

GILBERTO JOÃO PAVANI
(ORGANIZADOR)

Collection:

**APPLIED MECHANICAL
ENGINEERING
2**

GILBERTO JOÃO PAVANI
(ORGANIZADOR)

Collection:

**APPLIED MECHANICAL
ENGINEERING
2**

 **Atena**
Editora
Ano 2022

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Collection: applied mechanical engineering 2

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Gilberto João Pavani

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C697 Collection: applied mechanical engineering 2 / Organizador
Gilberto João Pavani. – Ponta Grossa - PR: Atena,
2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-982-7

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.827222904>

1. Mechanical engineering. I. Pavani, Gilberto João
(Organizador). II. Título.

CDD 621

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2022

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

A engenharia mecânica aplica os princípios da engenharia, física e ciência dos materiais para a análise, projeto, fabricação e manutenção de sistemas mecânicos como veículos, máquinas e ferramentas, requerendo a compreensão dos conceitos como automação, ciência dos materiais, cinemática, dinâmica, energia, mecânica dos fluidos, mecanismos, processos de fabricação, termodinâmica e vibrações com o auxílio de ferramentas computacionais para desenho e simulação.

A presente obra “Collection: Applied Mechanical Engineering 2” tem como objetivo a apresentação e a discussão de temas relevantes sobre a aplicação da engenharia mecânica na análise da influência dos parâmetros térmicos e estruturais da solidificação de ligas AA5052 na resistência à corrosão, análise termofluidodinâmica em trocadores de calor do tipo casco e tubo utilizando técnicas de CFD (Computational Fluid Dynamics ou dinâmica dos fluidos computacional), aparelho para exame de audiometria com Arduino, estudo de expressões matemáticas para a difusividade efetiva da água de cascas de maracujá durante a secagem, manutenção centrada em confiabilidade (RCM - Maintenance Focusing on Reliability) como estratégia para otimizar um plano de manutenção, simulação de superfícies de peças resultantes do fresamento de topo reto utilizando MATLAB ® e validação do método numérico utilizando os softwares Ansys ® e Matlab ®.

Portanto, esta obra apresenta grande potencial para contribuir com o entendimento dos temas apresentados, podendo servir como referência valiosa para novas pesquisas e estudos sobre as questões aqui discutidas.

Agradeço aos autores dos capítulos por suas valiosas contribuições e desejo aos leitores sucesso em seus futuros trabalhos de pesquisa sobre os temas apresentados nesta obra.

Gilberto João Pavani

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS TÉRMICOS E ESTRU-TURAIIS DA SOLIDIFICAÇÃO DE LIGAS AA5052 NA RESISTÊNCIA À CORROSÃO

Vinícius Pereira da Silveira
Dielson Muniz Silva
Lanna Almeida Pereira
José Roberto Pereira Rodrigues
Fabio Alejandro Carvajal Florez
Jean Robert Pereira Rodrigues

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8272229041>

CAPÍTULO 2..... 9

ANÁLISE TERMOFLUIDODINÂMICA EM TROCADORES DE CALOR DO TIPO CASCO E TUBO UTILIZANDO TÉCNICAS DE CFD

Lucas Vinícius da Silva Azevedo
Francisco Augusto Aparecido Gomes
Jakeline Loureiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8272229042>

CAPÍTULO 3..... 23

APARELHO PARA EXAME DE AUDIOMETRIA COM ARDUINO

Camila Baleiro Okado Tamashiro
Ricardo Costa Rossi
Gabriel Moisés de Camargo
João Pedro de Paiva da Silva
João Pedro Pereira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8272229043>

CAPÍTULO 4..... 29

ESTUDO DE EXPRESSÕES MATEMÁTICAS PARA A DIFUSIVIDADE EFETIVA ÁGUA DE CASCAS DE MARACUJÁ DURANTE A SECAGEM

Êmyle Myrelle Alves dos Santos
Aluizio Freire da Silva Júnior
Amélia Ruth Nascimento Lima
Josefa Dayse Lima Silva
Maria Tereza Lucena Pereira
Vera Solange de Oliveira Farias
Célia Maria Rufino Franco
Jair Stefanini Pereira de Ataíde
Luis Eduardo Araújo Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8272229044>

CAPÍTULO 5..... 40

MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (RCM) COMO ESTRATÉGIA PARA

OTIMIZAR UM PLANO DE MANUTENÇÃO

Esmeralda Hernandez Méndez

Miguel Ángel Rodríguez Lozada

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8272229045>

CAPÍTULO 6..... 53

SIMULAÇÃO DE SUPERFÍCIES DE PEÇAS RESULTANTES DO FRESAMENTO DE TOPO RETO UTILIZANDO MATLAB

Leon Yuhiti Mori Correa da Cunha

Milton Luiz Polli

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8272229046>

CAPÍTULO 7..... 61

VALIDAÇÃO DO MÉTODO NUMÉRICO UTILIZANDO OS SOFTWARES ANSYS® E MATLAB®

Marie Madeleine Sarzi Inácio

Rubens Gallo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8272229047>

SOBRE O ORGANIZADOR..... 68

ÍNDICE REMISSIVO..... 69

MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (RCM) COMO ESTRATÉGIA PARA OTIMIZAR UM PLANO DE MANUTENÇÃO

Data de aceite: 01/04/2022

Data de submissão: 04/02/2022

Esmeralda Hernandez Méndez

Tecnológico Nacional de México/ Instituto
Tecnológico de Apizaco
División de estudios de posgrado e
investigación
Tlaxcala, México

Miguel Ángel Rodríguez Lozada

Tecnológico Nacional de México/ Instituto
Tecnológico de Apizaco
División de estudios de posgrado e
investigación
Tlaxcala, México

RESUMEN: En la presente obra se presenta el desarrollo de la técnica de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) como estrategia para optimizar la planeación del mantenimiento en una empresa de la industria de fibra de vidrio y que, a su vez, es una ruta dentro del pilar de confiabilidad perteneciente a la metodología World Class Manufacturing. El objetivo principal es optimizar el plan de mantenimiento del área de rebobinado, para así poder reducir el porcentaje de las pérdidas que se tienen actualmente por el material rechazado a través de la recuperación del mismo, para eso es elemental que los equipos operen en óptimas condiciones, empleando la observación directa, pues a través de esta se realizó la recolección de datos, estableciendo comunicación con la

parte estratégica de la empresa. RCM se divide en tres etapas, la primera donde se lleva a cabo la selección, la definición y la recopilación de la información del equipo, todo esto a través de manuales, diagramas y a través del personal que lo opera, con la finalidad de conocer cómo trabaja, posteriormente en la etapa 2, análisis, se realiza una documentación del contexto operativo, es decir, una investigación sobre como funciona y bajo que parámetros debe operar, realizando la definición de los fallos funcionales que se presentan y la identificación de los indicadores, para la etapa 3 se realiza la propuesta de acciones para contrarrestar los hallazgos, lanzando estrategias que sean complemento de las tareas de mantenimiento que actualmente se tienen para el área de rebobinado, al ser una línea con un periodo corto de funcionamiento e instalación, no se cuenta con información histórica, por lo que solo se está realizando el análisis con información que se encuentra en la base de datos registrada, la cual solo comprende al mes de agosto del año 2021.

PALABRAS CLAVE: Planeación del mantenimiento, Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM), Confiabilidad, Disponibilidad.

MAINTENANCE FOCUSING ON RELIABILITY (RCM) AS A STRATEGY TO OPTIMIZE A MAINTENANCE PLAN

ABSTRACT: This work presents the development of the Reliability Centered Maintenance (RCM) technique as a strategy to optimize maintenance planning in a company of the fiberglass industry, which, in turn, is a route within the reliability pillar belonging to the World Class Manufacturing

methodology. For the development of this work, direct observation was used, since it was used to collect data, establishing communication with the strategic part of the company. RCM is divided into three stages, the first one where the selection, definition and collection of information of the equipment is carried out, all this through manuals, diagrams and through the personnel that operates it, with the purpose of knowing how it works, later in stage 2, analysis, a documentation of the operative context is made, that is to say, an investigation on how it works and under which parameters it must operate, making the definition of the functional failures that are presented and the identification of the indicators, for stage 3 the proposal of actions is made to counteract the findings, launching strategies that are complementary to the maintenance tasks that currently exist for the area of rewinding, in the field of maintenance different techniques exist for its administration, the selected technique favors the management of this since it is a complement, as mentioned at the beginning, of the WCM methodology for what it is counted with a point of view.

KEYWORDS: Maintenance Planning, Reliability Centered Maintenance (RCM), Reliability, Availability.

INTRODUCCIÓN

Las exigencias actuales en las industrias con referencia a los costos y servicios de manutención a los bienes físicos pueden brindar soluciones a ciertas inquietudes a través de la administración estratégica y técnicas modernas para el mantenimiento, lo que se está convirtiendo en un cimiento de la tercera generación y complemento de la Manufactura de Clase Mundial (WCM, del inglés World Class Manufacturing) la cual ayuda a alinear los procesos que ya existen con las nuevas tendencias, buscando optimizar la producción y la reducción de costo. El sector de la fibra de vidrio en el mercado mexicano se vuelve cada día más competido, debido a que la demanda de la misma requiere de estándares más controlados y del buen funcionamiento de sus equipos, este último es un factor muy importante para su rentabilidad y competitividad, por lo que es muy importante contar con un porcentaje alto de confiabilidad y disponibilidad de sus equipos.

Uno de los principales problemas dentro de la industria de los textiles técnicos a base de fibra de vidrio es el producto rechazado al no cumplir con los estándares de calidad y generando una pérdida significativa para la organización, este material se obtiene del proceso de recubrimiento el cual se encarga de cubrir los hilos de fibra de vidrio con plastisol, este último funciona como recubrimiento superficial otorgando resistencia a la corrosión, abrasión y electricidad, para posteriormente ser curados e ingresar a las winders, las cuales se encargan de formar bobinas, una vez que se realizó este proceso, se libera el material que cumple con las especificaciones de los clientes. Durante el periodo del 2020 al 2021, como consecuencia a la pandemia del virus SARS-CoV 2 se han realizado diferentes cambios a las variables de este proceso generando variaciones en los resultados finales, lo que ha causado el incremento de producto rechazado y trayendo pérdidas del 4% para la organización, para evitar lo anterior, se optó por adquirir 12 rebobinadoras a inicios del

año 2021 las cuales tiene como meta recuperar el 1% las pérdidas señaladas. Para cumplir, se distribuyeron los 12 equipos en 4 módulos, cada uno con 3 rebobinadoras para las que se ha planeado operen 3 turnos por día de 8 horas los 365 días del año, por lo que para el mes de agosto la estación en general de rebobinado tendría que haber operado alrededor de 8832 horas, descontando 96 horas de mantenimiento planeado que se debió haber realizado.

DESARROLLO

Para el desarrollo de RCM y con base a información que se tiene, se seleccionó el área de rebobinado, la cual pertenece al proceso de recubrimiento dentro de una empresa de fibra de vidrio y textiles técnicos, como se menciona anteriormente, los 12 equipos están distribuidos en 4 módulos, de 3 rebobinadoras, el área de mantenimiento se ha encargado de elaborar un plan para estos equipos, ya que la rentabilidad y la competitividad de una organización dependen de la operación dentro de los procesos productivos y las condiciones bajo las que operan buscando al final la excelencia para sus procesos, por lo que es importante que estos activos cuenten con la capacidad que se requiere para que realicen las funciones con base a las especificaciones así como la disponibilidad para realizar una función deseada bajo ciertas condiciones durante un periodo o intervalo de tiempo. Mantenimiento a monitoreado a estos equipos durante el mes de agosto del 2021 a través de indicadores como lo son el Mean Time Between Failures (MTBF), Mean Time to Repair (MTTR) y el Overall Equipment Effectiveness (OEE), detectando una variación en los mismos, mostrando un incremento de fallas en los equipos así como la disminución de disponibilidad, generado por la falta de una buena planeación del mantenimiento para el área de rebobinado como se había estabalecido, lo que ocasiono que no se alcanzará la producción que se tenía establecida para este periodo. Para optimizar este plan de mantenimiento y mejorar la confiabilidad y disponibilidad, se toma como estrategia desarrollar el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), técnica que pertenece al pilar de confiabilidad de la metodología World Class Manufacturing (WCM). RCM consiste en elaborar, complementar, o bien, optimizar los planes de mantenimiento basándose principalmente en la confiabilidad de los equipos, donde es importante que se involucren las diferentes áreas que conforman a una organización para lograr identificar las causas que ocasionan fallas y determinar diferentes acciones que puedan contrarrestar las averías o prevenirla, para el desarrollo de esta técnica se deben seguir los siguientes pasos:

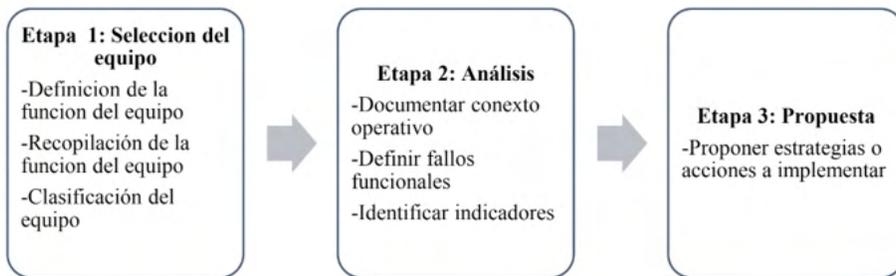


Figura 1. Etapas del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

ETAPA 1 SELECCIÓN DEL EQUIPO

Para esta etapa se selecciona el equipo con el que se va a trabajar para desarrollar la técnica RCM, el cual se ha descrito en párrafos anteriores.

Definición del equipo: El funcionamiento principal de este equipo es convertir bobinas de tipo A y B (material rechazado, scrap) tomando en cuenta la tensión generada por el hilo, el diámetro del alimentador de la bobina para optimizar espacios y tiempos, eliminando el riesgo de obsolescencia del material que se está liberando en el proceso de recubrimiento identificado como scrap, rebobinado aproximadamente 7 bobinas por día por cada rebobinadora.

Recopilación de la información: Se recabo la información del equipo seleccionado a través del manual proporcionado por el fabricante para conocer los sistemas que lo componen, se realiza la clasificación de sus componentes y la agrupación de los mismos en cada uno de los sistemas que contiene el equipo. Iniciando por el sistema mecánico el cual contiene todos los elementos que tiene como función transformar el movimiento generado a través de diferentes fuentes, enseguida se identifico el mecanismo que conforma a la rebobinadora, este es el que se encarga de transformar el scrap recolectando el hilo con determinada tensión generada por la misma y guiada a través del carro guía hilo a través de las cuerdas invertidas del cam, generando el diseño requerido por el cliente, se identificaron también los componentes que conforman la conexión del cam con el módulo de la rebobinadora y su sistema de tensión, este ultimo siendo uno de los mas importante ya que al presentar una tensión baja en el momento de realizar el rebobinado ocasiona defectos en el producto final como bobinas flojas, bobinas desmadejadas o bien, bobinas con anillos. El sistema de transmisión se encarga de transmitir la potencia generada por el motor del equipo directamente hacia las ruedas para poder desplazarse, se identifico que especialmente para este sistema las tareas elementales de mantenimiento son la inspección a las correas de distribución, al capstan y el rodillo de arrastre, una vez que detectaron cuales son los sistemas que conforman a estos equipos, se identificaron las actividades que contenía su plan de mantenimiento, iniciando desde la limpieza, inspección,

lubricación, ajuste y posteriormente, actividades más técnicas como el cambio de los carros guía hilo.

Clasificación del equipo: Se realiza la clasificación del sistema identificando características básicas como la localización, el uso y tipo de equipo y será representado a través de una pirámide con la finalidad de representar la ubicación desde el componente del equipo, el mismo equipo dentro del proceso y de la organización.

ETAPA 2: ANÁLISIS

Documentar contexto Operativo: En este punto se define el conjunto de condiciones reales del proceso bajo las cuales opera el equipo, incluyendo criterios y parámetros que se están desempeñando y son requeridos por el usuario. Se debe definir a partir de los diagramas y las descripciones del proceso en el que opera el equipo. Para este caso, se llevo a cabo una recolección de datos durante el mes de agosto del año 2021 donde se estableció el promedio en kilogramos de material que debía entregar dicha estación operando en tiempo al 100%, siendo la meta de 15,894 kg, entregando únicamente 7,479 kg y perdiendo 3,009 kg por la presencia de fallas y 1,292 kg por paros no programados relacionados con averías del módulo o por la ausencia de personal.

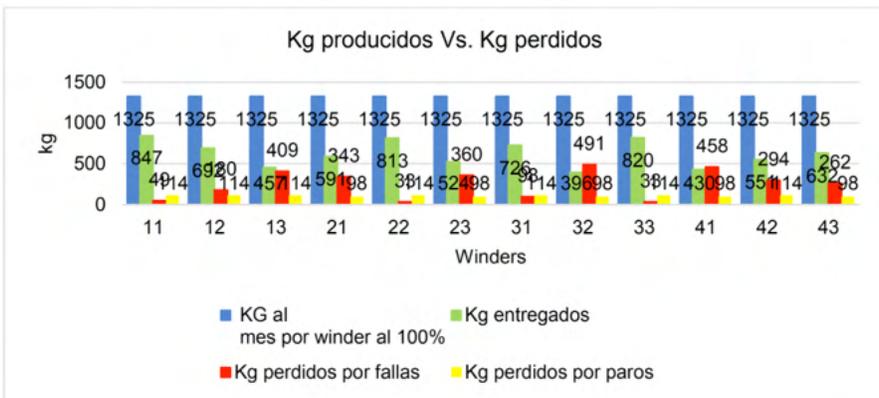


Figura 3. Grafica de kilogramos registrados producidos Vs. Perdidos.

Definir fallos funcionales: Cada rebobinadora presenta diferentes tipos de falla, las cuales fueron reportadas turno a turno en los reportes de los supervisores y algunas de ellas con ordenes en el sistema que se emplea, la falla más frecuente fue el que no avanza el guía hilo, reportándose 44 veces durante el mes, seguida de un mal embobinado, bobina floja, y deforme las cuales se presentan por la falta de tensión del hilo, como consecuencia por una mala operación del guía hilo, como se observa en el siguiente diagrama.

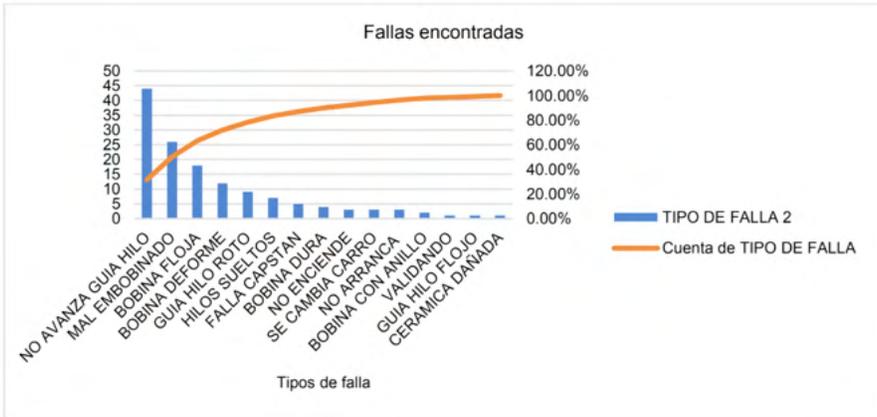


Figura 4. Grafica de fallas encontradas donde se identifican puntos de mejora.

Se realizó una comparación del tiempo expresado en porcentaje que tendrían que estar operando cada una de las rebobinadoras contra el que realmente trabajaron como se observa en la figura, contemplando de igual forma el porcentaje que se fueron a falla y estuvieron paradas, donde se puede visualizar que ninguno de los 12 equipos logró llegar al 100% que se pretendía alcanzar.

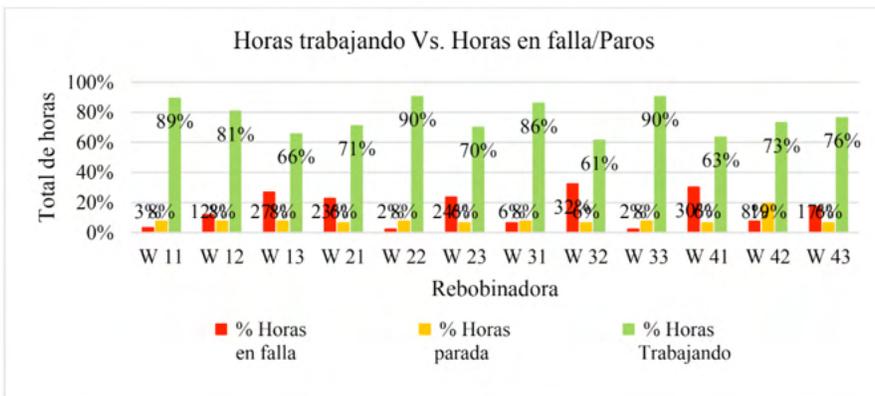


Figura 5. Grafica de tiempo registrado en horas de rebobinadoras trabajando Vs. Horas de fallas/paros.

En la siguiente tabla se muestra un ejemplo del análisis de modos y efectos de falla, la falla funcional que se tomó fue la que se reportó más veces, siendo "No avanza el guía hilo", tomando como modo de falla principal el que no cuenta con un guía hilo, representando el 32% del total de modos de falla encontrados durante el análisis y registro de datos, como se muestra en la tabla 1.

| Falla funcional | Modo de falla | Causa de falla |
|---------------------|----------------------------------|--|
| No avanza guía hilo | Falta de deslizador de guía hilo | Falta de plástico en el deslizador |
| | | Ruptura de los cerámicos de los carros |
| | | Diferencia de velocidad entre el rodillo y el capstan. |

Tabla 1. Análisis de modos y causas de falla encontrados con RCM.

Identificar indicadores

La medición del desempeño es parte fundamental para conocer el cómo se está comportando el equipo que se está analizando y como se está desempeñando el departamento de mantenimiento, midiéndolo través de indicadores clave de desempeño como lo son el OEE, el MTBF y el MTT, para calcular del OEE se deben calcular tres indicadores esenciales los cuales son la disponibilidad, el rendimiento o velocidad y la calidad, una vez identificados esos valores se deberá realizar una multiplicación de los mismos, es importante mencionar que el resultado de ser un mínimo del 85%, valor que establece la metodología WCM. Para obtener el valor de disponibilidad se deberá utilizar la siguiente ecuación: $Disponibilidad = ((Tiempo\ disponible - tiempo\ muerto) / tiempo\ disponible) \times 100\%$

Donde el tiempo disponible se obtiene restando el tiempo disponible total (duración de un turno) menos los paros programados, considerando las horas de mantenimiento planeadas que se tienen. Para esta aplicación se tomo como tiempo disponible un total de 744 horas, las cuales contemplan 3 turnos por día de 8 horas los 7 días de la semana, para los paros programados, con base a los planes de mantenimiento, se identificaron un total de 96 horas en general para la estación de rebobinado, siendo 8 horas por equipo al mes, obteniendo un total de 8832 horas, equivalente a un 75.09%.

Para calcular el rendimiento o velocidad es importante conocer la los parámetros que se necesitan del equipo, posteriormente se aplicara la siguiente ecuación para obtener el dato: $Rendimiento = Velocidad\ real\ del\ equipo / Velocidad\ de\ diseño$. Donde la velocidad real del equipo es aquella que se esta obteniendo en el proceso a diferencia de la velocidad de diseño, la cual es que trae predeterminada el equipo. Para este caso se toma como velocidad real del equipo los kilogramos que se produjeron durante el periodo seleccionado y como velocidad de diseño los kg que se han establecido para cumplir con la meta, siendo 1325 kg. En la tabla se puede observar la variación con respeto a los kilogramos que se obtuvieron, obtenido un valor del 47% en lo que respecta al porcentaje de velocidad.

| Rebobinadora | Tiempo total | Paros programados | Tiempo disponible | Disponibilidad |
|--------------|--------------|-------------------|-------------------|----------------|
| W 11 | 744 | 8 | 736 | 88.04% |
| W 12 | 744 | 8 | 736 | 79.35% |
| W 13 | 744 | 8 | 736 | 64.13% |
| W 21 | 744 | 8 | 736 | 69.57% |
| W 22 | 744 | 8 | 736 | 89.13% |
| W 23 | 744 | 8 | 736 | 68.48% |
| W 31 | 744 | 8 | 736 | 84.78% |
| W 32 | 744 | 8 | 736 | 59.78% |
| W 33 | 744 | 8 | 736 | 89.13% |
| W 41 | 744 | 8 | 736 | 61.96% |
| W 42 | 744 | 8 | 736 | 71.74% |
| W 43 | 744 | 8 | 736 | 75% |
| Total | 8928 | 96 | 8832 | 75.09% |

Tabla 2. Datos registrados para el cálculo de Disponibilidad.

| Rebobinadora | Kg Meta por mes | Kg producidos | % velocidad |
|--------------|-----------------|---------------|-------------|
| W 11 | 1325 | 847 | 64% |
| W 12 | 1325 | 692 | 52% |
| W 13 | 1325 | 457 | 35% |
| W 21 | 1325 | 591 | 45% |
| W 22 | 1325 | 813 | 61% |
| W 23 | 1325 | 524 | 40% |
| W 31 | 1325 | 726 | 55% |
| W 32 | 1325 | 396 | 30% |
| W 33 | 1325 | 820 | 62% |
| W 41 | 1325 | 430 | 32% |
| W 42 | 1325 | 551 | 42% |
| W 43 | 1325 | 632 | 48% |
| Total | 15894 | 7479 | 47% |

Tabla 3. Datos registrados para el cálculo de velocidad/ rendimiento.

El último de los parámetros para poder calcular el OEE es el porcentaje que se tiene de calidad, el cual se obtiene con base a la siguiente ecuación $\% \text{ de cal} = ((\text{Piezas producidas} - \text{defectos rechazados}) / \text{piezas que se producen}) \times 100$. Para el caso de esta aplicación, el porcentaje de calidad se tomará como 100%, ya que se está manejando material que ha sido rechazado por calidad durante su primera etapa, por lo que se ingresa al área de rebobinado con la finalidad de rescatarlo. Para poder realizar el cálculo del

OEE por cada rebobinadora se multiplicaron los valores obtenidos con respecto a la disponibilidad, la velocidad y calidad, siendo el valor de este de 36%, por debajo de lo que marca la metodología WCM y como consecuencia no se esta permitiendo alcanzar la producción esperada. Para el cálculo de MTBF, indicador que hace referencia al tiempo promedio que transcurrió entre una falla y otra, se deberá identificar el tiempo disponible, el tiempo muerto y el número de fallas que se presentaron, por rebobinadora y en general donde el tiempo muerto será el tiempo que dilato una falla o avería en el equipo, una vez realizado lo anterior se emplea la formula, para este caso el MTBF obtenido fue de 147 horas, siendo relativamente alto. Para calcularlo se emplea la fórmula $MTBF = \text{Tiempo disponible} - \text{tiempo muerto} / \text{No. de fallas}$

| Rebobinadora | Disponibilidad | %Velocidad | % Calidad | OEE |
|--------------|----------------|------------|-------------|------------|
| W 11 | 88.04% | 64% | 100% | 56% |
| W 12 | 79.35% | 52% | 100% | 41% |
| W 13 | 64.13% | 35% | 100% | 22% |
| W 21 | 69.57% | 45% | 100% | 31% |
| W 22 | 89.13% | 61% | 100% | 55% |
| W 23 | 68.48% | 40% | 100% | 27% |
| W 31 | 84.78% | 55% | 100% | 46% |
| W 32 | 59.78% | 30% | 100% | 18% |
| W 33 | 89.13% | 62% | 100% | 55% |
| W 41 | 61.96% | 32% | 100% | 20% |
| W 42 | 71.74% | 42% | 100% | 30% |
| W 43 | 75% | 48% | 100% | 36% |
| Total | 75.09% | 47% | 100% | 36% |

Tabla 4. Datos registrados para calcular OEE.

Con base a los datos registrados, se observa que la rebobinadora identificada como W-33 es la que presenta un mayor numero de horas, de 328 horas en lo que respecta al MTBF, lo que indica que el periodo entre fallas es mayor generando una mayor disponibilidad del equipo a comparación de la W-41, que presenta únicamente 17 horas entre falla y falla.

| Rebobinadora | Tiempo Disponible | Tiempo muerto | No. De fallas | MTBF |
|--------------|-------------------|---------------|---------------|------------|
| W 11 | 736 | 88 | 2 | 324 |
| W 12 | 736 | 152 | 8 | 73 |
| W 13 | 736 | 264 | 19 | 25 |
| W 21 | 736 | 224 | 18 | 28 |
| W 22 | 736 | 80 | 1 | 656 |
| W 23 | 736 | 232 | 19 | 27 |
| W 31 | 736 | 112 | 4 | 156 |
| W 32 | 736 | 296 | 19 | 23 |
| W 33 | 736 | 80 | 2 | 328 |
| W 41 | 736 | 280 | 27 | 17 |
| W 42 | 736 | 2208 | 11 | 48 |
| W 43 | 736 | 184 | 9 | 61 |
| Total | 8832 | 183 | 139 | 147 |

Tabla 5. Datos registrados para calcula el tiempo medio entre fallas (MTBF).

Para el cálculo del MTTR se tomaron en cuenta los tiempos muertos que se registraron y el número de fallas reportadas por cada rebobinadora, para este indicador lo que se busca es que el resultado sea menor, ya que esto indica que el tiempo que se toman para la reparación de los equipos es menor, por lo que habrá una mayor disponibilidad de los mismos para producir.

| Rebobinadora | Tiempo disponible | Tiempo muerto | No. de fallas | MTTR |
|--------------|-------------------|---------------|---------------|-----------|
| W 11 | 736 | 88 | 2 | 44 |
| W 12 | 736 | 152 | 8 | 19 |
| W 13 | 736 | 264 | 19 | 14 |
| W 21 | 736 | 224 | 18 | 12 |
| W 22 | 736 | 80 | 1 | 80 |
| W 23 | 736 | 232 | 19 | 12 |
| W 31 | 736 | 112 | 4 | 28 |
| W 32 | 736 | 296 | 19 | 16 |
| W 33 | 736 | 80 | 2 | 40 |
| W 41 | 736 | 280 | 27 | 10 |
| W 42 | 736 | 208 | 11 | 19 |
| W 43 | 736 | 184 | 9 | 20 |
| Total | 8832 | 183 | 139 | 41 |

Tabla 6. Datos registrados para calcular el tiempo medio para reparar (MTTR).

Se puede observar que el equipo que presenta menor tiempo para realizar las reparaciones es la rebobinadora identificada como W-21, la rebobinadora W-23 y la rebobinadora W-41, caso contrario a las rebobinadoras W-11 y W-33. A partir de los datos recabados, se observa que el total de fallas durante el periodo de agosto es elevado, estas averías se relacionaron a las tareas de mantenimiento que se están llevando a cabo, el cual se compone de 20 actividades las cuales fueron indicadas con base a manuales del equipo e información del proveedor, las cuales fue más sencillo identificar con ayuda de RCM.

ETAPA 4: PROPUESTA

Propuesta de estrategias o acciones a implementar

Para contar con una planeación de mantenimiento que está basada principalmente en la confiabilidad y disponibilidad es necesario desarrollar técnicas de mantenimiento que sean modernas y que al ser aplicadas favorezcan al área y a la organización, como es el ejemplo de RCM., para su desarrollo es importante tener identificada el área de aplicación, una vez realizado lo anterior, es elemental seguir las instrucciones que marca la misma. Con base a los datos recabados, se propone desarrollar un plan estratégico para optimizar el plan de mantenimiento que se tiene actualmente del área, donde se deberán establecer los objetivos estratégicos, las actividades a realizar para cumplir esos objetivos estratégicos y los indicadores con los que se les estará dando el debido seguimiento, la frecuencia en la que se estarán monitoreando y el responsable de los mismos. Este plan deberá incluir actividades que beneficien al área caso de estudio, al proceso al que pertenece dicha área y a la organización en general, las acciones que se proponen esta aplicación son: Medir la disponibilidad, el rendimiento y la calidad de la estación, lo que traerá como consecuencia un incremento en la productividad, emplear ensayos no destructivos a través del desarrollo de una herramienta de inspección que permita diagnosticar el estado de los equipos sin deteriorarlo, el cual se aplique durante las etapas de fabricación, montaje y operación, lo que traerá como consecuencia el desarrollo del mantenimiento predictivo, el cual será un complemento para la planeación del mantenimiento.

CONCLUSIÓN

El objetivo principal de esta investigación fue el desarrollo de la técnica RCM para optimizar el plan de mantenimiento que se tiene para el área de rebobinado del proceso de recubrimiento, ya que a través de esta se pudieron encontrar fallas que no se estaban reportando y que están afectando a los diferentes procesos por la falta de disponibilidad de los equipos, lo que esta generando un aumento en las perdidas a nivel organizacional. La finalidad de recuperar material que se ha identificado como scrap es vital, pues es importante

reconocer que el desecho de este material afecta al ser humano y al medio ambiente, a través del desarrollo de un plan estratégico, se añadirán actividades estratégicas que complementen a las tareas que ya se tienen programadas y poder aumentar los valores de la confiabilidad y disponibilidad del área, es importante saber que uno de los problemas mas grandes que enfrentan las empresas hoy en día es el aumento de los mantenimientos correctivos y los paros de línea, ocasionando la carencia de competitividad y rentabilidad. La falta de una correcta planificación y administración del mantenimiento son grandes, el trabajar con RCM como parte de WCM trae una mejora en los indicadores técnicos, por lo que se obtiene beneficios como lo son la disminución de los tiempos muertos en los equipos, el aumento de MTBF y la reducción del MTTR, así como el incremento del OEE.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por todo el apoyo brindado, al Instituto Tecnológico de Apizaco por abrirme las puertas para el desarrollo de esta investigación, Dr. Miguel Ángel Rodríguez Lozada por la dedicación y apoyo que ha brindado a este trabajo, por el respeto a las sugerencias e ideas y por la dirección y el rigor que ha facilitado a las mismas. Al Ing. Julio Cesar García Enríquez e Ing. Beatriz Cisneros Alanís, por su amabilidad, su tiempo y las ideas compartidas.

REFERENCIAS

Álvarez, A. **Los ocho pilares del TPM**. Cd. De México, 2020.

Cárcel, F. **Características de los sistemas TPM y RCM en la ingeniería del mantenimiento**. Valencia, España, 2016.

Colmenares, O. **La aplicación del Programa de Mantenimiento Preventivo, en ocasiones genera incertidumbre respecto a los componentes que actúan de manera paralela con el reparado**. Lima, Perú, 2014.

Díaz, A. **Implementación del Mantenimiento Centrado en la confiabilidad en empresas de trasmisión eléctrica**. La Habana, Cuba, 2016.

García, J. **Estructura de mantenimiento. Medellín**, Colombia.2010.

Hernández, Pedro L.; Carro, Miguel; Montes de Oca, Juan; García, Luis; Fernández, Sergio J. **Optimización del mantenimiento preventivo, utilizando las técnicas de diagnóstico integral**. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. La Habana, Cuba.

Linares. O. **Del mantenimiento correctivo al mantenimiento centrado en la confiabilidad**. Villa Clara, Cuba, 2015.

Martínez, I. **Diseño de un modelo para aplicar el mantenimiento productivo total a los sectores de bienes y servicios** México,2009.

Moubray, J. **Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad**. Industrial Press Inc.Londres, Inglaterra. s.f.

Quintero, J. **Mantenimiento con planeación estratégica**. Bogotá, Colombia, 2015.

Vázquez, D. **Indicadores de evaluación de la implementación del lean manufacturing en la industria**. Escuela de ingenierías industriales, 2013.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Alumínio 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 14

Arduino 23, 24, 25, 27

C

Casco e tubo 9, 15

CFD - Computational Fluid Dynamics 9, 22

Confiabilidade 40

Corrosão 1, 2, 4, 5, 6, 7

E

Educação 23, 29, 68

F

Fresamento 53, 54, 57, 59, 67

I

Impedância 1, 4, 6, 7

M

Manutenção Centrada em Confiabilidade - RCM 40

MATLAB 53, 54, 65

Método direto 61, 62, 66

Método dos volumes finitos 21, 30, 32, 38

Modelos difusivos 30, 31, 35

O

OpenFOAM 9, 10, 13, 14, 21, 22

Otimização 30, 34, 36, 38

R

Robótica 23, 25

S

Saúde 23, 24, 25, 27, 29, 68

Simulação 10, 13, 15, 19, 21, 30, 53, 54, 57, 58, 59, 61, 63, 65

Simulação numérica 21, 61

Solidificação 1, 2, 3, 5

Solução numérica 29, 30, 31, 32, 33, 34

T

Transferência de calor 9, 10, 12, 15, 16, 17, 20, 21, 22, 39, 61, 62, 65, 66, 67

Trocador de calor 9

U

Usinagem 53, 54, 67

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 @atenaeditora
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Collection:

APPLIED MECHANICAL ENGINEERING 2

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 @atenaeditora
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Collection:

APPLIED MECHANICAL ENGINEERING 2