctricos, mecánicos, electrónicos, hidráulicos, entre otros, que contribuyen a que la fundación

genere un valor de ganancia propio y para el cliente, se demanda que estos componentes tengan un adecuado mantenimiento que garantice su sostenibilidad.

El mantenimiento se reconoce como la combinación de actividades mediante las cuales un equipo o un sistema se mantienen, o se restablece a, un estado en el que puede realizar las funciones designadas. Es un factor importante en la calidad de los productos y puede utilizarse como una estrategia para una competencia exitosa. Las inconsistencias en la operación del equipo de producción dan por resultado una variabilidad excesiva en el producto y, en consecuencia, ocasionan una producción defectuosa. Para producir con un alto nivel de calidad, el equipo de producción debe operar dentro de las especificaciones, las cuales pueden alcanzarse mediante acciones oportunas de mantenimiento. (Llanos, Arango, & Aranda, 2020; Moubray, 2004)

A través del monitoreo de las condiciones en el tiempo y el registro del historial de funcionamiento del equipo, el mantenimiento se torna más efectivo. Esto condiciona un cambio de enfoque transitando de la reparación a la mejora. Se puede identificar la causa de fallas en los equipos, lo que ofrece una oportunidad proactiva de intervenir antes de que ocurra el fallo.

La meta de toda organización debería ser optimizar sus activos y su funcionamiento. A partir de los análisis inteligentes de datos, se pueden identificar patrones y extrapolar generalizaciones de esos patrones. Estrategias avanzadas, como el pronóstico predictivo y el mantenimiento centrado en la confiabilidad, demandan de un flujo ininterrumpido de datos para incrementar la disponibilidad del equipo y su capacidad productiva, es en este escenario donde la integridad y precisión de los datos, se torna crítica.

> "El mantenimiento en este siglo continúa con la orientación de los años 90, llamada como Mantenimiento de clase mundial, filosofía que agrupa tendencias desde el Mantenimiento Productivo Total, parando por el mantenimiento centrado en la confiabilidad, gerencia de riesgos, fundamentándose en darle la importancia e incidencia del mantenimiento dentro de las estrategias de negocio, tomando esta orientación como: Valores. Enfocados de Calidad. Cambio Cultural, y Gerencia de la Incertidumbre". (Guillermo, 2019, p. 3)

Desde el punto de vista ingenieril se define al mantenimiento como mantener o preservar algo, refiriéndose a esto se busca establecer que es lo que se desea preservar. La respuesta es un bien físico que proporcione un servicio o sea necesario para la realización de una tarea. Dentro de los tipos de mantenimiento se encuentra el Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM, por sus siglas en inglés).

El RCM está reconocido como un método de evaluación sistemática para identificar las acciones de mantenimiento aplicables (desde el punto de vista técnico) y efectivas (por su impacto económico), para desarrollar u optimizar el programa de mantenimiento, basadas en la utilización de técnicas de monitoreo a condición, búsqueda de fallos y monitoreo por tiempo, que son aplicadas, en ese orden progresivo, para lograr la aplicación de métodos menos invasivos sobre el estado técnico de los componentes objeto del mantenimiento. (Valle, 2012)

Los usuarios mayormente dependerán de la garantía de servicio que ofrezca un bien físico por lo que se puede definir al mantenimiento centrado en la fiabilidad como un proceso utilizado para determinar qué debe hacerse para asegurar que todo equipo continúe funcionando como sus usuarios lo desean en un contexto operativo sin fallas.

Las funciones y expectativas son las que determinan los objetivos del mantenimiento, el único suceso para que un bien deje de funcionar es algún tipo de falla lo cual sugiere que a través del mantenimiento se realice un manejo acertado de fallas, pero primeramente se debe identificar los tipos de fallas que puedan presentarse. Un proceso de mantenimiento RCM se maneja en dos niveles:

• Primero, identificar qué circunstancias llevaron a un estado fallido.

• Segundo, investigar cuáles situaciones son las causantes de que el equipo presente ese estado de falla.

Las tareas basadas en las condiciones, justificadas cuando se desconoce el enfoque de prevención de fallas, se centran en la medición de un parámetro que indique un deterioro o una degradación en el rendimiento funcional del equipo. De ahí, la importancia del RCM.

En la actualidad, el Centro del Muchacho Trabajador presenta irregularidades en su funcionamiento ocasionado fundamentalmente por la incrementada frecuencia de las fallas en el funcionamiento diario de las máquinas y su respectivo efecto en el resultado final del producto, lo que causa inconvenientes en la producción y en algunos casos genera reprocesos en sus productos. Dentro de las principales limitantes, destaca la ausencia de un Plan de Mantenimiento de los equipos existentes, con énfasis en el área de carpintería, lo que denota la necesidad de realizar un estudio para el diseño de su Plan de Mantenimiento para sus equipos.

Lo planteado permite definir como problema principal de la investigación el siguiente: ¿cómo disminuir la frecuencia de las fallas de los equipos presentes en el área de carpintería del Centro del Muchacho Trabajador?

Antecedentes

Las últimas décadas, han sido testigos de las estrictas normas de calidad y la presión competitiva que obligan a las organizaciones a transformar su gestión del mantenimiento. "Esto presupone cambiar del paradigma de realizar reparaciones y cambia piezas o máquinas completas, a un pensamiento enfocado a la productividad total de la organización, a través de técnicas y prácticas novedosas" (Rodríguez, Rodríguez, & Palma, 2018, p. 2). Y es que el panorama actual es insoslayable, para cualquier organización, la gestión de su mantenimiento con un enfoque predictivo en aras de extender la vida de sus componentes, incrementando la disponibilidad de sus equipos y su confiabilidad, con su respectivo efecto positivo en la productividad.

Actualmente se considera de suma importancia gestionar la conservación y operación adecuada del equipamiento en cualquier organización, esto garantiza la continuidad del proceso productivo o de prestación de servicio, mayor productividad del personal técnico y extender la vida útil de la inversión realizada. Esta condición, obliga a los profesionales encargados del mantenimiento del equipamiento a buscar alternativas que les permitan garantizarlo de manera efectiva, existe una conciencia creciente en todo el mundo sobre la importancia de un adecuado plan de mantenimiento. (Ghaleb, Taghipour, Sharifi, & Zolfagharinia, 2020; Llanos et al., 2020; Su, Jamshidi, Núñez, Baldi, & De Schutter, 2019)

No son pocas las organizaciones que dan mayor relevancia a la Gestión de Mantenimiento por el simple hecho de evitar paros de producción o costos elevados al momento de reparar un equipo; lo que genera un ambiente de trabajo confortable para todo el personal y las partes interesadas (Moubray, 2004). Un adecuado Plan de Mantenimiento genera una serie de beneficios asociados a: una producción continua sin inconvenientes por averías en equipos, mayor calidad en el estado final del producto, personal conforme en su área de trabajo y capacitado para amortiguar fallos imprevistos en equipos, ahorro en el capital de la empresa por eliminación de mantenimientos bajo contrato.

Este proyecto de investigación está enfocado al Diseño de un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) para el área de carpintería en el Centro del Muchacho Trabajador. En esta organización se adolece de este tipo de investigación dado el estado técnico de sus equipos, con énfasis en los existentes en el área de carpintería, cuyas fallas han ocasionado paradas en el proceso que denotan incumplimientos. En la organización no existen precedentes de estudios de esta naturaleza, de ahí su necesidad e importancia. En su desarrollo se tomarán como referencia, a los trabajos relacionados al tema que a continuación se relacionan:

Tema: Sistema automatizado de mantenimiento centrado en confiabilidad para pequeñas y medianas empresas

Autor: Ricardo Edwin Garzón Rojas

Escuela Politécnica Nacional – Quito, 2007

Propone un procedimiento de RCM para Pequeñas y Medianas Empresas, utilizando ACCESS de Microsoft. Describe las generalidades, evolución y estrategias de mantenimiento. Aborda la Confiabilidad e Infiabilidad y algunos de sus índices, denota la Confiabilidad Operacional y sus parámetros. Se realiza un enfoque al RCM (Reliability Centered Maintenance) o Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, describiendo cuáles son sus requerimientos para ser aplicado y su procedimiento de aplicación. Se reconocen algunos modos de falla comunes. Describe el AMFE (Análisis Modal de Falla - Efecto), sus definiciones, así como su metodología para ser aplicado.

Expone cuadros de los índices de confiabilidad para el AMFE. Define las entidades necesarias para crear la base de datos en ACCESS de Microsoft, establece la información necesaria que debe ser ingresada y a su vez la información que se necesita en los informes. Realiza el diseño conceptual, lógico y físico de la base de datos. Detalla el funcionamiento de esta base de datos, para la cual describe cómo ingresar datos y cómo obtener los informes. Realiza un pequeño y simple ejemplo, enlista tres equipos y desarrolla ligeramente la aplicación del procedimiento de RCM para PYMES.

Tema: Propuesta de mantenimiento centrado en confiabilidad de las unidades de bombeo horizontal multietapas del sistema Power Oil de la estación ATACAPI del B57-LI DE Petroamazonas EP

Autor: Ángel Vinicio Castillo Santillán

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo – Riobamba, 2017

Realiza la propuesta de un plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) de la unidad de bombeo horizontal multietapas HPS del sistema Power Oil, por cuanto la alta tasa de fallas imprevistas de la unidad ocasionaba que el sistema estuviera inoperativo en varios períodos de tiempo, provocando pérdidas que comprometían la producción de petróleo del campo, para ello: se analizó el contexto operacional de los equipos que componían la unidad HPS confirmando que estaban dentro de su contexto de diseño, se recabaron datos históricos del sistema Máximo Oil & Gas de los años 2014 - 2015, se calculó y determinó la tasa de fallas de los equipos y la unidad HPS, se analizó y valoró los modos de falla según la norma ISO 14224-2006, con estos datos se desarrolló el análisis de modos de falla y sus efectos (AMFE) obteniendo las hojas de información de cada uno de los equipos.

Con la aplicación del diagrama de decisión RCM II se obtuvieron las hojas de decisión, en las cuales se indicaron las tareas propuestas para controlar cada uno de los modos de falla, las tareas planteadas fueron lógicas y realizables, finalmente se obtuvo el plan RCM para la unidad de bombeo horizontal HPS. Con la aplicación de la metodología se comprobó que era factible la reducción de la tasa de fallos obteniendo una mejora desde una tasa de fallos de 0.00142 a 0.0006, es decir de un tiempo medio entre fallas de 29 a 69 días.

Tema: Propuesta de gestión de mantenimiento RCM en plantas de energía a gas natural

Autor: B. Hesse

Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC) – Lima, 2018

Destaca que el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad tiene un papel importante en las operaciones de las centrales de energía a gas. Analiza la práctica RCM en la central térmica 3x2 MW, PISCO. Como enfoque metodológico adoptó el análisis de los cortes eléctricos no programados ("Blackouts") más significativos, determinó las principales causas de los daños y aplicó la metodología de evaluación de vida útil restante de los activos (Gensets). Determinó que, a los equipos estudiados al tener aproximadamente siete años de operación, se encontraban en la etapa media de la curva de la bañera, es decir el parámetro beta de la distribución de Weibull era igual a 1. Determinó el Tiempo medio entre Falla (MTBF) que le permitió determinar la frecuencia óptima de intervención de cada uno de los motores analizados a través del método de distribución de Weibull.

Justificación

Un correcto mantenimiento garantiza en gran medida la capacidad de producir con calidad, seguridad, y rentabilidad, sin embargo, aunque en pocas organizaciones se reduce a la realización de un plan de mantenimiento o incluso el cambio de equipos que en muchos casos hubiesen continuado funcionando dada la aplicación de un plan acertado de mantenimiento preventivo. Lo planteado, confirma que el mantenimiento constituye uno de los factores clave de la productividad de una organización, dado que los equipos, maquinaria y edificaciones son las herramientas que permiten desarrollar el sistema de producción o de prestación de servicios y su funcionamiento continuo y eficiente garantiza que la organización sea más productiva. (Rodríguez et al., 2018; Schreiber, Vernickel, Richter, & Reinhart, 2019)

El **alcance** del proyecto contempla el diseño de un Plan de Mantenimiento basado en el RCM específicamente a implantarse en el área de carpintería perteneciente al Centro del Muchacho Trabajador.

La **importancia** de la puesta en marcha de la propuesta de Plan de Mantenimiento supone a partir de, que permitirá detectar las mejores prácticas para garantizar la función principal de los activos existentes, considerando los posibles efectos que originarían sus modos de falla, en la seguridad, el medio ambiente y las funciones operacionales del área de carpintería, los beneficios siguientes: responsabilidad y compromiso por parte de la fundación a mantener un correcto funcionamiento de sus equipos, mayor relación de los operarios con la alta dirección, disminución de paros de producción por fallos presentados en los equipos, acción rápida o amortiguamiento de fallos por medio de los propios operarios y un mayor control por parte de estos.

La propuesta generará un **impacto** positivo en el desempeño del área de carpintería y por tanto de la fundación, a partir de que se podrán identificar las oportunidades de mejora en los procesos por medio de la disminución de fallos presentados a lo largo de la vida útil de los equipos del área, de igual forma si incidirá en el cambio de la cultura organizacional en la fundación y se contribuirá a la continuidad del proceso que generará un mayor flujo de efectivo en la fundación.

Para la fundación existe una clara **utilidad** de la propuesta, al contribuir de manera proactiva a su sostenibilidad en el tiempo, al contribuir al funcionamiento continuado de los equipos del área de carpintería. Por otra parte se ofrece una vía de crecimiento profesional al personal operario, al dotarlo de una herramienta novedosa y pertinente.

Es por eso que en el presente proyecto tendrá como principales **beneficiarios**, a los operarios del área de carpintería y a la propia fundación, al facilitarles una vía para amortiguar y/o evitar fallos en los equipos, lo cual permitirá que tengan un mayor control de las anomalías detectadas y potenciales.

La **factibilidad** del proyecto se respalda en la información necesaria para diseñar un Plan de Mantenimiento, se desarrollará una lista y codificación de equipos para el análisis de criticidad de estos como vía de determinación de los modelos de fallo más usuales y en base a estos asignar tareas de mantenimiento y establecer un plan piloto de gamas y rutas donde se considere necesario, tomando en cuenta la criticidad y el modelo de mantenimiento que se le deba implementar a cada equipo. Todo se obtendrá mediante visitas técnicas e inspecciones.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar un plan de mantenimiento, basado en el RCM en el área de carpintería en el Centro del Muchacho Trabajador, como vía de disminuir los fallos de sus equipos y el efecto negativo directo a la producción.

Objetivos específicos

1. Identificar los equipos con fallos más frecuentes, a través del análisis de criticidad de éstos como vía de recomendación, para procedimientos de operación y mantenimiento.
2. Desarrollar el AMFEC a los equipos seleccionados como puntos críticos de producción, tomando en cuenta la criticidad y el modelo de mantenimiento que se le deba implementar a cada uno, para disminuir sus fallas en las jornadas de producción.
3. Implementar el RCM en el área de carpintería del Centro del Muchacho Trabajador, mediante la aplicación de un Plan de Mantenimiento Basado en la Confiabilidad, para contribuir al funcionamiento sin fallos de sus equipos.

CAPÍTULO II.

INGENÍERIA DEL PROYECTO

Diagnóstico de la situación actual del área de carpintería en el Centro del Muchacho Trabajador

El CMT fue fundado en el año de 1964, por el padre jesuita Juan Halligan, quien comenzó su trabajo en un gran desván junto al campanario de la iglesia de la Compañía de Jesús con más de 200 niños limpiabotas y trabajadores de la calle, que laboraban en el Centro Histórico de Quito. El P. Juan Halligan, les prestó asistencia básica en educación, servicio de salud, incluyendo atención odontológica, y les ayudó con capacitación para realizar talleres de carpintería y zapatería. Además, se les brindaba alimentación y espacios de recreación.

En el 2002, el CMT agregó a sus actividades el Programa "Gota de Leche", enfocado en niños menores de tres años que presentan desnutrición: para atenderlos se les brindaba diariamente leche, vitaminas, atención médica y charlas a las madres de familia, programa ejecutado gracias a la donación del edificio y programa al CMT por parte de la Sociedad Gota de Leche. Durante el período del 2004 al 2008, se fundó la Oficina de Desarrollo con el objetivo de reposicionar el nombre del CMT, sistematizar la experiencia, validarla y generalizarla para incidir en la acción pública mostrando la problemática del trabajo infantil y proponiendo una metodología de desarrollo humano, que favorece la erradicación de la pobreza y al reconocimiento social de los infantes trabajadores.

En el año 2006, se informó un estudio externo de evaluación de impacto, que mostró cuantitativamente los resultados del constante trabajo que el CMT realizó, para favorecer a sus beneficiarios. El CMT, ofrece los servicios siguientes: educación, formación en valores, salud, alimentación y crédito microempresarial.

El departamento médico ofrece: promoción y prevención, control de niño sano, control de adolescente, detección oportuna de cáncer, control prenatal y postparto, seguimiento de patologías para niños y sus familias, y laboratorio clínico para exámenes básicos. Enfocado en las microempresas se ofrecen herramientas necesarias para la

subsistencia propia y abierta a las necesidades de los demás, brindando a los egresados la oportunidad de solicitar un crédito, bajo condiciones propicias, para comenzar su idea de negocio. En la Figura No. 2.1 se muestra la localización del CMT en la ciudad de Quito, Ecuador.

Figura No. 2.1. Localización del Centro del Muchacho Trabajador

Fuente: Google Map

Elaborado por: Investigador

Durante el año 2019, en el CMT se presentaron dificultades para prestar sus servicios dadas fallas en los equipos, específicamente en el área de carpintería. En visita técnica realizada a la instalación se pudo constatar que no existe en el CMT, un sistema de información que describa los trabajos de mantenimiento ejecutados en las máquinas y equipos del área.

Se cuenta con un sistema de información sistematizada de costos de mantenimiento por máquinas en que se reportan los costos de la mano de obra, materiales, repuestos y costos indirectos asociados al respectivo mantenimiento. Desafortunadamente, se pudo comprobar que esta información no se procesa para determinar tendencias de los costos de mantenimiento en que han incurrido las máquinas y equipos.

En entrevista con el jefe del área se conoció que en la actualidad, aunque se cuenta con una planificación básica de los trabajos de mantenimiento, en la práctica operativa mayormente se ejecutan las actividades solo de mantenimiento correctivo, lo cual ha provocado que los costos por paro de producción por avería de máquinas y equipos sea muy elevado para la organización. Actualmente en el área de carpintería del CMT se opera con 24 equipos, su descripción y funciones se detallan en la tabla No. 2.1.

El código propuesto para cada equipo responde a la necesidad de garantizar trazabilidad durante la planificación de las actividades por cada equipo. Para establecer el código por equipo se estructuró dependiendo el área, del equipo y del número del equipo, como se detalla a continuación.

A: Entidad B: Área C: Número del Equipo

A modo de ejemplo el código CMT-C-24, significa que es el equipo número 24 del área de Carpintería en el Centro del Muchacho Trabajador.

Tabla No. 2.1. *Listado y funciones de los equipos del área de carpintería del CMT*

Cod.	Denominación	Función
CMT-C-01	Cabina extractora	Elimina gases tóxicos causados por la pintura en la madera
CMT-C-02	Caladora	Realiza curvas y cortes pequeños en la materia prima
CMT-C-03	Canteadora	Nivela a escuadra la materia prima
CMT-C-04	Cepilladora	Cepilla a un solo grueso la materia prima
CMT-C-05	Compresor	Funcionan dos al mismo tiempo y alimentan máquinas que funcionan por medios neumáticos
CMT-C-06	Compresor de lacado	Alimenta pistolas de pintura para el lacado del producto
CMT-C-07	Cortador láser	Realiza diseños por corte laser
CMT-C-08	Disco de lijado	Realiza un lijado a escuadra
CMT-C-09	Escuadradora	Corte y perforado vertical
CMT-C-10	Esmeril	Realiza desbaste de rebaba presentado en el producto
CMT-C-11	Laminadora CNC	Lamina filos sea en material PVC o material duro

Tabla No. 2.1.

Listado y funciones de los equipos del área de carpintería del CMT (continuación)

Cod.	Denominación	Función
CMT-C-12	Lija de rodillo	Realiza lijados curvos
CMT-C-13	Niveladora	Realiza un lijado de precisión
CMT-C-14	Perforadora	Perfora a dimensiones requeridas por el operador
CMT-C-15	Perforadora múltiple	Perfora múltiples agujeros en la materia prima según se requiera
CMT-C-16	Posformadora	Por medio de calor realiza curvado de la materia prima
CMT-C-17	Prensa hidráulica	A base de calor realiza el prensado de tableros
CMT-C-18	Ruteadora computarizada	Corta cualquier modelo o plantilla requerida
CMT-C-19	Sierra común	Corta a dimensiones requeridas por el operador
CMT-C-20	Sierra ingleteadora	Realiza cortes pequeños y esquineros
CMT-C-21	Taladro de pedestal	Realiza perforaciones para terminados
CMT-C-22	Tronzadora	Realiza cortes a la materia prima en bruto
CMT-C-23	Tupy de banco	Realiza molduras y paneles
CMT-C-24	Tupy de banco pequeña	Realiza molduras pequeñas

Fuente: submayor de inventario de Activos fijos, Área de Carpintería del CMT

Elaborado por: Investigador

Para los equipos mencionados, se tiene un plan básico de mantenimiento preventivo en el cual se detalla únicamente la tarea de mantenimiento que se va a desarrollar y se define el periodo en que debe hacerse. Los operarios no están correctamente capacitados para realizar tareas de mantenimiento a equipos complejos o críticos, por lo que se tiene que contratar a un ente externo el cual realice el mantenimiento adecuado a los equipos. A su vez esto representa gastos adicionales que encarecen los costos de mantenimiento a la organización, tanto por la mano de obra calificada como por la obtención de repuestos cuando es necesario.

En entrevista con el jefe del área de carpintería, se pudo conocer que se emitieron en el 2019 un total de 1,021 órdenes, de ellas el 30% preventivas y el resto correctivas. En la Figura No. 2.2 se presentan algunas de las fallas que generaron acciones correctivas durante el 2019.

En el año 2019 se dio respuesta a 282 órdenes preventivas que representa el 92% del total planificado y no se gestionaron 24 órdenes preventivas (8%). En la Figura No. 2.3 se presenta el diagrama de Ishikawa, donde se identifican las principales causas del problema al que se enfrentó el área de carpintería con respecto al mantenimiento en el año 2019 y que provocó que los tiempos de los mantenimientos se extendieran y existieran demoras en la producción.

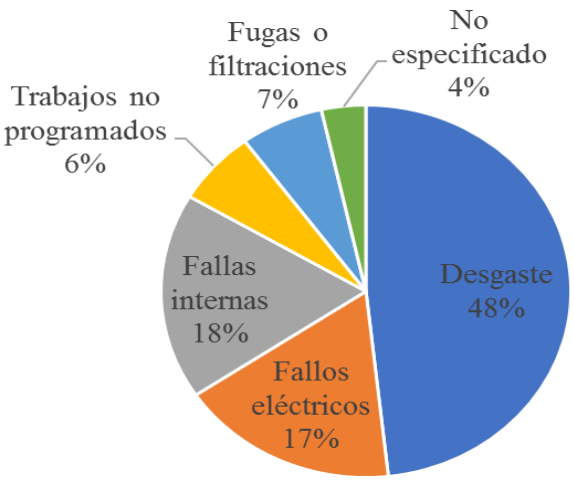


Figura No. 2.2. Causales de fallas correctivas en el año 2019
Fuente: registro de fallas del Área de Carpintería del CMT
Elaborado por: Investigador

A partir de los informes de órdenes de trabajo facilitado por el jefe del área de Carpintería, se analizaron los datos históricos de las fallas funcionales registrados en el área durante el año 2019. Estas órdenes de trabajo, se encuentra archivadas en función del tipo de mantenimiento CME (Mantenimiento correctivo de emergencia), que se le realiza al equipo. Como requisito indispensable para desarrollar adecuadamente el estudio del RCM, se demanda que la información a utilizar sea fiable y atinada al equipo que responde.

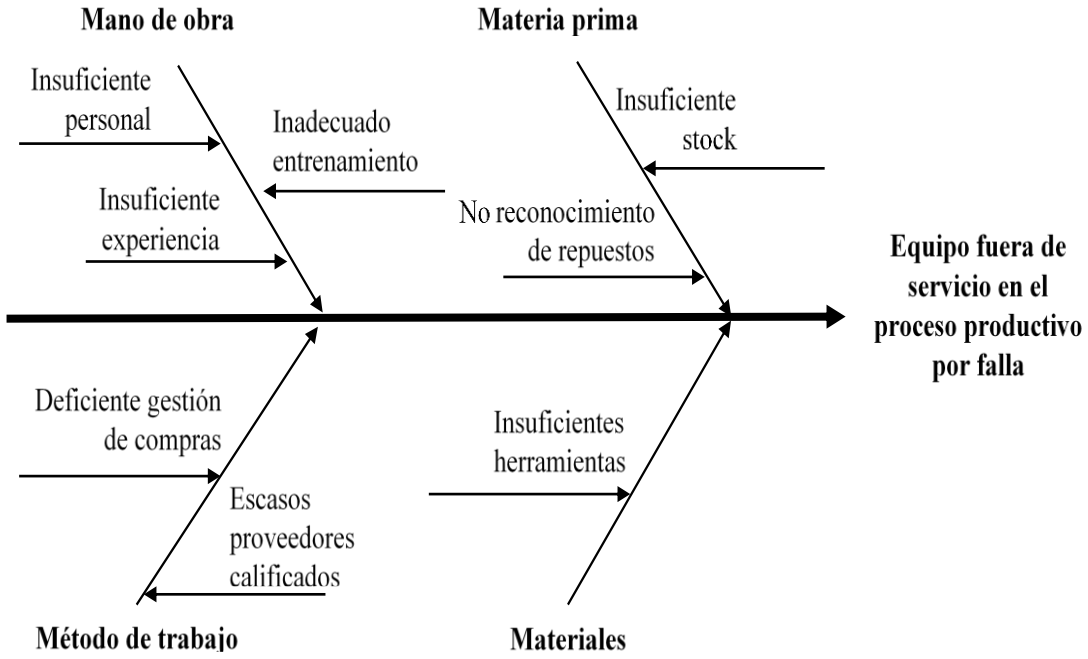


Figura No. 2.3. Diagrama de Causa – Efecto de tiempos prolongados fuera de servicio

Fuente: diagnóstico

Elaborado por: Investigador

El análisis de estos datos (Anexo 1) permitió identificar que las fallas registradas durante el año 2019 se concentraron en un 80% en cinco equipos del área de carpintería (ver Figura No. 2.4), esta es la principal razón por la que constituirán objeto de estudio en esta investigación.

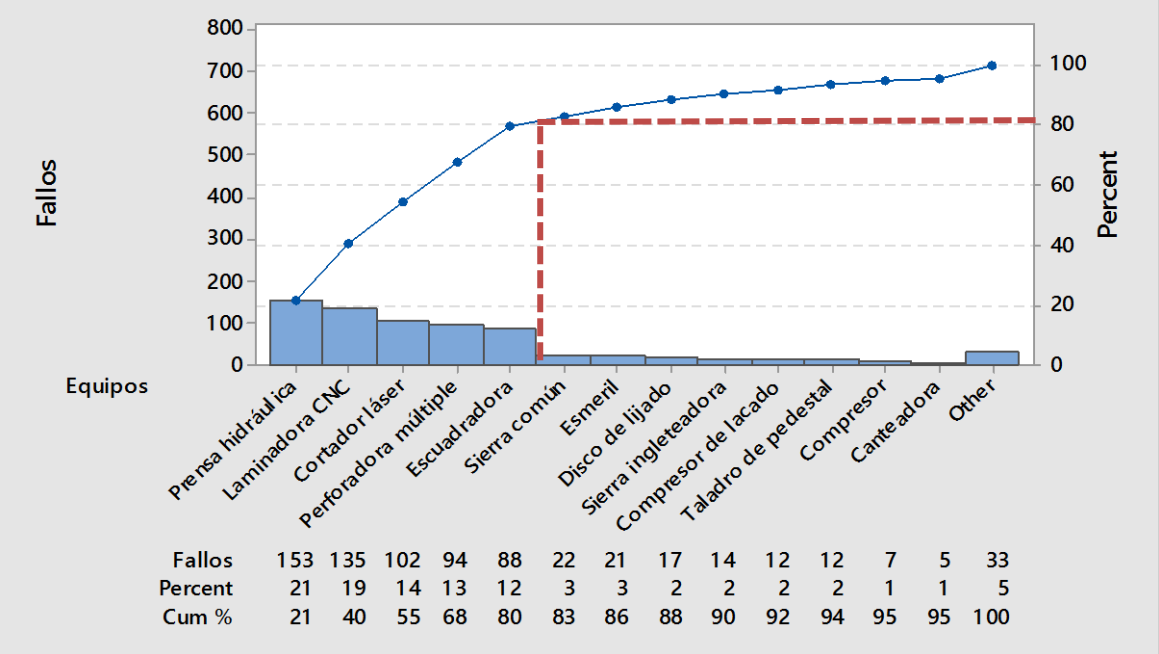


Figura No. 2.4. Diagrama de Pareto de las fallas en los 24 equipos del área de carpintería

Fuente: registro de fallas del Área de Carpintería del CMT

Elaborado por: Investigador

Estos equipos (CMT-C-07, CMT-C-09, CMT-C-11, CMT-C-14 y CMT-C-17), sus principales características y sus fichas técnicas se muestran en las Tablas de la 2.2 a la 2.7 a continuación:

Tabla No. 2.2. *Listado de los equipos seleccionados del área de carpintería del CMT*

Maquinas	Fecha de adquisición	Repuestos en inventario	Valor de adquisición	Operarios y tiempo de funcionamiento
Prensa Hidráulica	Febrero de 1997	Inexistentes	Donativo	2 operarios por jornada laboral de 8 horas
Laminadora CNC	Agosto 2007	Inexistentes	Donativo	1 operario por jornada laboral de 8 horas
Perforadora múltiple	Septiembre 2011	Mandriles	Donativo	1 operario por jornada laboral de 8 horas
Escuadradora	Julio 2017	Discos incisorios	Donativo	2 operarios por jornada laboral de 8 horas
Cortadora laser	Agosto 2012	Lentes para corte	Donativo	2 operarios por jornada laboral de 8 horas

Fuente: Área de carpintería

Elaboración: Investigador

Figura No. 2.5. Prensa Hidráulica Modelo XLB350

Fuente: Área de Carpintería

Elaborado por: Investigador

Tabla No. 2.3. *Ficha técnica de la Prensa Hidráulica*

PARAMETROS	**MODELO XLB350**
Molde de fuerza de cierre	0.25
Placa caliente de capa	125
Émbolo de golpe	2
Modo de calefacción	Electricidad/corriente
Potencia de motor	2.2 hp
Potencia térmica	2.4 Kw/Tablero
Tamaño (largo x ancho x alto)	1450 x 400 x 1300
Peso	1200 kg

Fuente: Área de carpintería

Elaboración: Investigador

Figura No. 2.6. Laminadora CNC Modelo G 680 FELDER

Fuente: Área de Carpintería

Elaborado por: Investigador

Tabla No. 2.4. *Ficha técnica de la Laminadora CNC*

PARAMETROS	**MODELO G 680 FELDER**
Tensión del motor	3 x 400 V
Grueso de Canto	0.4 - 6.1 mm
Grueso de la pieza de trabajo	8-60 mm
Alimentación de piezas	Por cadena
Velocidad de arrastre	11 m/min
Peso	990 kg
Longitud	450 x 80 cm

Fuente: Área de carpintería

Elaboración: Investigador

Figura No. 2.7. Perforadora Múltiple Modelo CMB 21

Fuente: Área de Carpintería

Elaborado por: Investigador

Tabla No. 2.5. *Ficha técnica de la Perforadora Múltiple*

PARAMETROS	**MODELO CMB 21**
Mandriles	N.21
Inter eje entre mandriles	32 mm
Profundidad de taladrado	65 mm
Longitud de mesa de trabajo	860 mm
Máxima dimensión de pieza a taladrar	900 x 3000 x 60 mm
Rotación de mandriles	2800 RPM
Potencia del motor	2 hp
Presión operacional	6 – 8 atm
Peso	240 kg

Fuente: Área de carpintería

Elaboración: Investigador

Figura No. 2.8. Escuadradora Modelo SCM MINIMAX SC4

Fuente: Área de Carpintería

Elaborado por: Investigador

Tabla No. 2.6. *Ficha técnica de la Escuadradora*

PARAMETROS	**MODELO SCM MINIMAX SC4**
Altura de corte	100 mm
Potencia de motor	8 hp
Tipo de disco a utilizar	Incisor
Deslizamiento de carro	2600 mm

Fuente: Área de carpintería

Elaboración: Investigador

Figura No. 2.9. Cortadora Láser Modelo CMB 21

Fuente: Área de Carpintería

Elaborado por: Investigador

Tabla No. 2.7. *Ficha técnica de la Cortadora Láser*

PARAMETROS	**MODELO CMB 21**
Área de trabajo	610 x 305 mm
Altura máxima de piezas	132 mm
Potencia del láser CO_2	12 – 60 Vatios
Potencia de láser fibra	10 – 30 Vatios

Fuente: Área de carpintería

Elaboración: Investigador

Análisis de la Tasa de Fallas

La Tasa de fallas, expresa la relación matemática al dividir el número de fallas entre el período de análisis. Según Sexto (2015), este valor se define como un indicador (Ecuación 1). Esta tasa expresa la probabilidad de que el equipo no funcione correctamente por un período definido, bajo específicas condiciones operativas.

$$\lambda = \frac{Tf}{Tp} \qquad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

λ: tasa de fallos (fallos/horas)

Tf: número de fallos totales en el periodo de análisis

Tp: periodo analizado

El histórico de fallas de los equipos seleccionado fue facilitado por el jefe del Área de Carpintería para el año 2019, no obstante, se ha verificó que los datos correspondieran a los trabajos de mantenimiento correctivo en el período objeto de análisis. En la Tabla No. 2.8 se presentan los datos recopilados para el cálculo de la tasa de fallos para cada equipo. Al período analizado corresponder al año 2019, esto equivale a 8 760 horas para efectos de cálculos de la tasa de fallos.

Tabla No. 2.8. *Tasa de fallos por equipos*

Máquinas	Tf (fallos)	Tp (horas)	λ (fallos/horas)
Prensa Hidráulica	153		0,01746575
Laminadora CNC	135		0,01541095
Cortadora laser	102	8 760	0,01164383
Perforadora múltiple	94		0,01073059
Escuadradora	88		0,01004566

Elaborado por: Investigador

De forma general se observa que existe una probabilidad entre 1 y 2% de fallar en estos equipos en un año. Estos resultados confirman la necesidad de diseñar un plan de mantenimiento basado en confiabilidad, para reducir estas tasas de fallos.

Área de estudio

Tabla No. 2.9. *Área de Estudio*

Dominio	Sociedad y Empresa
Línea de Investigación	Diseño, realización y caracterización de sistemas inteligentes, automáticos, semiautomáticos o manuales.
Campo	Ingeniería Industrial
Área	Mantenimiento
Aspectos	Variable independiente: Plan de Mantenimiento Variable dependiente: Tasa de fallas.
Objeto de estudio	Área de carpintería del Centro del Muchacho Trabajador
Periodo de análisis	Enero 2019 – Diciembre 2019

Elaborado por: Investigador

Modelo Operativo

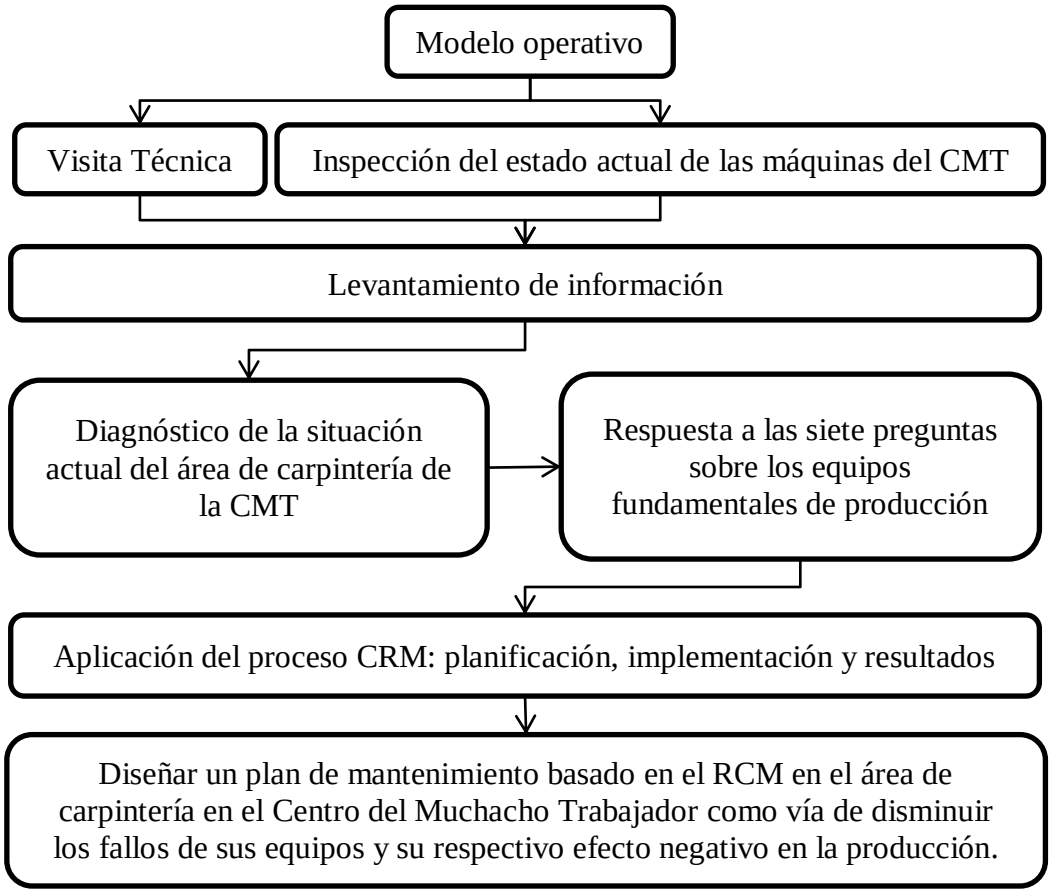


Figura No. 2.10. Modelo Operativo

Elaborado por: Investigador

Aplicación de componentes

Para el diseño de un Plan de Mantenimiento basado en el RCM (Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad) sea aplicarán varias herramientas de trabajo tales como:

Listado y codificación de equipos

Listado de equipos: el inventario de los equipos consiste una lista de todas las máquinas, de un sitio. Se elabora con fines de identificación. Se deberá elaborar una hoja de inventario de todo el equipo que muestre la identificación de éste, la descripción de la instalación, su ubicación y tipo.

Codificación del equipo: es esencial desarrollar un sistema mediante el cual se identifique de manera única a cada equipo de la planta. Se deberá establecer un sistema de códigos que ayude en este proceso de identificación. El código deberá indicar la ubicación, tipo y número de máquina.

Análisis de criticidad

Un activo crítico, es aquel con potencial de impacto significativamente positivo o negativo en el logro de los objetivos de la organización (ISO 55000, 2014). El análisis de criticidad o la Gestión del riesgo asociado a las fallas de los activos, como también se le conoce, es una metodología que establece el grado de importancia, jerarquía o prioridades de las instalaciones, sistemas y activos.

A través de este se establecen rangos relativos para presentar las probabilidades y/o frecuencias de ocurrencia de eventos (modos de fallas) y sus consecuencias asociadas. Ambas magnitudes están dirigidas a la mitigación del riesgo. En el Norsok Standard-Z008 (2011), se propone la eliminación del término "Análisis de criticidad" y en sustitución se plantea el término mantenimiento basado en riesgo y clasificación de las consecuencia.

Modos de fallo

Se entiende como cualquier evento que ocasiona que un bien (sistema o proceso) pueda fallar. Moubray (2004), planeta que es muy impreciso y simplista emplear el término "falla" a un bien como un todo, sugiere como mucho más preciso diferenciar entre "falla funcional" (estado fallido) y "modo de falla" un evento que podría causar un estado de falla). Esto lleva una definición de falla más precisa: "Un modo de falla es cualquier suceso que cause una falla funcional" (Moubray, 2004, p. 53).

SAE J1012 (2002), explica que: "se identificarán todos los modos de falla que sean causa razonablemente probable de cada falla funcional, a un nivel que sea posible identificar una política apropiada de gestión de la falla (SAE J1012, 2002, p. 14).

Moubray (2004, pp. 57-63), indica que los modos de falla se pueden clasificar en tres grupos:

Capacidad decreciente: la capacidad se queda por debajo del funcionamiento deseado, dentro de las principales causas destacan el deterioro, polvo o suciedad, desarmes, fallas de lubricación y errores humanos que reducen la capacidad.

Aumento en el desempeño deseado: que el funcionamiento deseado sobrepase la capacidad inicial, provoca que el activo físico no pueda responder el requerimiento, o que se acelere el deterioro y el activo se torne poco confiable. Dentro de sus principales causas destacan: una sobrecarga no intencional constante, una sobrecarga deliberada constante, una sobrecarga no intencional repentina o por procesamiento o material de empaque incorrecto.

Capacidad Inicial: cuando desde el inicio el activo no es capaz de hacer lo que se quiere, usualmente afecta a una o varias funciones de uno o varios componentes, por lo que se ve afectada la operatividad total del activo.

Moubray (2004), propone como la manera más eficiente de mostrar la conexión y distinción entre los estados de fallas y los eventos que pueden causarlos, listar las fallas funcionales, continuar con el registro de los modos de fallas que pueden causar cada falla funcional, considerando siempre que la descripción de una falla debe consistir como mínimo en un sustantivo y un verbo. Esta propuesta se complementa con el Análisis de Modos de Fallos Efectos y Criticidad (Gardella, 2006) (ver Anexo 2).

Un correcto análisis de RCM depende de la respuesta a siete preguntas básicas sobre el activo o sistema que se planea preservar. La Hoja AMFEC es la parte donde se puede responder estas preguntas propuestas por Moubray (2004):

1. ¿Cuáles son las funciones y respectivos estándares de desempeño de este bien en su contexto operativo?
2. ¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de sus funciones?
3. ¿Qué ocasiona cada falla funcional?
4. ¿Qué sucede cuando se produce cada falla en particular?
5. ¿De qué modo afecta cada falla?
6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?

7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra el plan de acción apropiado?

En esta hoja, se determinan los fallos que podrían surgir en el funcionamiento del activo, su impacto en la seguridad y medio ambiente, la producción, la calidad y el mantenimiento, así mismo posibilita la valoración de los fallos y cuantificarla a través del Número de Ponderación del Riesgo (NPR). El NPR lo forman tres elementos (González, 2010, p. 48):

a) **Gravedad:** Precisa la gravedad de los efectos provocados si se diera el fallo en el equipo o instalación de estudio.

   Valor 1: Las consecuencias del fallo son despreciables. No posee trascendencia para la seguridad, medio ambiente, calidad y producción. Fortuitamente pueden acarrear mínimas consecuencias para el costo directo en el mantenimiento.

   Valor 2 y 3: No existen consecuencias para la seguridad, medio ambiente, calidad y producción; existen la posibilidad de baja o moderada consecuencias para los costos directos en el mantenimiento.

   Valor 4, 5 o 6: Los efectos presentan importantes consecuencias en los costos directos en el mantenimiento y una influencia pequeña de forma adversa en la producción y/o calidad, que puedan ocasionar paradas cortas no programadas, determinadas mermas y/o rechazos por concepto de calidad. Se pueden suceder pequeños fallos ocultos secundarios de escasa transcendía. No presenta influencia en la seguridad y medio ambiente.

   Valor 7 y 8: Se vislumbra un impacto importante del efecto de fallo en la producción y/o calidad y/o elevados costos directos en el mantenimiento. Asimismo, en este rango se manifiestan importantes fallos ocultos en cadena. Pequeños o moderados efectos negativos se manifiestan para la seguridad y el medio ambiente.

   Valor 9 y 10: Representan graves consecuencias para seguridad y medio ambiente. Se presentan paralizaciones muy costosas por concepto del impacto negativo en la producción y/o calidad.

b) Frecuencia de Fallos: Número de hechos sucedidos en determinado intervalo de tiempo. (Tabla No 2.10)

Tabla No. 2.10. *Valores para la Frecuencia de fallos*

Valores	Intervalos
1	$1 > \lambda$ en más de 10 años
2	$1 \geq \lambda \geq 3$ en más de 10 años
3	$1 \geq \lambda \geq 3$ en 10 años
4	$1 \geq \lambda \geq 3$ en 5 años
5	$1 \geq \lambda \geq 3$ en 2 años
6	$1 \geq \lambda \geq 3$ por año
7	$1 \geq \lambda \geq 3$ cada seis meses
8	$1 \geq \lambda \geq 3$ cada dos meses
9	$1 \geq \lambda \geq 3$ cada semana
10	$1 \geq \lambda \geq 3$ por día

Fuente: González (2010).

Elaborado por: Investigador

c) **Detectabilidad:** Menor o mayor facilidad de detectar una causa de fallo según los recursos humanos y técnicos disponibles.

Valor 1: No existen dudas de que el fallo será detectado inmediatamente sin ambigüedades por cualquier persona.

Valor 2: La detección prácticamente es certera. Tendrá que verla probablemente algún técnico u operario especializado.

Valor 3, 4, 5: Detección razonablemente fiable. Se debe aplicar alguna técnica, método o instrumento y/o demorar tiempo en diagnosticarlo de forma definitiva.

Valor 6, 7, 8: Detección con riesgos de ser desacertada, se precisan medios y tiempo relativamente largo para diagnosticar el fallo.

Valor 9 y 10: Detección en extremo difícil, o prácticamente inviable bajo las condiciones tecnológicas presentes.

El valor ponderado del NPR, está formado por la multiplicación ponderada del 1 al 10 asignado a la gravedad, la frecuencia de fallos y la detectabilidad al fallo. Por tanto el máximo valor posible del NPR es 1000 (10 x 10 x 10) y el mínimo 1 (1 x 1 x 1). Su

utilidad radica en constituir una forma de alertar en menor o mayor medida al analista a reforzar los tipos y métodos de mantenimiento.

Tipos de mantenimiento

a) **Mantenimiento Predictivo:** Se recomienda su uso cuando son cuantificables numéricamente variables que determinan el funcionamiento de un equipo. Se almacenan los valores de las variables, generando un registro en el tiempo de la evolución de sus valores; esto permite que llegado a un punto se podrá determinar un nivel de referencia o alarma, definido como zona de peligro del valor de la variable y al existir picos del valor se llega a un nivel no aceptado o de stop del sistema. El análisis de la evolución de los valores permite identificar tendencias con las cuales se pueden prever variaciones en los valores y en función tomar decisiones antes de que se sucedan las averías destructivas del equipo o el sistema.

b) **Mantenimiento por inspección:** Se recomienda su utilización, cuando no puede cuantificarse numéricamente ninguna variable y en sustitución se puede inspeccionar el estado cualitativo del componente o del equipo objeto de análisis. Como elemento distintivo se deberá especificar el tipo de inspección necesaria y la frecuencia con que se hará.

c) **Mantenimiento por reposición o acción periódica:** Se recomienda su utilización, cuando no puede cuantificarse numéricamente ninguna variable, el elemento o componente del equipo son inspeccionables, pero se posee información de la frecuencia con que se debe accionar sobre el equipo. En diferencia se deberá especificar la operación a realizar y la frecuencia con que se hará.

d) **Rediseño o mejora:** solo cuando no sea aplicable ninguno de los mantenimientos anteriores, por lo que se deberá hacer un rediseño o mejora en el equipo estudiado. Es una opción con sentido cuando el mantenimiento que se necesite suponga un costo muy alto o una dificulta extrema producto al propio diseño del equipo. Sólo en este caso y si no existiera opción de mejorar a través del rediseño, se seleccionará esta opción.

Método de mantenimiento

En dependencia de las condiciones y características de los activos de la instalación se decidirá si se aplica el método de Fuerza de Tarea, Selectivo o el Comprensivo.

Método de Fuerza de Tarea

Ventaja: es rápido, porque solo uno o dos grupos deben transitar por la curva de aprendizaje, es fácil de manejar, ya que se trata de un número disminuido de personas, y es exitoso, que es frecuentemente el caso, se pueden obtener beneficios sustanciales (en términos de mejores rendimientos en la producción) por una inversión poco representativa.

Desventaja: no garantiza el compromiso a largo plazo de los trabajadores de la organización por buenos resultados, por tanto tienen menos probabilidades de durar, y al no estar enfocado en un marco estrecho, no tiende a facilitar la adopción de mejores prácticas en la organización.

Método selectivo

Ventaja: la inversión se realiza exclusivamente donde los resultados se consideren rápidos y medibles. Al aplicarse el RCM a una porción de los activos, el proyecto general es menos costoso y por tanto, más fácil de gestionar que si fuese a la totalidad de los activos.

Desventaja: se aplica el RCM al 20% - 40% de los activos, enfatiza mucho en el desempeño técnico y operativo de los equipos seleccionados, que en las personas de las que depende el equipo a largo plazo (operadores y mantenedores).

Método comprensivo

Ventaja: asegura a largo plazo el sentimiento de pertenencia e identificación con los problemas de mantenimiento y sus soluciones, con una mayor base en la organización. Mejora la motivación individual y el trabajo en equipo y garantiza que los resultados tengan muchas más posibilidades de durar. La mejor práctica se afianza como “parte de la manera de hacer las cosas que tenemos”.

Desventaja: es más lento, dada la masividad de personas que deben familiarizarse con la metodología de RCM, razón por la cual también se hace más difícil de manejar.

Asignación de tareas por gamas y rutas de mantenimiento

Para ello se emplea el Diagrama de Decisión CRM (Figura No. 2.11), que reflejará adecuadamente la respuesta a la pregunta número cinco del proceso RCM. Las decisiones se plasman en la hoja de decisión (Tabla No. 2.11), que permite asentar las preguntas formuladas en el diagrama de decisión, y en función de las respuestas se obtendrá (Moubray, 2004, p. 183):

- Qué mantenimiento de rutina si lo hay, con qué frecuencia será realizado y con quién lo hará.
- Qué fallas son lo suficientemente serías como para justificar el rediseño.
- Casos en los cuales se opta por tomar la estrategia de trabajas hasta el fallo.

Tabla No. 2.11. *Hoja de decisión RCM II*

Sistema:			Sistema Nº:						Facilitador:				Fecha:		Hoja Nº:	
Subsistema:			Subsistema Nº:						Auditor:				Fecha:		De:	
Referencia de información			Consecuencia de la evaluación				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a falta de			Tarea propuesta		Intervalo Inicial	Puede ser realizado por
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	H6				

Fuente: Moubray (2004, p. 183).

Elaborado por: Investigador

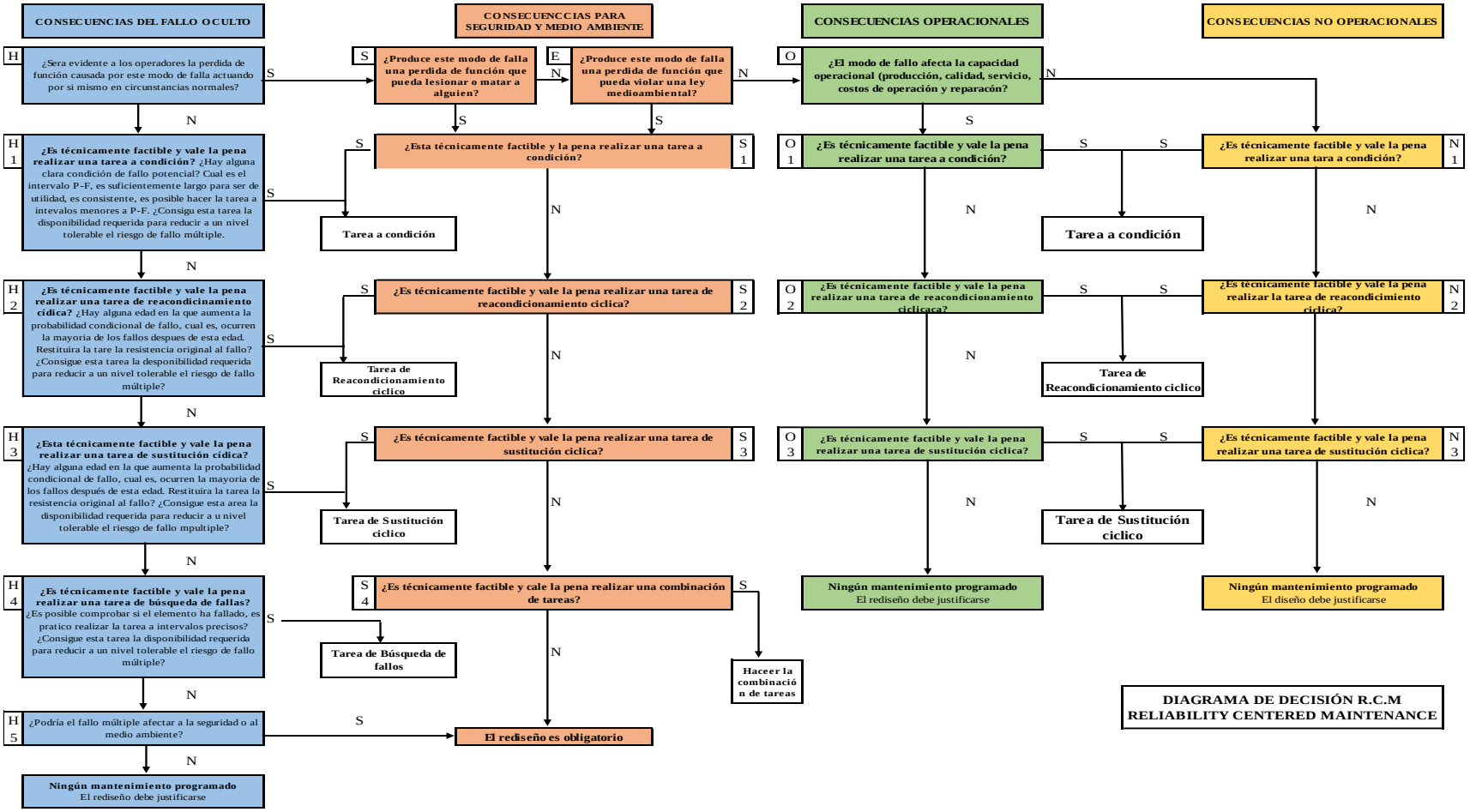


Figura No. 2.11. Diagrama de decisión RCM

Fuente: Moubray (2004, p. 184).

Elaborado por: Investigador

Elaboración de órdenes de trabajo

La Orden de Trabajo es un documento, donde se describen las características de un equipo y las acciones de mantenimiento por realizarle. Su implementación para el mantenimiento constituye un avance significativo para las organizaciones, y su emisión de forma automatizada posee innumerables ventajas, a partir de poder reprogramar las actividades que no se ejecutaron en el plazo previsto y asignarles un nuevo plazo (Zhu, Jaarsveld, & Dekker, 2020; Zuluaga & Sánchez-Silva, 2020).

Es de vital importancia a la hora de que se presenta una avería, pues luego de proceder a realizar la reparación necesaria para que el equipo funcione correctamente, es imprescindible a la hora de emitir una orden de trabajo, plasmar información resultante cuando esta ha sido ejecutada, al registrar sobre el tipo y causa de la falla en el equipo, repuestos, materiales, duración y personal necesario para la ejecución del mantenimiento, lo que garantiza dar seguimiento al equipo.

CAPITULO III.

PROPUESTA Y RESULTADOS ESPERADOS

Desarrollo de la propuesta

Para el desarrollo de la propuesta se ha puesto en marcha el análisis de los equipos de los cuales se realizará el plan de mantenimiento basado en el RCM, como prioridad se realizó el AMFEC para identificar si el equipo es un punto fundamental de la producción y así realizar la hoja de vida de los equipo según recomiendan Moubray (2004), González (2010) y Sexto (2015).

Para el despliegue del AMFEC se reunió al personal con mayor responsabilidad y experiencia del área de Carpintería del CMT, con el objetivo de efectuar una *brainstorming*, donde los participantes pudieran describir las funciones primarias o secundarias desde diversos puntos de vista para cada equipo. Claro está, se les solicitó que este desglose de funciones tuviese un límite fundado, para ganar en objetividad en el análisis.

El grupo estuvo integrado por las personas siguientes:

1. Jefe de Área de Carpintería del CMT
2. Jefe de Mantenimiento del CMT
3. Técnico en mantenimiento del Área de Carpintería
4. Investigador
5. Tutor

Las respuestas a las siete preguntas y las hojas AMFEC de cada equipo crítico (Tablas No. 3.1-3.5) se detallan a continuación:

Preguntas RCM y respuestas para Laminadora CNC

- **¿Cuáles son las funciones y respectivos estándares de desempeño de este bien en su contexto operativo?**

  Sus funciones son: Pegado de cantos.

- **¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de sus funciones?**

  Mal estado del producto (inexistencia de repuestos).

- **¿Qué ocasiona cada falla funcional?**

  Daño por uso constante.

- **¿Qué sucede cuando se produce cada falla en particular?**

  Se procede a llamar al calibrador de la máquina y reprocesos en el canteado del producto.

- **¿De qué modo afecta cada falla?**

  Retraso en proceso productivo y subida de costos.

- **¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?**

  Realizar mantenimiento correctivo total de la máquina.

- **¿Qué debe hacerse si no se encuentra el plan de acción apropiado?**

  Se debe recurrir a un plan estacionario hasta encontrar las medidas pertinentes de tratar el equipo.

Tabla No. 3.1. *Hoja AMFEC de Laminadora CNC*

AMFEC	Centro industrial: CMT Sección/Planta/Código: Carpintería Instalación/Activo: Laminadora	Subsistema: Laminadora CNC Código: CMT-C-11	No Proyecto-Ingeniería: Elaborado por: Autor Revisado por: Tutor Autorizado por:	Fecha de elaboración: 2020 (versión): 1 Hoja: 1 de 1

Activo: Laminadora CNC Código: CMT-C-11

Función/ Proceso	Parámetro	Fallos funcionales	Modos de fallo			Efectos de fallo	Consecuencias del fallo						Valoración de riesgo		
			Clasificación A	Clasificación B	Clasificación C		Fallo oculto	Producción	Seguridad y medio ambiente	Mantenimiento	Calidad	Gravedad	Frecuencia de fallos	Detectabilidad	NPR
Pegado de cantos	Calentada 180 °C	A) No ingresa la madera	1) Atasca banda transportadora	Fallo rodamientos	Falta de lubricación	Paro del proceso, 1 hora	No	Si	No	Si	No	5	6	1	30
				Sobre calentamiento			No	Si	No	Si	No	5	6	1	30
		B) No pega correctamente	1) Fallo motor	Falla enrollador de laminado	Atascamiento por impurezas	El producto final presenta imperfectos	No	Si	No	Si	Si	7	6	2	84
			2) No funciona el organizador				No	Si	No	Si	Si	7	6	2	84

Elaborado por: Investigador

Preguntas RCM y respuestas para Cortadora Laser

- **¿Cuáles son las funciones y respectivos estándares de desempeño de este bien en su contexto operativo?**

  Sus funciones son: Corte y gravado

- **¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de sus funciones?**

  No tiene problemas, en ocasiones baja potencia de corte.

- **¿Qué ocasiona cada falla funcional?**

  Desgaste de tubos y entes de corte.

- **¿Qué sucede cuando se produce cada falla en particular?**

  Se produce un mal corte en la madera.

- **¿De qué modo afecta cada falla?**

  Retraso en proceso productivo.

- **¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?**

  Realizar constantes verificaciones visuales del equipo para prevenir los paros importunos.

- **¿Qué debe hacerse si no se encuentra el plan de acción apropiado?**

  Se debe recurrir a un plan estacionario hasta encontrar las medidas pertinentes de tratar el equipo.

Tabla No. 3.2. *Hoja AMFEC de Cortadora Láser*

AMFEC	Centro industrial: CMT Sección/Planta/Código: Carpintería Instalación/Activo: Cortadora Láser	Subsistema: Cortadora Láser Código: CMT-C-07	No Proyecto-Ingeniería: Elaborado por: Autor Revisado por: Tutor Autorizado por:	Fecha de elaboración: 2020 (versión): 1 Hoja: 1 de 1

Activo: Cortadora Láser Código: CMT-C-07

Función/ Proceso	Parámetro	Fallos funcionales	Modos de fallo			Efectos de fallo	Consecuencias del fallo					Valoración de riesgo			
			Clasificación A	Clasificación B	Clasificación C		Fallo oculto	Producción	Seguridad y medio ambiente	Mantenimiento	Calidad	Gravedad	Frecuencia de fallo	Detectabilidad	NPR
Corte y gravado	12 – 60 Vatios	A) Demora en el corte de la madera	1) Falla motor	Menor velocidad	Baja tensión	Demoras en la producción, 3 horas	No	Si	No	Si	No	5	6	1	30
				2) Desgaste de tubos y entes de corte	Mal montaje	Cortes defectuosos en la madera	No	Si	No	Si	Si	7	6	2	84

Elaborado por: Investigador

Preguntas RCM y respuestas para Prensa Hidráulica

- **¿Cuáles son las funciones y respectivos estándares de desempeño de este bien en su contexto operativo?**

  Sus funciones son: Prensado de tableros y estructuras.

- **¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de sus funciones?**

  Daños en sistema de calentamiento y secado de la plancha.

- **¿Qué ocasiona cada falla funcional?**

  Uso constante y falta de mantenimiento.

- **¿Qué sucede cuando se produce cada falla en particular?**

  Tableros húmedos y falta de pegado.

- **¿De qué modo afecta cada falla?**

  Reproceso en tableros y estructuras.

- **¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?**

  Cambio de cupla de calentamiento de la prensa en un día programado.

- **¿Qué debe hacerse si no se encuentra el plan de acción apropiado?**

  Se debe recurrir a un plan estacionario hasta encontrar las medidas pertinentes de tratar el equipo.

Tabla No. 3.3. *Hoja AMFEC de Prensa Hidráulica*

AMFEC	Centro industrial: CMT Sección/Planta/Código: Carpintería Instalación/Activo: Prensa Hidráulica	Subsistema: Prensa Hidráulica Código: CMT-C-17	No Proyecto-Ingeniería: Elaborado por: Autor Revisado por: Tutor Autorizado por:	Fecha de elaboración: 2020 (versión): 1 Hoja: 1 de 1

Activo: Prensa Hidráulica Código: CMT-C-17

Función/ Proceso	Parámetro	Fallos funcionales	Modos de fallo			Efectos de fallo	Consecuencias del fallo					Valoración de riesgo			
			Clasificación A	Clasificación B	Clasificación C		Fallo oculto	Producción	Seguridad y medio ambiente	Mantenimiento	Calidad	Gravedad	Frecuencia de f	Detectabilidad	NPR
Prensado de tableros y estructuras	6 y 7 BAR (90 a 110 psi)	A) Insuficiente presión	1) Fallo motor	Sobre calentamiento	Suciedad en las aletas de enfriamiento de la carcasa del motor	Tableros húmedos	No	Si	No	Si	Si	7	6	1	84
				2) Fallo secado de plancha		Deficiente pegado	No	No	No	Si	Si	5	6	1	30

Elaborado por: Investigador

Preguntas RCM y respuestas para Perforadora múltiple

- **¿Cuáles son las funciones y respectivos estándares de desempeño de este bien en su contexto operativo?**

  Sus funciones son: Perforado horizontal y vertical.

- **¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de sus funciones?**

  No tiene problemas, rara vez presenta errores en la presión de aire.

- **¿Qué ocasiona cada falla funcional?**

  Falta de abastecimiento de aire.

- **¿Qué sucede cuando se produce cada falla en particular?**

  Retraso en proceso.

- **¿De qué modo afecta cada falla?**

  Paro de otras máquinas neumáticas.

- **¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?**

  Realizar mantenimiento preventivo.

- **¿Qué debe hacerse si no se encuentra el plan de acción apropiado?**

  Se debe recurrir a un plan estacionario hasta encontrar las medidas pertinentes de tratar el equipo.

Tabla No. 3.4. *Hoja AMFEC de Perforadora múltiple*

AMFEC	Centro industrial: CMT Sección/Planta/Código: Carpintería Instalación/Activo: Perforadora múltiple	Subsistema: Perforadora múltiple Código: CMT-C-14	No Proyecto-Ingeniería: Elaborado por: Autor Revisado por: Tutor Autorizado por:	Fecha de elaboración: 2020 (versión): 1 Hoja: 1 de 1

Activo: Perforadora múltiple Código: CMT-C-14

Función/ Proceso	Parámetro	Fallos funcionales	Modos de fallo			Efectos de fallo	Consecuencias del fallo					Valoración de riesgo			
			Clasificación A	Clasificación B	Clasificación C		Fallo oculto	Producción	Seguridad y medio ambiente	Mantenimiento	Calidad	Gravedad	Frecuencia de f.	Detectabilidad	NPR
Perforado horizontal y vertical	6 – 8 atm	A) Falla en presión de aire		1) Falla en abastecimiento de aire	Fugas de aire en acoples de mangueras	Retraso en proceso. Requiere reajuste de acoples, 2 horas	No	Si	No	Si	no	5	6	2	60

Elaborado por: Investigador

Preguntas RCM y respuestas para Escuadradora

- **¿Cuáles son las funciones y respectivos estándares de desempeño de este bien en su contexto operativo?**

  Sus funciones son: Corte y perforado vertical.

- **¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de sus funciones?**

  Tiene un solo cabezal de herramentales.

- **¿Qué ocasiona cada falla funcional?**

  Descuadre de 3mm en corte vertical.

- **¿Qué sucede cuando se produce cada falla en particular?**

  Soluciona en software de diseño CAD.

- **¿De qué modo afecta cada falla?**

  Mueble descuadrado.

- **¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?**

  Calibración y mantenimiento de la máquina.

- **¿Qué debe hacerse si no se encuentra el plan de acción apropiado?**

  Se debe recurrir a un plan estacionario hasta encontrar las medidas pertinentes de tratar el equipo.

Tabla No. 3.5. *Hoja AMFEC de Escuadradora*

AMFEC	Centro industrial: CMT Sección/Planta/Código: Carpintería Instalación/Activo: Escuadradora	Subsistema: Escuadradora Código: CMT-C-09	No Proyecto-Ingeniería: Elaborado por: Autor Revisado por: Tutor Autorizado por:	Fecha de elaboración: 2020 (versión): 1 Hoja: 1 de 1

Activo: Escuadradora Código: CMT-C-09

Función/ Proceso	Parámetro	Fallos funcionales	Modos de fallo			Efectos de fallo	Consecuencias del fallo					Valoración de riesgo			
			Clasificación A	Clasificación B	Clasificación C		Fallo oculto	Producción	Seguridad y medio ambiente	Mantenimiento	Calidad	Gravedad	Frecuencia de [illegible]	Detectabilidad	NPR
Corte y perforado vertical	100 mm	A) Tiene un solo cabezal de herramentales		1) Descuadre de 3mm en corte vertical	Mal montaje	Mueble descuadrado	No	Si	No	Si	Si	7	6	2	84

Elaborado por: Investigador

Moubray (2004), sostiene que la aplicación correcta del RCM culmina al diseñar las hojas de decisión, donde se detallan las tareas rutinarias que se necesitan realizar en intervalos regulares para que el activo se mantenga funcionando correctamente para lo que está diseñado.

Elaborado las hojas AMFEC de cada equipo crítico, se procedió con la confección de las hojas de decisión, para esto se analizó cada uno de los modos de falla a partir de la lógica que se propone en el "diagrama de decisión RCM II" que se presentó en el capítulo anterior.

En las hojas de decisión, se proponen las tareas de mantenimiento que se consideran necesarias para atenuar los eventos de fallos imprevistos que actualmente causan pérdidas en la producción del área de Carpintería en el CMT.

Para su elaboración se tuvo en cuenta las condiciones con que se cuenta en el Área de carpintería del CMT y la naturaleza de los fallos que en cada equipo se manifiestan. En función de estos criterios, se considera que las hojas de decisión desarrolladas contienen tareas lógicas y viables.

En la Tabla 3.6 se presenta la hoja de decisión RCM II para la Laminadora CNC. Para su propuesta se tuvo en cuenta los modos de fallos que presenta el equipo así como la secuencia lógica que se presenta en la figura 2.11.

Tabla No. 3.6. *Hoja de decisión RCM II de Laminadora CNC*

Sistema: Área de Carpintería	Sistema Nº:	Facilitador: Investigador	Fecha: 2020	Hoja Nº: 1
Subsistema: Laminadora CNC	Subsistema Nº: CMT-C-11	Auditor: Tutor	Fecha: 2020	De: 1

Referencia de información			Consecuencia de la evaluación				H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	Acción a falta de			Tarea propuesta	Intervalo Inicial	Puede ser realizado por
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	H6			
1	A	1	S	N	N	S	N	S					Lubricar con 50 gr de grasa POLIUREA	Mensual	Mecánico
		2	S	N	N	S	S						Monitoreo de parámetros eléctricos, corriente, voltaje; temperatura.	Quincenal	Eléctrico
	B	1	S	N	N	S	N	S					Limpiar con agua y desengrasante.	Trimestral	Mecánico
		2	S	N	N	S	N	S					Calibrar el organizador	Semestral	Instrumentista

Elaborado por: Investigador

Las tareas propuestas van encaminadas a prever posibles fallos de la Laminadora CNC, dado que estos han ocurrido en su gran mayoría por el desgaste en el uso del equipo. En la Tabla 3.7 se presenta la hoja de decisión RCM II de Cortadora Láser. Para su propuesta se tuvo en cuenta los modos de fallos que presenta el equipo así como la secuencia lógica que se presenta en la figura 2.11.

Tabla No. 3.7. *Hoja de decisión RCM II de Cortadora Láser*

Sistema: Área de Carpintería	Sistema Nº:	Facilitador: Investigador	Fecha: 2020	Hoja Nº: 1
Subsistema: Cortadora Láser	Subsistema Nº: CMT-C-07	Auditor: Tutor	Fecha: 2020	De: 1

Referencia de información			Consecuencia de la evaluación				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a falta de			Tarea propuesta	Intervalo Inicial	Puede ser realizado por
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	H6			
1	A	1	S	N	N	S	N	N	N				Reemplazar. Equipo descontinuado		Mecánico
		2	S	N	N	S	N	S					Ajustar y de requerirlo, reemplazo de tubos y entes de corte	Trimestral	Mecánico

Elaborado por: Investigador

Las tareas propuestas van enfocadas a prever posibles fallos de la Cortadora Láser, pues los fallos han ocurrido por desperfectos en partes y componentes. En la Tabla 3.8 se presenta la hoja de decisión RCM II de Prensa Hidráulica. Para su propuesta se tuvo en cuenta los modos de fallos que presenta el equipo así como la secuencia lógica que se presenta en la figura 2.11

Tabla No. 3.8. *Hoja de decisión RCM II de Prensa Hidráulica*

Sistema: Área de Carpintería	Sistema Nº:	Facilitador: Investigador	Fecha: 2020	Hoja Nº: 1
Subsistema: Prensa Hidráulica	Subsistema Nº: CMT-C-17	Auditor: Tutor	Fecha: 2020	De: 1

Referencia de información			Consecuencia de la evaluación				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a falta de			Tarea propuesta	Intervalo Inicial	Puede ser realizado por
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	H6			
1	A	1	S	N	N	S	N	S					Limpiar con agua y desengrasante.	Trimestral	Mecánico
		2	S	N	N	S	S						Monitoreo de parámetros eléctricos, corriente, voltaje; temperatura.	Mensual	Eléctrico

Elaborado por: Investigador

Las tareas propuestas van orientadas a prever posibles fallos de la Prensa Hidráulica, en función de que los fallos se han propiciado por el uso continuado e ininterrumpido que ha provocado el desgaste y la necesidad de lubricación. En la Tabla 3.9 se presenta la hoja de decisión RCM II de Perforadora múltiple. Para su propuesta se tuvo en cuenta los modos de fallos que presenta el equipo así como la secuencia lógica que se presenta en la figura 2.11

Tabla No. 3.9. *Hoja de decisión RCM II de Perforadora múltiple*

Sistema: Área de Carpintería			Sistema Nº:				Facilitador: Investigador			Fecha: 2020				Hoja Nº: 1	
Subsistema: Perforadora múltiple			Subsistema Nº: CMT-C-14				Auditor: Tutor			Fecha: 2020				De: 1	
Referencia de información			Consecuencia de la evaluación				H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	Acción a falta de			Tarea propuesta	Intervalo Inicial	Puede ser realizado por
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	H6			
1	A	1	S	N	N	S	N	N	S				Cambiar bajo condición, ante la presencia de fugas de aire	A condición	Mecánico

Elaborado por: Investigador

La tarea propuesta va encauzada a prever posibles fallos de la Perforadora múltiple, justificado en que el fallo más frecuente en el equipo se produce por el desgaste de uno de sus componente. En la Tabla 3.10 se presenta la hoja de decisión RCM II de Escuadradora. Para su propuesta se tuvo en cuenta los modos de fallos que presenta el equipo así como la secuencia lógica que se presenta en la figura 2.11

Tabla No. 3.10. *Hoja de decisión RCM II de Escuadradora*

Sistema: Área de Carpintería			Sistema Nº:				Facilitador: Investigador			Fecha: 2020				Hoja Nº: 1	
Subsistema: Escuadradora			Subsistema Nº: CMT-C-09				Auditor: Tutor			Fecha: 2020				De: 1	
Referencia de información			Consecuencia de la evaluación				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a falta de			Tarea propuesta	Intervalo Inicial	Puede ser realizado por
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	H6			
1	A	1	S	N	N	S	N	S					Verificar la alineación del cabezal, menor a 0.03 mm en vertical y horizontal	Semestral	Predictivo

Elaborado por: Investigador

La tarea propuesta va orientada a prever posibles fallos de la Escuadradora, a partir de que el fallo más frecuente sucede dado el desgaste del cabezal por el uso continuado una vez su alineación no se verificó de forma adecuada.

A partir a los resultados de los modos de falla por cada uno de los equipos seleccionados en el área de carpintería del CMT, se completaron las hojas AMFEC y se realizaron las hojas de decisión con las tareas propuestas por cada modo de falla. Con estos referentes se procedió a desarrollar la hoja de trabajo que contiene la planificación del mantenimiento propuesto para los equipos (Tabla No. 3.11).

Tabla No. 3.11. *Hoja de trabajo RCM*

Hoja de trabajo RCM	**Área de Carpintería del CMT**	**Facilitador: Investigador**	**Fecha 2020**	**Hoja 1 de 1**
Tareas de mantenimiento propuestas				
Referencia	**Detalle**		**Frecuencia**	**A realizar por:**
CMT-C-11	Lubricar con 50 gr de grasa POLIUREA.		Mensual	Mecánico
	Monitoreo de parámetros eléctricos, corriente, voltaje; temperatura.		Quincenal	Eléctrico
	Limpiar con agua y desengrasante.		Trimestral	Mecánico
	Calibrar el organizador.		Semestral	Instrumentista
CMT-C-07	Reemplazar. Equipo descontinuado.			Mecánico
	Ajustar y de requerirlo, reemplazo de tubos y entes de corte.		Trimestral	Mecánico
CMT-C-17	Limpiar con agua y desengrasante.		Trimestral	Mecánico
	Monitoreo de parámetros eléctricos, corriente, voltaje; temperatura.		Mensual	Eléctrico
CMT-C-14	Cambiar bajo condición, ante la presencia de fugas de aire.		A condición	Mecánico
CMT-C-09	Verificar la alineación del cabezal, menor a 0.03 mm en vertical y horizontal.		Semestral	Predictivo

Elaborado por: Investigador

Stock de Repuestos

En función a las actividades planificadas en la Tabla No 3.11, en la cual se detallan por equipo las acciones de mantenimiento a realizar, se definió el stock de repuestos necesarios (Tabla No. 3.12) que garantizarán las actividades de mantenimiento tanto preventivo como correctivo, de darse el fallo.

Tabla No. 3.12. *Listado de repuestos*

Descripción	Cantidad	Precio unitario (USD)
Banda transportadora Conveyor Belt	1 original	50,
Aceite lubricante	1 galón	600,00
Stepper-Motor Router Hybrid 2-Phase	1 original	12,34
Tubos y Lentes de corte	1 lote	1000,00
Acoples	5 unidades	20,00
Total		**1.762,34**

Elaborado por: Investigador

En la Tabla No 3.12 se detalla el Stock de Repuestos necesario con las cantidades y precios unitarios de adquisición. Estos precios se promediaron de varios proveedores disponibles de cada repuesto necesario.

Órdenes de Trabajo

Uno de los principales documentos que debe presentar un Plan de Mantenimiento es la Orden de Trabajo, este será emitido por el coordinador del mantenimiento al personal a cargo de ejecutar las actividades de mantenimiento. En el Anexo 3 se presenta el formato que se propone servirá para que el responsable del mantenimiento exponga las actividades de mantenimiento planificadas a realizar a los equipos.

Resultados esperados

Para el CMT es una prioridad un funcionamiento estable e ininterrumpido de sus instalaciones. Con la propuesta que se presenta en este trabajo de Plan de Mantenimiento RCM para los equipos críticos de su Área de Carpintería, se contribuye con esa necesidad. Al implementarse el plan se reducirá la tasa de fallo de los equipos seleccionados a menos del 1%, garantizando mayor continuidad del proceso, lo que se traduce en disminuir las paradas por fallos inesperados en los equipos, su respectivo efecto positivo en la productividad y el incremento de la capacidad de respuesta a las demandas.

Análisis de los costos

Con el objetivo de mostrar la factibilidad del plan propuesto se hace necesario facilitar la información que garantice confiabilidad en que el proyecto será sostenible en el tiempo. Por lo que, con este fin se emplearon los cálculos del Flujo Neto de Caja, VAN, TIR y Tasa de Descuento.

Para desarrollar los procesos de cálculos, se estableció que se necesitaría una inversión inicial de 4762,34 dólares americanos, estos se desglosan en la Tabla No. 3.13, en un ejercicio, pues la empresa tomó como política un ejercicio para el retorno de la inversión, con una tasa referencial (10,79%) de acuerdo al sector del CMT en la página oficial del Banco Central del Ecuador e inflación (-0,07%) con la que concluyó el país en el año 2019.

La determinación de las ganancias mediante la implementación de la propuesta se consideró como utilidad el ahorro que se producirá al tener los equipos funcionando un tiempo ideal, por lo que no presentarán fallos durante el proceso de producción.

En la Tabla No 3.14 se detallan las horas de paro por fallos en los equipos presentadas durante el 2019, estas se tomaron como referencia para estimar las ganancias; pues estas constituirán el ahorro que se logrará al mantener los equipos en funcionamiento ininterrumpido.

Tabla No. 3.13. *Desglose de los costos para implementar la propuesta*

Estudio del proyecto	
Estudio del proyecto	1300,00
Capacitación del personal	150,00
Desplegar la documentación	200,00
Capacitaciones	
Operarios (8)	1200,00
Responsable de Mantenimiento	150,00
Stock de repuestos	
Adquisición de repuestos	1762,34
Total	**4762,34**

Elaborado por: Investigador

Tabla No. 3.14. *Costos por concepto de paradas y reprocesos en el año 2019 en los equipos críticos*

Mes	**Horas**	**Costo/hora**	**Costo mensual**
Enero	1,0	98,25	98,25
Febrero	2,3	98,25	225,98
Marzo	0,5	98,25	49,13
Abril	23,2	98,25	2279,40
Mayo	15,5	98,25	1522,88
Junio	6,0	98,25	589,50
Julio	105,0	98,25	10316,25
Agosto	46,0	98,25	4519,50
Septiembre	28,0	98,25	2751,00
Octubre	36,0	98,25	3537,00
Noviembre	3,0	98,25	294,75
Diciembre	101,0	98,25	9923,25
Promedio	**30,6**	**98,25**	**3008,91**

Elaborado por: Investigador

Se obtuvo un ahorro promedio de 3008,91 dólares mensuales por concepto de implementar el plan de mantenimiento. Este se tomará como el flujo de caja constante para el cálculo del VAN y la TIR.

Cálculo del VAN Y TIR

En el cálculo del VAN y TIR se determinó del flujo neto de caja, el que a los efectos del presente trabajo fue el cuadre de las ganancias contra las pérdidas del 2019 contra las ganancia y pérdida disminuyendo las horas paro. Se obtuvo valores del VAN y TIR (Anexo 4) que cumplen los valores referenciales aceptados; el VAN dio positivo y la TIR es mayor que la tasa de descuento, por lo que la propuesta es factible.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1) Se identificaron los equipos con fallas más frecuentes en el área de carpintería del CMT tales como: laminadora, escuadradora, cortadora CNC, laser y prensa hidráulica. A partir del análisis correspondiente a los registros históricos de fallas durante el año objeto de estudio 2019. Se determinó su tasa de fallos, demostrándose en ellos el 80% de las mismas. Presentándose en el documento los procedimientos de operación y mantenimiento para el mencionado equipamiento.
2) Se estableció en el formato de AFMEC los indicadores correspondientes a la prevención y mantenimiento, respecto al conjunto de equipos determinados anteriormente en estado de criticidad en el área de carpintería; proponiéndose actividades de mantenimiento recomendables, plasmadas en la hoja de decisión que se diseñó para cada equipo. Encontrándose la misma en el documento elaborado.
3) Se le entrega al CMT un plan de mantenimiento RCM, con vista a su implementación en el mismo, que no pretende que se cambie la estructura y forma de trabajo en el área de carpintería, sino que se incorporen actividades coherentes y viables, que disminuyan la tasa de fallos de los equipos críticos, lo que garantizará que el equipamiento pueda cumplir con sus funciones en los tiempos adecuados.

RECOMENDACIONES

1) Se recomienda al jefe de área correspondiente a carpintería, que realice de forma inmediata y sistemática una capacitación a los operarios del equipamiento detectado con criticidad, mediante un personal externo a la entidad, quien cumplirá las funciones de facilitador sobre los conocimientos requeridos por parte del personal.
2) Se recomienda a la dirección del CMT, la aplicación de las actividades de mantenimiento plasmadas en el formato de AFMEC; así como la hoja de decisión propuesta para cada equipo considerado en estado de criticidad.
3) La adquisición de los recursos encaminados a contar con un stock de repuestos, con el fin de lograr una disponibilidad de manera inmediata ya que estos equipos son los que tienen menor confiabilidad en el área de carpintería.
4) Se recomienda al CMT la implementación en el menor tiempo posible de un plan de mantenimiento RCM para de esta forma garantizar que el equipamiento pueda cumplir con sus funciones en los tiempos adecuados.

BIBLIOGRAFÍA

Dirección de Estadísticas Económicas. (2018). Boletín Técnico IPI-M No. 06: Instituto Nacional de Estadística y Censos.

Gardella, M. (2006). *Mejora del método RCM a partir del AMFEC en Industrias Químicas*. Madrid, España: Editorial Alcion.

Ghaleb, M., Taghipour, S., Sharifi, M., & Zolfagharinia, H. (2020). Integrated production and maintenance scheduling for a single degrading machine with deterioration-based failures. *Computers & Industrial Engineering, 143*, 106432. doi: https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106432

González, M. G. (2010). *Mejora de metodología RCM a partir del AMFEC e implantación de mantenimiento preventivo y predictivo en plantas de procesos.* (Tesis doctoral), Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

Guillermo, S. A. J. (2019). *Análisis del mantenimiento preventivo en los telares toyota jat 710 en el área de tejedura de la Empresa Vicunha Ecuador S.A. Y su incidencia en la producción.* (Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Ingeniería Industrial), Universidad Tecnológica Indoamérica, Quito – Ecuador.

ISO 55000. (2014). Asset management — Overview, principles and terminology. In I. S. Organization (Ed.), (pp. 19).

Llanos, A. I. C., Arango, F. O., & Aranda, F. C. (2020). Un modelo de minimización de costos de mantenimiento de equipo médico mediante lógica difusa. *Revista mexicana de economía y finanzas, 14*(3), 379-396. doi: https://doi.org/10.21919/remef.v14i3.410

Lubrication Management. (2017). El origen y la actualidad del mantenimiento predictivo a nivel mundial. Retrieved 23 de diciembre, 2019, from http://lubricationmanagement.com/2017/07/17/el-origen-y-la-actualidad-delmantenimiento-predictivo-a-nivel-mundial/

Moubray, J. (2004). *Mantenimiento centrado en la confiabilidad*. Madrid, España: Industrial Press Inc.

Norsok Standard-Z008. (2011). Criticality analysis for maintenance purposes (pp. 34). Oscarsgt. 20, Postbox 7072 Majorstuen: Norwegian Technology Centre.

Palencia, O. G. (2014). Tendencias actuales en mantenimiento industrial. Retrieved 2019, 14 de noviembre, from http://www.reporteroindustrial.com/temas/Tendencias-actuales-en-mantenimiento-industrial+97221

Rodríguez, R. C., Rodríguez, V. G. G., & Palma, M. E. C. (2018). Diagnóstico del sistema de mantenimiento de equipos de una empresa procesadora de pescado en Guayaquil. Caso de estudio línea "A". *Identidad bolivariana, 2*(1), 1-16.

SAE J1012, S. (2002). Prácticas recomendadas para vehículos aeroespaciales y de superficie. Una Guía para la Norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) (pp. 57). USA: N.T.

Schreiber, M., Vernickel, K., Richter, C., & Reinhart, G. (2019). Integrated production and maintenance planning in cyber-physical production systems. *Procedia CIRP, 79*, 534-539. doi: https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.02.095

Sexto, L. F. (2015). Auditoría para evaluar la gestión del mantenimiento en la empresa (pp. 42). Italia.

Su, Z., Jamshidi, A., Núñez, A., Baldi, S., & De Schutter, B. (2019). Integrated condition-based track maintenance planning and crew scheduling of railway networks. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, *105*, 359-384. doi: https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.05.045

Valle, A. T. (2012). Rol del fallo mecánico en la optimización del mantenimiento en una central nuclear. *Ingeniería Mecánica*, *15*(2), 105-114.

Zhu, S., Jaarsveld, W. v., & Dekker, R. (2020). Spare parts inventory control based on maintenance planning. *Reliability Engineering & System Safety*, *193*, 106600. doi: https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.106600

Zuluaga, S., & Sánchez-Silva, M. (2020). The value of flexibility and sequential decision-making in maintenance strategies of infrastructure systems. *Structural Safety*, *84*, 101916. doi: https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2019.101916

Anexos

Anexo 1. Número de fallas por equipos durante el 2019

Cod.	Denominación	Fallas
CMT-C-01	Cabina extractora	4
CMT-C-02	Caladora	2
CMT-C-03	Canteadora	5
CMT-C-04	Cepilladora	3
CMT-C-05	Compresor	7
CMT-C-06	Compresor de lacado	12
CMT-C-07	Cortador láser	102
CMT-C-08	Disco de lijado	17
CMT-C-09	Escuadradora	88
CMT-C-10	Esmeril	21
CMT-C-11	Laminadora CNC	135
CMT-C-12	Lija de rodillo	3
CMT-C-13	Niveladora	5
CMT-C-14	Perforadora	0
CMT-C-15	Perforadora múltiple	94
CMT-C-16	Posformadora	1
CMT-C-17	Prensa hidráulica	153
CMT-C-18	Ruteadora computarizada	2
CMT-C-19	Sierra común	25
CMT-C-20	Sierra ingleteadora	14
CMT-C-21	Taladro de pedestal	12
CMT-C-22	Tronzadora	3
CMT-C-23	Tupy de banco	5
CMT-C-24	Tupy de banco pequeña	2

Anexo 2. Hoja AMFEC

AMFEC	Centro industrial: Sección/Planta/Código: Instalación/Activo:	Subsistema: Código:	No Proyecto-Ingeniería: Elaborado por: Revisado por: Autorizado por:	Fecha de elaboración: (versión): 1 Hoja: de
Activo:		Código:		
Breve descripción de la función/proceso donde interviene el activo en el contexto operativo:				

Función/ Proceso	Parámetro	Fallos funcionales	Modos de fallo			Efectos de fallo	Consecuencias del fallo					Valoración de riesgo			
			Clasificación A	Clasificación B	Clasificación C		Fallo oculto	Producción	Seguridad y medio ambiente	Mantenimiento	Calidad	Gravedad	Frecuencia de fallos	Detectabilidad	NPR

Fuente: González (2010, p. 75).

Elaborado por: Investigador

Anexo 3. Hoja de trabajo RCM

<table>
<tr><td rowspan="4">CMT</td><td colspan="2" rowspan="4">Orden de trabajo de mantenimiento</td><td>Código:</td><td></td></tr>
<tr><td>Revisión:</td><td></td></tr>
<tr><td>Fecha:</td><td></td></tr>
<tr><td>Hoja:</td><td></td></tr>
<tr><td>Fecha de realización:</td><td></td><td colspan="2">No de orden de trabajo:</td><td></td></tr>
<tr><td>Mantenimiento</td><td>Interno:</td><td colspan="3">Externo:</td></tr>
<tr><td colspan="2">Código del equipo:</td><td colspan="3">Tipo de mantenimiento:</td></tr>
<tr><td colspan="5">Tipo de actividad:</td></tr>
<tr><td colspan="5">Realizará la actividad:</td></tr>
<tr><td colspan="5">Trabajo a realizar:</td></tr>
<tr><td colspan="5">Materiales a utilizar:</td></tr>
<tr><td colspan="2">Verificado y liberado por:</td><td colspan="3">Fecha y Firma:</td></tr>
<tr><td colspan="2">Aprobado por:</td><td colspan="3">Fecha y Firma:</td></tr>
</table>

Elaborado por: Investigador

Anexo 4. Desglose de datos para determinar factibilidad de propuesta

Ingresos	**Mes 0**	**Mes 1**	**Mes 2**	**Mes 3**	**Mes 4**	**Mes 5**	**Mes 6**	**Mes 7**	**Mes 8**	**Mes 9**	**Mes 10**	**Mes 11**	**Mes 12**
Ingreso por tiempo ideal laborable del equipo		3008,91	3008,91	3008,91	3008,91	3008,91	3008,91	3008,91	3008,91	3008,91	3008,91	3008,91	3008,91
Egresos													
Estudio del proyecto	-1300,00												
Desplegar la documentación	-200,00												
Capacitaciones													
Operarios (8)	-1200,00												
Capacitación del personal	-150,00												
Responsable de Mantenimiento	-150,00												
Inversiones													
Adquisición de repuestos	-1762,34												
Flujo neto	-4762,34	3008,91	3008,91	3008,91	3008,91	3008,91	3008,91	3008,91	3008,91	3008,91	3008,91	3008,91	3008,91
VNA	19731,90												
VAN	14969,56												
TIR	63%												

Elaborado por: Investigador