



**Plan de gestión y mantenimiento de rodillos
en sistemas litográficos de hojalata**

Jonathan Avila Tangarife

Ingeniería Mecánica

Modalidad de Práctica Coursada

Semestre de Industria

Asesor interno

Juan Carlos Orrego Barrera, Ingeniero mecánico

Presidente ACIEM

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

pregrado

Medellin

2024

Cita	(Avila Tangarife, 2024)
Referencia	Avila Tangarife, J. (2024). Plan de Gestión y Mantenimiento de Rodillos en Sistemas Litográficos de Hojalata. [Trabajo de grado, Universidad de Antioquia].



Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Ingeniero Juan Esteban García, por su invaluable ayuda en la planeación de este trabajo y por proporcionarme los conocimientos técnicos necesarios para llevarlo a cabo. Su orientación y apoyo han sido fundamentales para el desarrollo de este proyecto.

Asimismo, agradezco profundamente al Profesor Juan Carlos Orrego por su colaboración en la realización de este ensayo. Su guía, basada en su vasta experiencia y conocimientos en el campo del mantenimiento preventivo, ha sido crucial para la culminación exitosa de este trabajo.

Lista de tablas

<i>Tabla 1 Referencias linea de corte.....</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 2 Disponibilidad mensual</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 3 Inventario Hoe.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 4 inventario Tándem Crabtree.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 5 inventario Mailander</i>	<i>40</i>

Tabla de contenido

GLOSARIO	7
RESUMEN	8
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	12
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.1 ANTECEDENTES	14
JUSTIFICACIÓN	20
OBJETIVOS	21
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	21
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
MARCO TEÓRICO	22
RESULTADOS	37
DISEÑO DE LAS BASES PARA UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM)	44
PLANTEAMIENTO MODELO MATEMÁTICO PARA EL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM	61
CONCLUSIONES	65
REFERENCIAS	66

Lista de figuras

<i>Ilustración 1</i> planos de planta metálicos	15
<i>Ilustración 2</i> Tapas y fondos	19
<i>Ilustración 3</i> Litográfica Hoe	23
<i>Ilustración 4</i> Defectos de impresión	24
<i>Ilustración 5</i> Plano batería Hoe	25
<i>Ilustración 6</i> Litográfica Mailander	26
<i>Ilustración 7</i> rodillos mailander	27
<i>Ilustración 8</i> Litográfica Tándem Hoe	28
<i>Ilustración 9</i> Litográfica Tándem Crabtree	29
<i>Ilustración 10</i> Rodillos Crabtree	30
<i>Ilustración 11</i> estantería de rodillos	33

Glosario

Modo de Falla (MF): Describe la forma específica en la que un componente o sistema puede dejar de cumplir su función deseada.

Falla Funcional: Especifica una condición o comportamiento del sistema que se considera no aceptable debido a su impacto en la operación o rendimiento.

Falla Oculta/Evidente: Indica si la falla es visible de inmediato o no, respectivamente, para los operadores o técnicos sin una inspección detallada.

Efecto Local: Consecuencia inmediata de la falla en el área directamente afectada por el modo de falla.

Efecto Subsecuente: Consecuencia secundaria o a largo plazo que resulta de la falla inicial y afecta a otros componentes o al sistema en su conjunto.

Resumen

El presente trabajo de grado se enfoca en la optimización del mantenimiento de los rodillos en las máquinas litográficas de la empresa Prodivasas SA, ubicada en Medellín. Prodivasas SA, con más de tres décadas de experiencia en la fabricación de envases de hojalata, aluminio y plástico, enfrenta desafíos en su área de litografía, la cual es crucial para la impresión de las láminas metálicas.

Se identificaron varias problemáticas principales: la falta de organización en la rodillería de repuesto, la ausencia de registros detallados de los trabajos de mantenimiento realizados en los rodillos, la carencia de un inventario exhaustivo de los activos y la falta de formatos y fichas técnicas específicas para cada rodillo. Además, no se tiene un control sobre la cantidad de láminas procesadas antes de que un rodillo comience a fallar.

Para abordar estos desafíos, se implementó un sistema de marcación y gestión de los rodillos, mejorando la organización y el seguimiento de los mismos mediante la creación de un inventario detallado y la utilización de formatos específicos. Además, se aplicaron los principios del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) para identificar modos de falla, causas raíz y efectos, desarrollando un plan de mantenimiento preventivo y correctivo.

Este trabajo tiene como objetivo principal mejorar la eficiencia operativa y la confiabilidad de las máquinas litográficas, reduciendo los tiempos de inactividad no planificados y optimizando el rendimiento de los rodillos. La implementación de estas estrategias contribuirá a garantizar la continuidad de las operaciones y fortalecerá la posición competitiva de Prodivasas SA en el mercado de envases.

Palabras clave: mantenimiento preventivo, rodillos litográficos, gestión de activos, análisis RCM, identificación de rodillos, inspección de maquinaria, marcación de estanterías

Abstract

This undergraduate thesis focuses on optimizing the maintenance of rollers in the lithographic machines at Prodevases SA, located in Medellín. Prodevases SA, with over three decades of experience in manufacturing tinplate, aluminum, and plastic containers, faces challenges in its lithography area, which is crucial for printing metallic sheets.

Several main issues were identified: lack of organization in spare rollers, absence of detailed maintenance records for the rollers, lack of a comprehensive inventory of assets, and the absence of specific formats and technical datasheets for each roller. Additionally, there is no control over the number of sheets processed before a roller begins to fail.

To address these challenges, a roller marking and management system was implemented, improving organization and tracking through the creation of a detailed inventory and the use of specific formats. Additionally, the principles of Reliability-Centered Maintenance (RCM) were applied to identify failure modes, root causes, and effects, developing a preventive and corrective maintenance plan.

The main objective of this work is to improve the operational efficiency and reliability of lithographic machines, reducing unplanned downtime and optimizing roller performance. Implementing these strategies will help ensure the continuity of operations and strengthen Prodevases SA's competitive position in the packaging market.

Keywords: preventive maintenance, lithographic rollers, asset management, RCM analysis, roller identification, machinery inspection, shelf marking

Introducción

Para este trabajo se tiene como base que las organizaciones necesitan mejorar sus procesos de producción para mantenerse por delante de la competencia y adaptarse a las condiciones cambiantes del mercado.

La empresa Prodevases SAS tiene que mejorar la eficiencia de las máquinas esenciales en el área de litografía. El informe examina cómo están utilizando el mantenimiento centrado en la confiabilidad para abordar un problema particular.

Este trabajo tiene como objetivo crear un plan de mantenimiento de los rodillos de la sección de litografía de la planta de Prodevases SAS, con el objetivo de mejorar la eficiencia operativa y reducir los problemas causados por la ausencia de un enfoque de mantenimiento estructurado.

El Trabajo y análisis estará guiado por un conjunto de objetivos específicos que han sido diseñados para lograr este propósito. Para empezar, recopilaremos datos completos sobre el funcionamiento y los componentes de las máquinas de cada línea de producción, con especial énfasis en los rodillos litográficos.

Después, los datos se clasificarán y examinarán para cada línea de producción y máquina, con el fin de encontrar patrones y áreas donde se puedan realizar mejoras. Además, se realizará un análisis comparativo de los elementos esenciales de la planta, incluyendo confiabilidad, gastos y productividad, para evaluar su desempeño actual e identificar áreas que requieren atención inmediata. Tras la realización de estos estudios, se creará una estrategia de mantenimiento personalizada para los equipos del área de litografía, los cuales serán sometidos a una exhaustiva evaluación para verificar su eficiencia e idoneidad. Producto: la ejecución efectiva de este programa de mantenimiento no solo mejorará la eficiencia operativa de la planta de Prodevases SAS, sino que también abordará problemas actuales en el área de litografía, fomentando así un ambiente de trabajo más seguro.

1 planteamiento del problema

Prodevases SA, una empresa con más de tres décadas de experiencia en la fabricación de envases de hojalata, aluminio y plástico, enfrenta una serie de desafíos en el mantenimiento de sus rodillos litográficos. El área de litografía es crucial para la impresión de láminas metálicas, y cualquier falla en este proceso puede resultar en tiempos de inactividad costosos y una disminución en la calidad del producto.

La problemática principal radica en la falta de organización y gestión efectiva de los rodillos de repuesto. Actualmente, no existe un sistema de marcación claro en las estanterías, lo que dificulta la identificación rápida y precisa de los rodillos necesarios. Además, no se cuenta con registros detallados de los trabajos de mantenimiento realizados, ni con un inventario exhaustivo de los activos disponibles. La ausencia de formatos y fichas técnicas específicas para cada rodillo agrava aún más la situación, ya que impide llevar un control riguroso del estado y las condiciones de cada componente.

Otro problema crítico es la falta de control sobre la cantidad de láminas procesadas antes de que un rodillo comience a fallar. Esta falta de monitoreo preventivo conduce a fallas inesperadas y frecuentes interrupciones en la producción, afectando la eficiencia operativa y la productividad de la empresa.

En este contexto, surge la necesidad de implementar un sistema integral de gestión y marcación de rodillos, que permita una organización más eficiente, un seguimiento detallado del estado de cada componente y la aplicación de principios de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). Este sistema no solo ayudará a reducir los tiempos de inactividad no planificados, sino que también optimizará el rendimiento de los rodillos, mejorando la confiabilidad y eficiencia de las máquinas litográficas.

La presente práctica se enfoca en abordar estos problemas mediante la creación de un inventario detallado, la implementación de un sistema de marcación con códigos QR y el desarrollo de un plan de mantenimiento basado en RCM. Estos esfuerzos buscan garantizar la continuidad de las operaciones y fortalecer la posición competitiva de Prodevases SA en el mercado de envases.

1.1 Antecedentes

El proceso de fabricación de envases de hojalata en esta planta es crucial ya que los ingresos netos por cuenta de estos representan un 74% de los ingresos totales de la empresa, además abarca diversas etapas, desde la recepción de la materia prima hasta el empaque de los envases terminados. No obstante, uno de los puntos críticos se encuentra en el área de litografía, ya que sin la Litografía no podría salir el envase que requiere el cliente, lo cual generaría paro en la producción, allí se ejecutan operaciones clave como el recubrimiento de las láminas con una capa de tinta y el posterior proceso de fabricación de tapas y fondos, seguido del ensamble de los envases.

A pesar de la vasta experiencia y la sólida infraestructura de la empresa, el área de litografía enfrenta desafíos significativos en cuanto a la eficiencia y confiabilidad en el funcionamiento de las máquinas utilizadas específicamente en los procesos de litografía. Estos desafíos se manifiestan en tiempos de inactividad no planificado este tiempo varía dependiendo del daño de la máquina, ya que nos enfocaremos en los rodillos, este tiempo suele ser de 1 día para rectificado, 1 día para corrección de eje y hasta 5 días para el rencauche; el desperdicio de materia prima y producción de envases defectuoso por parte de Litografía representa alrededor de un 3% de la producción total, ya que generalmente se identifica la falla y se para la máquina, esto impacta negativamente en la productividad y rentabilidad de la planta ya que por cada día de paro de cualquiera de estas maquinas se dejan de producir aproximadamente 15.000 unidades

Además, la carencia de un plan de mantenimiento estructurado para las máquinas de litografía, especialmente en lo referente a los rodillos responsables de distribuir la tinta, agrava la situación, dificultando la identificación proactiva y la resolución de problemas antes de que afecten la producción.

Por tanto, surge una necesidad urgente de abordar estos desafíos mediante la implementación de un enfoque de mantenimiento centrado en la confiabilidad, que permita mejorar la eficiencia operativa, reducir los tiempos de inactividad no planificado en un 90%, ya que se pretende que siempre esté disponible un repuesto para estos daños, únicamente se tendría inoperatividad mientras se realiza el cambio de estos rodillos, lo cual no tarda más de 45 min, al

igual que optimizar el rendimiento de los rodillos en un 25% al realizar un seguimiento periódico de las máquinas en el área de litografía. Esta estrategia no solo contribuirá a garantizar la continuidad de las operaciones, sino que también fortalecerá la posición competitiva de Prodevases SA en el mercado de envases.

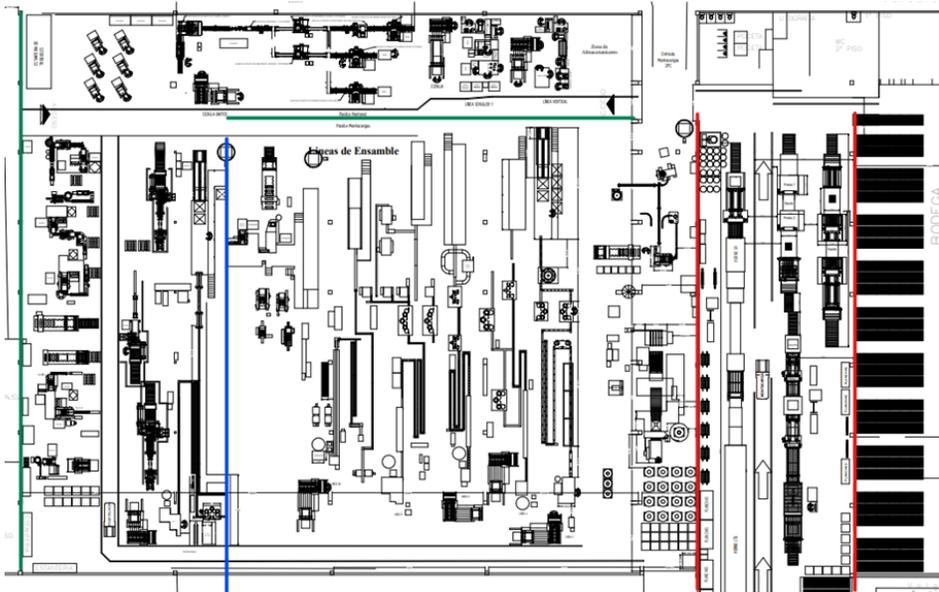


Ilustración 1 planos de planta metálicos

El sector de metálicos en la planta de Prodevases SA se organiza en cuatro zonas de importancia, cada una identificada por un color en la figura proporcionada. Comenzaremos explorando cada una de estas zonas en detalle:

1. Área de Corte (Color Naranja):

En esta área, ubicada al inicio del proceso de fabricación, se recibe el material de hojalata y aluminio que se utilizará en la producción de envases. La primera etapa del proceso implica el corte de estas láminas, las cuales son unas 20.000 und en promedio diarias, según las necesidades de referencia específicas de la planta. Esto se logra mediante una máquina cortadora, la cual corta las láminas en las dimensiones requeridas, estas podemos observarlas en detalle en la Tabla 1. Luego, las láminas pasan a un troquel de resroll, que se encarga de realizar cortes precisos en las láminas según las especificaciones de diseño. Algunas de estas láminas son posteriormente enviadas al sector de litografía para realizar el estampado de la marca cuando el cliente lo requiere o para aplicar el barniz.

Tabla 1 Referencias linea de corte

INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.18 T3 CA 791X1041 2.8-2.8
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.18 T3 CA 791X911 2.8-2.8
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.18 T3 CA 839X1041 2.8-2.8
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.18 T3 CA 850X911 2.8-2.8
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.18 T5 CA 843X1045 2.2-2.2 RECTO ENVASE 1 GALON
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.18 T5 CA 897X1000 2.2-2.2
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.18 T5 CA 897X809 2.2-2.2
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.18 T5 CA 897X942 2.2-2.2
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.18 T5 CA 897X942 2.8-2.8
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.19 T3 CA 892X800 2.2-2.2 SCROLL
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.21 T2 CA 826X786.8 2.2-2.2 SCROLL
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.21 T2.5 CA 891X700 2.2-2.2
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.21 T2.5 CA 902X792 2.2-2.2 SCROLL
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.21 T5 CA 789X1045 2.2-2.2 RECTO ENVASE 1 GALON
INTERMEDIO LAMINA CORTADA TFS 0.16 DR8 965.7X766.6 SCROLL ATUN
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.19 T3 CA 892X695 2.2-2.2 RECTO
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.19 T2 CA 789X708 2.2-2.2 SCROLL
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.19 T3 CA 892X873 2.2-2.2 RECTO
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.21 T2 CA 891X873 2.2-2.2 RECTO
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.19 T3 CA 892X738 2.2-2.2 SCROLL TAPA OCTOGONAL
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP-B 0.19 T3 CA 828X590 2.2-2.2 RECTO
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.19 T3 CA 828X793 2.2-2.2 RECTO
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.18 T3 CA 850X1041 2.8-2.8 RECTO
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.19 T3 CA 856X885 2.2-2.2 RECTO
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP-B 0.19 T3 CA 792X828 2.2-2.2 RECTO

INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.18 T3 CA 890X982 2.8-2.8 RECTO
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.19 T3 CA 828X779 2.2-2.2 SCROLL
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP-B 0.16 DR7.5 CA 850X1039 2.8-2.8
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP-B 0.19 T3 CA 792X701 2.2-2.2 SCROLL TAPA 141
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP-B 0.16 DR7.5 CA 850X1060 2.8-2.8
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP-B 0.19 T3 CA 828X703 2.2-2.2 RECTO
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.19 T3 CA 856X912 2.2-2.2 RECTO
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.19 T3 CA 856X1037 2.2-2.2 RECTO
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.21 T2 CA 891X695 2.2-2.2 RECTO
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.19 T3 CA 828X708 2.2-2.2 SCROLL TAPA 186 X6
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.21 T2.5 CA 891X643 2.2-2.2 SCROLL TAPA 270 X6
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP-B 0.19 T3 CA 892X687 2.2-2.2 SCROLL FONDO OCTOGONAL X12
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP-B 0.19 T3 CA 792X590 2.2-2.2 RECTO
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP-B 0.19 T3 CA 792X775 2.2-2.2 RECTO
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.21 T2 CA 826X633 2.2-2.2 SCROLL FONDO 270 X6
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.16 DR7.5 CA 850X1060 2.8-2.8
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.21 T2 CA 826X786.8 2.2-2.2 SCROLL ANILLO MITSUI
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.19 T3 CA 828X708 2.2-2.2 SCROLL TAPA 186 X12
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.19 T3 CA 792X690 2.2-2.2 RECTO
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.19 T3 CA 792X701 2.2-2.2 SCROLL TAPA 141
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.16 DR7.5 CA 850X1039 2.8-2.8
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.18 T5 CA 897X935.15 2.8-2.8 FONDO GALON
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.22 T4 CA 911X1045 2.8-2.8
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.18 T5 CA 907X743.1 2.8-2.8 RECTO FONDO 1 GALON
INTERMEDIO LAMINA CORTADA ETP 0.21 T2.5 CA 826X1007.2 2.2-2.2.

A continuación, se tiene un diagrama detallado de las áreas que componen el sector de metálicos, donde puede identificarse entre las barras rojas el área de Litografía, entre las azules ensamble y verde para troquelado.

2. Sector de Litografía (Color Rojo):

En esta sección, se encuentran las máquinas litográficas, que son esenciales para el proceso de estampado en la hojalata. Estas máquinas aplican la tinta y el diseño sobre las láminas de metal, agregando valor al producto final de entre \$200 a \$400 dependiendo la referencia. Ya que el un envase de Galon con Litografía cuesta \$ 4.300 y uno sin ella tiene un valor de \$ 4.000 Además de las máquinas de estampado, también está presente la máquina barnizadora, que se encarga de aplicar el barniz a la hojalata el cual es en promedio 55 galones por 10.000 láminas según sea necesario, esta cantidad varia dependiendo de la referencia de la lámina y del estándar requerido para las unidades a producir. Este proceso de barnizado es crucial, ya que permite que las láminas fluyan más fácilmente en las máquinas durante los procesos posteriores, como el troquelado.

3. Sector de Troquelado (Color Verde):

Este sector está dedicado al troquelado de las tapas y fondos de los envases. Aquí, las láminas se cortan en partes específicas para dar forma a los componentes individuales de los envases según las referencias solicitadas por el cliente. Mas específicamente de los extremos de los envases, tal como podemos observar en la ilustración 2. Estos troqueles garantizan la precisión y consistencia en el corte de las láminas, lo que es crucial para la calidad del producto final.

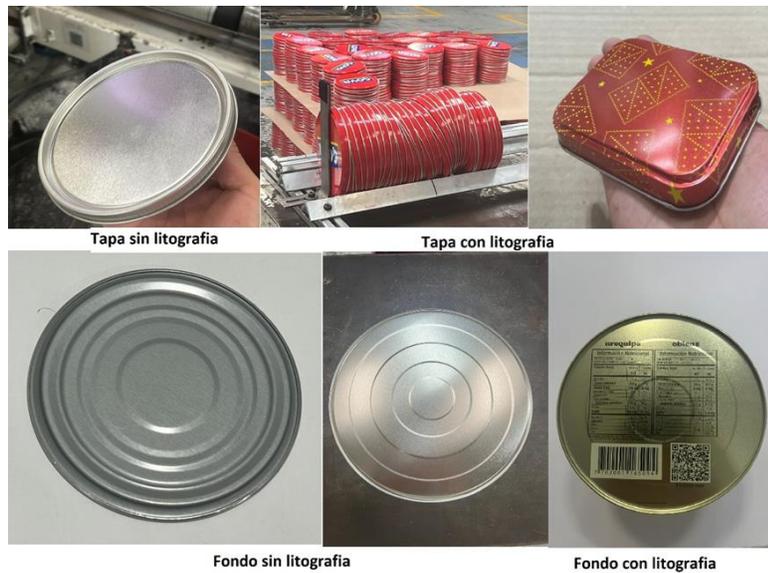


Ilustración 2 Tapas y fondos

4. Sector de Ensamble (Color Azul):

Finalmente, en el sector de ensamble, las láminas litografiadas y troqueladas se ensamblan para formar los envases completos. Las máquinas en este sector son responsables de soldar las láminas y darles forma para conformar el cuerpo de los envases. Además, en este sector también se ensamblan las tapas y los fondos realizados en los troqueles para completar el envase, los cuales generalmente llevan una tapa y fondo por cada cuerpo ensamblado. Una vez ensamblados, se les realiza una inspección de calidad y se pasan al paletizador allí los envases se empacan y se preparan para su transporte.

2 Justificación

La optimización del mantenimiento de los rodillos en las máquinas litográficas de Prodevases SA es crucial para garantizar la eficiencia operativa y la calidad de los productos. La selección de este tema responde a la necesidad de abordar problemas recurrentes en la organización y gestión de los rodillos de repuesto, los cuales impactan negativamente en la producción y competitividad de la empresa.

La falta de un sistema de marcación claro en las estanterías y la ausencia de registros detallados sobre los trabajos de mantenimiento y el estado de los rodillos representan una limitación significativa para la empresa. Estos problemas resultan en tiempos de inactividad no planificados, fallas inesperadas y una disminución en la calidad del producto. Además, la falta de control sobre la cantidad de láminas procesadas antes de que un rodillo comience a fallar impide implementar un mantenimiento preventivo eficaz.

La implementación de un sistema integral de gestión y marcación de rodillos, basado en los principios de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), no solo ayudará a resolver estos problemas, sino que también proporcionará beneficios adicionales. Un inventario detallado y un sistema de marcación con códigos QR permitirán una organización más eficiente y un seguimiento preciso del estado de cada rodillo. Esto facilitará la identificación rápida y precisa de los rodillos necesarios, reduciendo los errores de montaje y optimizando el rendimiento de las máquinas litográficas.

Este proyecto de práctica tiene un aporte significativo a la ingeniería al aplicar metodologías avanzadas de mantenimiento y gestión de activos en un entorno industrial real. La experiencia adquirida y las soluciones desarrolladas en este proyecto pueden ser aplicadas en otras empresas del sector, contribuyendo al avance del mantenimiento preventivo y predictivo en la industria. Además, el uso de tecnologías modernas, como los códigos QR y las herramientas móviles para reportes de mantenimiento, demuestra la integración efectiva de la tecnología en los procesos industriales, mejorando la eficiencia y la confiabilidad de las operaciones.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Optimizar el mantenimiento y la gestión de los rodillos en las máquinas litográficas de Prodevases SA, mediante la implementación de un sistema de marcación y seguimiento, basado en los principios del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), para mejorar la eficiencia operativa, reducir los tiempos de inactividad no planificados y garantizar la calidad de los productos impresos.

3.2 Objetivos específicos

- Diseñar un sistema de organización efectivo para la rodillería de las máquinas litográficas,
- asegurando una disposición ordenada y fácilmente accesible de los rodillos en el área de trabajo.
- Diseñar un sistema de registro completo y actualizado de los rencauches y trabajos realizados en los rodillos, garantizando un seguimiento adecuado de su historial de mantenimiento.
- Realizar un inventario completo y detallado de todos los activos relacionados con las máquinas litográficas, incluyendo rodillos, repuestos y herramientas, para garantizar una gestión eficiente de los recursos.
- Desarrollar formatos y fichas técnicas estandarizadas que contengan información detallada sobre los rodillos, facilitando su identificación, seguimiento y mantenimiento.
- Establecer un sistema de monitoreo y control para registrar la cantidad de láminas que pasan por cada rodillo y detectar señales tempranas de falla o deterioro.

4 Marco teórico

En Prodevases SA, el proceso de litografía desempeña un papel crucial en la fabricación de envases de hojalata y aluminio, permitiendo la aplicación de colores y diseños personalizados según las especificaciones del cliente. Uno de los componentes fundamentales de las máquinas litográficas son los rodillos, los cuales cumplen diferentes funciones y varían en términos de diámetro, longitud, dureza y material.

Dado que la empresa trabaja con hojalata y aluminio, algunos de estos materiales deben ser litografiados para lograr los colores y diseños requeridos por el cliente. Esto implica un proceso meticuloso que comienza con el análisis de los colores a utilizar y la determinación de si es necesario aplicar varias capas para lograr los resultados deseados ya que en el momento todas las maquinas están equipadas solo para realizar una sola aplicación, “monocromática” así el diseño sea para trabajar con 2 colores como es el caso de la prensa litográfica hoe.

Para garantizar la precisión y consistencia en la mezcla de colores, Prodevases SA cuenta con un equipo de expertos en litografía de hojalata, quienes supervisan y dirigen el proceso de mezcla de tintes. Estos expertos utilizan los planos de la batería completa para identificar los rodillos necesarios y determinar la configuración óptima para cada máquina litográfica.

En la planta, se encuentran actualmente cuatro máquinas litográficas, cada una con características y capacidades específicas:

Litográfica Hoe:

La máquina litográfica Hoe es ampliamente reconocida en la industria por su robustez con unas dimensiones de 19.53 m de largo y 2.1 m de ancho y versatilidad ya que ofrece la opción de trabajar con diferentes tintes para formar el color final esperado. Equipada con avanzadas tecnologías de impresión, esta máquina ofrece una alta precisión en la aplicación de tintas sobre superficies de hojalata y aluminio. (Company, 1902)

Su diseño cuenta con 2 módulos de impresión, lo cual permite una fácil adaptación a diferentes tamaños de sustratos y requisitos de producción, lo que la convierte en una opción ideal para entornos de fabricación de envases con una amplia gama de productos.

La Litográfica Hoe se caracteriza por su eficiencia energética y su capacidad para operar con mínimos tiempos de inactividad, lo que garantiza una producción continua y confiable.

Esta máquina está diseñada para trabajar con dos colores, pero actualmente tiene una parte deshabilitada como podemos observar en la ilustración 2 en la parte marcada.

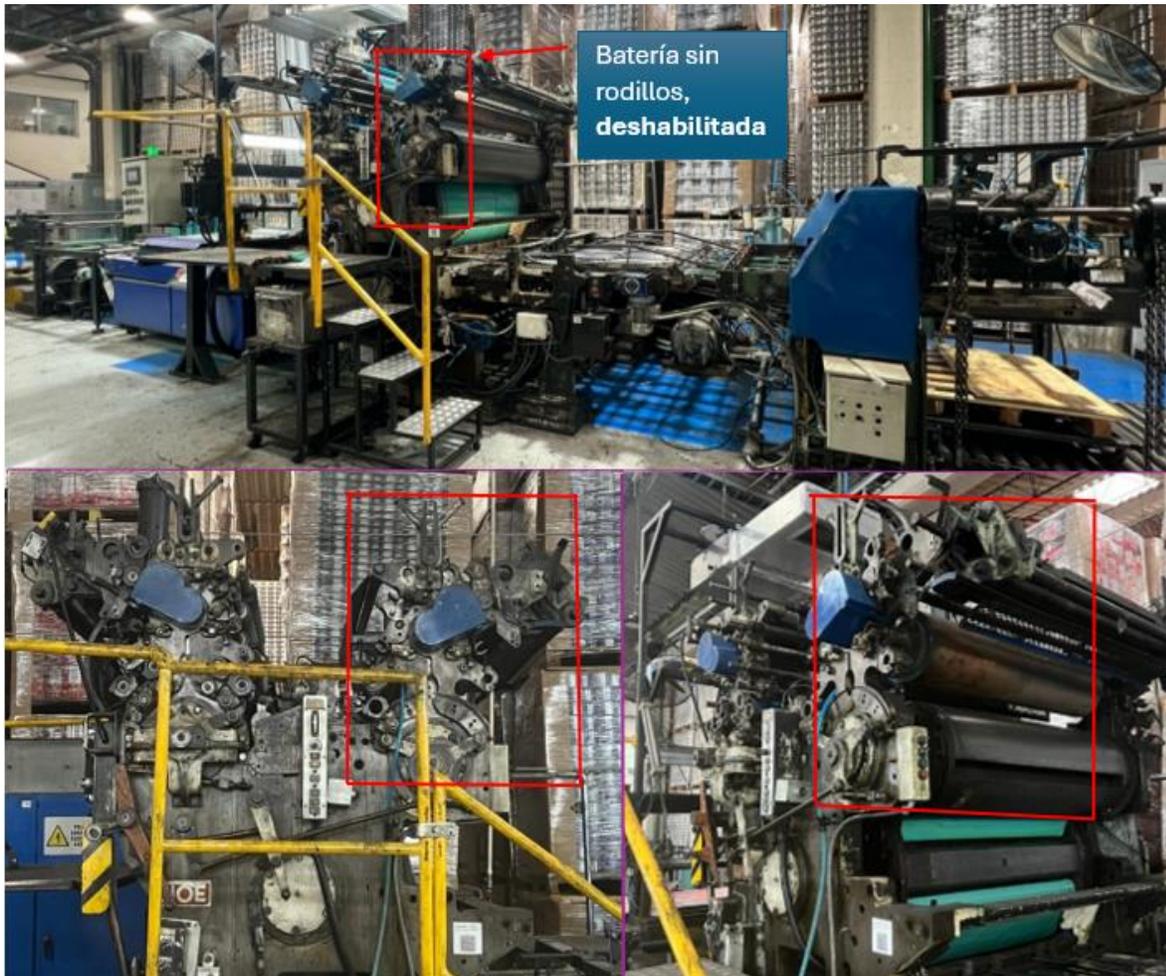


Ilustración 3 Litográfica Hoe

Esta máquina litográfica cuenta con una variedad de rodillos en su batería, como se ilustra en la Ilustración 3 adjunta. Estos rodillos se numeran para facilitar su identificación y pueden clasificarse en diferentes tipos según su función y material de construcción. Sin embargo, es importante destacar que los rodillos de goma, resaltados en negrita en la ilustración 4, son los que experimentan un mayor desgaste durante la operación.

Los rodillos de goma son críticos en el proceso de litografía según la tabla 2, ya que están directamente involucrados en la aplicación de tinta sobre la lámina de hojalata o aluminio. Debido a la fricción constante y la presión ejercida sobre ellos durante la operación, estos rodillos tienden a desgastarse más rápidamente que otros componentes de la máquina. Ya que generalmente un

rodillo de goma se rencaucha cada 4 meses y se rectifica cada 2, mientras que los demás se les realiza intervención en los mantenimientos anuales.

Dado su papel fundamental y el impacto significativo que su desgaste puede tener en la calidad y consistencia de la impresión tal como los defectos observados en la ilustración 4, es crucial realizar un estudio detallado de este desgaste. Este estudio permitirá comprender mejor los factores que contribuyen al desgaste de los rodillos de goma y desarrollar un plan de mantenimiento adecuado para ellos.

El plan de mantenimiento incluirá medidas preventivas y correctivas para mitigar el desgaste de los rodillos de goma, así como para prolongar su vida útil en un 25% y mantener la calidad de la impresión. Esto puede implicar la implementación de rutinas de inspección regular, la aplicación de lubricantes especiales, la sustitución de rodillos desgastados y la optimización de los procesos de operación para reducir la carga sobre los rodillos.

Al centrarse en el estudio del desgaste de los rodillos de goma y la elaboración de un plan de mantenimiento específico para ellos, Prodenvases SA podrá garantizar un rendimiento óptimo de sus máquinas litográficas, maximizar la eficiencia operativa y mantener altos estándares de calidad en la producción de envases de hojalata y aluminio.



Ilustración 4 Defectos de impresión

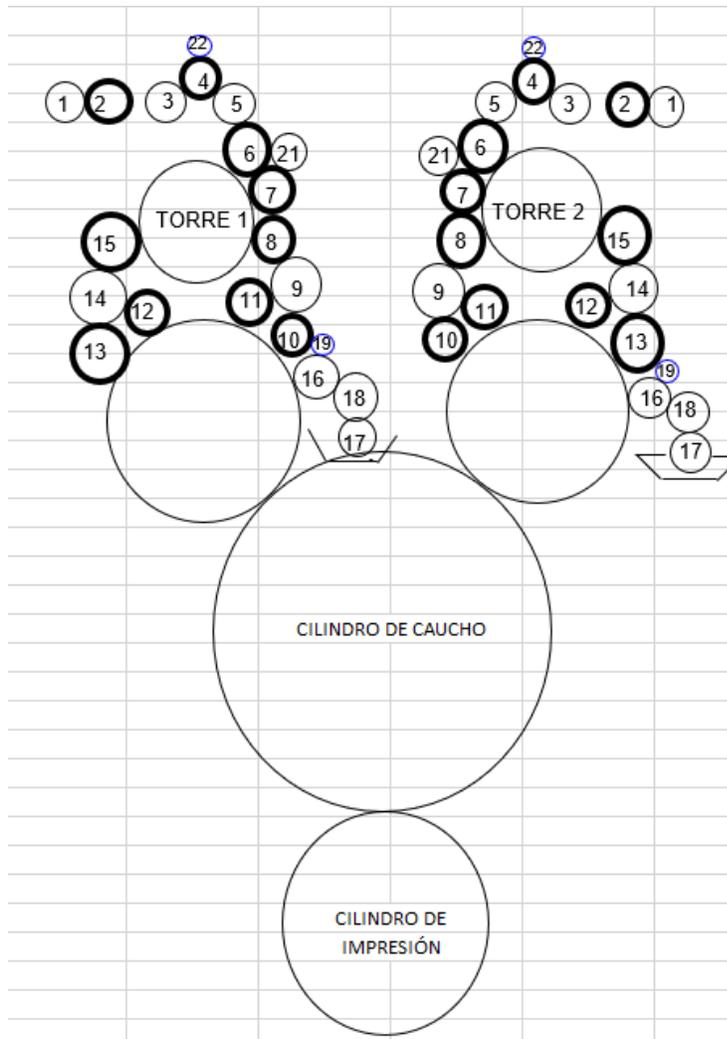


Ilustración 5 Plano batería Hoe

Litográfica Mailander:

La máquina litográfica Mailander es conocida en el sector de Litografía de hojalata por su innovación en tecnología de impresión y su capacidad para lograr resultados de alta calidad en la litografía de hojalata y aluminio.

Equipada con sistema de control avanzado MT8100IE Weintek de última generación, esta máquina ofrece una precisión excepcional en la aplicación de tintas y la reproducción de diseños complejos, lo que la convierte en una opción preferida para los litógrafos de hoja lata y para realizar proyectos que requieren alta fidelidad en la impresión.

Su diseño ergonómico y su facilidad de uso para los operarios la hacen adecuada para entornos de producción exigentes, donde se requiere un rendimiento constante y confiable, mayor a un 90% de productividad. (GmbH, 1995)



Ilustración 6 Litográfica Mailander

Según el catálogo de la máquina litográfica, se ha establecido una distribución específica de la rodillería en la batería de la máquina. Esta distribución se basa en el principio de funcionamiento de las demás máquinas litográficas, adaptándose a las necesidades y requerimientos específicos de la producción en Prodevases SA.

Para facilitar la identificación y el mantenimiento, los rodillos de goma, que desempeñan un papel crucial en el proceso de litografía, se destacan en un color negro más oscuro en la ilustración 5 adjunta.

Esta diferenciación visual permite al personal de mantenimiento y operaciones identificar fácilmente los rodillos de goma y priorizar su inspección y mantenimiento. Dado que estos rodillos son los que experimentan un mayor desgaste durante la operación, es fundamental prestar una atención especial a su estado y realizar las acciones de mantenimiento necesarias para garantizar su buen funcionamiento y prolongar su vida útil.

Al centrarse en el mantenimiento de los rodillos de goma, Prodevases SA podrá optimizar el rendimiento de su máquina litográfica, minimizar los tiempos de inactividad en un 95% ya que siempre habría repuestos disponibles y solo quedaría realizar el montaje como también mantener

altos estándares de calidad en la producción, para así llegar a la meta de un 5% max en defectos de calidad.

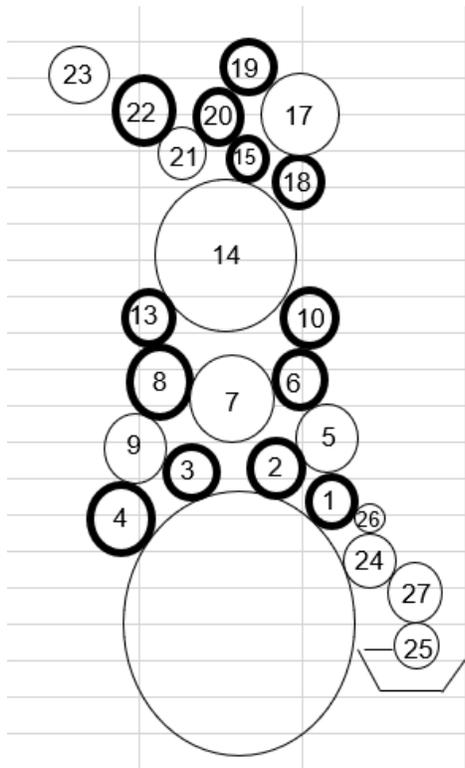


Ilustración 7 rodillos mailander

Litográfica Tándem Hoe:

La máquina litográfica Tándem Hoe es especialmente diseñada para operaciones de alta producción, alrededor de 15.000 unidades al día, que requieren una capacidad de impresión continua permitiendo operar los 3 turnos de 8 horas.

Equipada con sistemas de alimentación y descarga automatizados, esta máquina puede trabajar en tándem con otras máquinas litográficas para maximizar la capacidad de producción y minimizar los tiempos de inactividad en alrededor de un 30%, esperando cumplir con la meta de disponibilidad de 80% mínimo, teniendo en cuenta la tabla 1.

Su diseño modular y su capacidad para adaptarse a diferentes configuraciones la hacen adecuada para una variedad de aplicaciones en la industria de fabricación de envases.

La distribución de la rodillería en esta máquina es similar a la de la Hoe mencionada anteriormente, con la diferencia de que aquí solo se trabaja con un lado de la batería, como se muestra en la ilustración 3 adjunta. Esta configuración implica que la máquina utiliza solo una parte de la batería de rodillos para llevar a cabo el proceso de litografía.



Ilustración 8 Litográfica Tándem Hoe

Litográfica Tándem Crabtree:

La máquina litográfica Tándem Crabtree es reconocida por su durabilidad y rendimiento excepcional en entornos de producción de alta demanda.

Equipada con sistemas de control avanzados y tecnología de impresión de última generación, esta máquina ofrece una alta velocidad de producción y una calidad de impresión superior en superficies de hojalata y aluminio. (Ltd., 1980)

Su diseño robusto y su capacidad para trabajar en tándem con otras máquinas la hacen ideal para aplicaciones que requieren una alta capacidad de producción y un rendimiento confiable.



Ilustración 9 Litográfica Tándem Crabtree

Cada una de estas máquinas desempeña un papel fundamental en el proceso de litografía de la lámina en Prodevases SA. Es importante destacar que las litográficas tándem se utilizan principalmente para aplicar una doble capa de tintes sobre la lámina. Esto se debe a que algunos diseños requieren una mayor profundidad de color o una mayor complejidad en los patrones, lo que no puede lograrse con una sola capa de tinte.

Para abordar esta necesidad, se ha implementado la estrategia de combinar las capacidades de las máquinas Hoe y Crabtree para crear la litográfica tándem. Esta combinación permite aplicar dos capas de tintes de manera eficiente y precisa, asegurando que los diseños alcanzan los niveles de detalle y calidad deseados en la lámina.

Por otro lado, las máquinas litográficas Mailander y la otra Hoe son utilizadas para realizar diseños donde una sola capa de tinte es suficiente para lograr el efecto deseado en la lámina. Estas máquinas son especialmente eficaces para proyectos que requieren una reproducción precisa de diseños simples o medianamente complejos, sin la necesidad de aplicar múltiples capas de tintes.

Esta diversidad en las capacidades de las máquinas litográficas en Prodevases SA permite adaptarse a una amplia gama de requisitos de diseño y producción, asegurando que la empresa

pueda satisfacer las demandas de sus clientes de manera eficiente y con la más alta calidad en sus productos finales.

Para esta máquina, al igual que las anteriores, nos enfocaremos exclusivamente en los rodillos de goma, identificados en el plano como "rubber & cloth covered", según se muestra en la ilustración 7 adjunta. Estos rodillos son críticos para el proceso de litografía, ya que están directamente involucrados en la aplicación de tinta sobre la lámina de hojalata o aluminio.

Los demás tipos de rodillos, como se indica en el plano, se someterán únicamente a acciones correctivas según sea necesario. Esto significa que, si bien se monitoreará su funcionamiento durante la operación, no se realizarán acciones de mantenimiento preventivo específicas para ellos, a menos que se detecten problemas o desgaste significativo que requieran intervención.

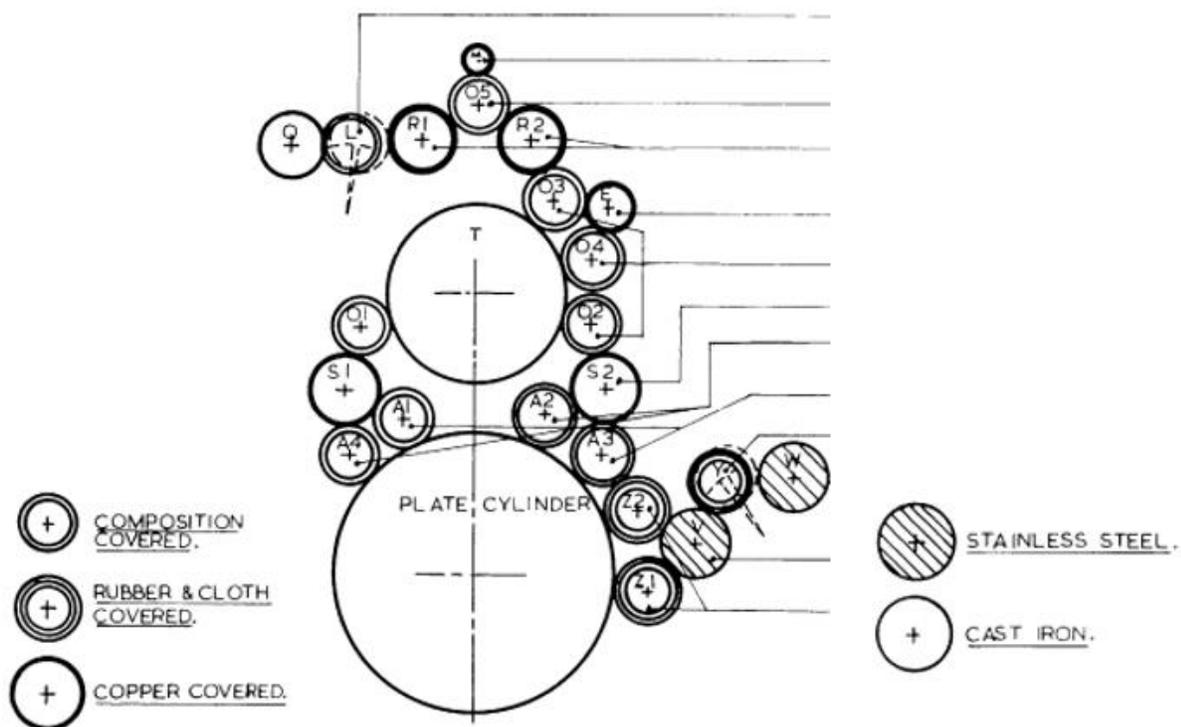


Ilustración 10 Rodillos Crabtree

5 Metodología

la falta de un orden adecuado en la organización de la rodillería de repuesto. Actualmente, los rodillos que se envían para reparación, son una de las principales problemáticas ya sea para rectificación, reencauchar o para trabajos en el eje, al momento de llegar nuevamente, son almacenados en la estantería sin un sistema de orden específico.

Esta situación se agrava por la falta de diferenciación entre los rodillos en buen estado y aquellos que necesitan reparación. Dado que los rodillos llegan cubiertos y no se les realiza una inspección detallada al momento de ser almacenados, no es evidente para el personal de mantenimiento cuál es el estado de cada rodillo. Esto conduce a la posibilidad de montar rodillos en malas condiciones sin darse cuenta, lo que afecta la eficiencia y la calidad de la operación y generando reprocesos al momento del montaje.

Por lo tanto, uno de los objetivos clave es realizar un inventario exhaustivo de la rodillería existente y evaluar el estado de cada uno de los rodillos almacenados en el stock de repuestos. Esto implicará implementar un sistema de identificación claro y visible para cada rodillo, de manera que cualquier persona pueda distinguir fácilmente su estado y características.

Al establecer un orden en la organización de la rodillería de repuesto, se facilitará la gestión del inventario y se reducirán los riesgos asociados con el montaje de rodillos en mal estado durante las reparaciones de las máquinas litográficas.

Por ende, las principales problemáticas pueden definirse como:

- Falta de organización de rodillería
- No se tiene registro de los rencauches y trabajos que se le realizan a los rodillos
- No hay un inventario detallado de los rodillos que se tienen para estas maquinas
- Carecen de formatos y fichas técnicas que contengan la información de los rodillos
- No se tiene un control de que cantidad de láminas pasan antes de que el rodillo comience a fallar
por determinado motivo

Por estas razones la empresa ha experimentado una serie de paros no programados ocasionando disminución en la producción tal como se puede apreciar en la siguiente tabla

Tabla 2 Disponibilidad mensual

DISPONIBILIDAD FALLAS Y AJUSTES												
CENTRO DE TRABAJO	Prom Año 2021	Prom Año 2022	Prom Año 2023	ene-24	feb-24	mar-24	abr-24	29 abr - 05 may	06 may - 12 may	13 may - 19 may	Prom Mes	Prom Año
LITO MAILANDER	76.61%	86.11%	82.97%	89.59%	80.22%	85.58%	94.17%	43.40%	94.36%	88.98%	83.22%	86.55%
LITO HOE	69.32%	59.05%	57.69%	58.43%	63.93%	51.06%	41.54%	25.29%	70.93%	48.67%	43.57%	51.48%
BARNIZADORA MAILANDER	77.39%	83.02%	86.49%	87.47%	71.62%	80.35%	79.94%	91.35%	44.13%	71.32%	66.51%	78.12%

En respuesta a la problemática identificada en los indicadores mensuales, se proponen una serie de acciones para mejorar la gestión de la rodillería de repuesto en Prodenvases SA. Estas acciones se centran en la realización de un inventario detallado de cada uno de los rodillos y en la implementación de un sistema de seguimiento para garantizar un mantenimiento adecuado de los mismos.

Debido a esto la empresa ha mostrado interés por implementar un mantenimiento estructurado que me tenga como foco los siguientes objetivos.

Acciones:

- Diseñar un esquema de organización física para los rodillos en el área de trabajo, asignando ubicaciones específicas para cada tipo de rodillo.
- Establecer procedimientos claros para el almacenamiento y manejo de los rodillos, incluyendo protocolos de etiquetado y rotulado.
- Capacitar al personal en el uso del sistema de organización, garantizando su comprensión y cumplimiento.
- Establecer un procedimiento estandarizado para documentar todos los trabajos y rencauches realizados en los rodillos, incluyendo detalles como fecha, tipo de trabajo realizado y técnico responsable.
- Utilizar un registro electrónico o físico para mantener un historial detallado de cada rodillo, permitiendo un acceso fácil y rápido a la información relevante.
- diseñar un sistema de seguimiento para programar y recordar las fechas de mantenimiento y rencauches programados para cada rodillo.
- Llevar a cabo un inventario físico de todos los rodillos relacionados con las máquinas litográficas, registrando detalles como descripción, número de serie, ubicación y estado.
- Establecer procedimientos para la adquisición, recepción y almacenamiento de rodillos, asegurando una integración adecuada en el inventario existente.
- Diseñar formatos y fichas técnicas que incluyan información relevante sobre cada rodillo, como dimensiones, material, historial de mantenimiento y recomendaciones de uso.
- diseñar la implementación del uso obligatorio de estos formatos y fichas técnicas para documentar cada rodillo en el inventario, asegurando la consistencia y precisión de la información recopilada.
- Capacitar al personal en el uso de los formatos y fichas técnicas, proporcionando orientación sobre cómo completarlos correctamente y utilizarlos para el seguimiento y mantenimiento de los rodillos.

- diseñar un sistema de contadores o registros para monitorear la cantidad de láminas que pasan a través de cada rodillo durante su vida útil.
- Establecer umbrales de alerta para identificar variaciones significativas en el rendimiento del rodillo, como cambios en la calidad de impresión o aumentos en el desgaste.
- Capacitar al personal en la identificación de señales de deterioro en los rodillos y en la utilización de datos de monitoreo para tomar decisiones informadas sobre el mantenimiento preventivo o correctivo necesario.



Ilustración 11 estantería de rodillos

El Método de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) se aplicará para garantizar una disponibilidad mayor al 85% de las máquinas de litografía en la fábrica de envases de hojalata. Este enfoque se basa en la identificación de las funciones críticas de los rodillos, la evaluación de los modos de falla y la implementación de estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo para mitigar los riesgos asociados. (Engineers, 1999)

Este método se aplicará de la siguiente manera

IDENTIFICACIÓN DE LAS FUNCIONES DE MAYOR IMPACTO:

Se identificarán las funciones de mayor impacto en los rodillos de las máquinas de litografía, centrándose en aquellas que tienen un impacto significativo en la calidad del producto y la productividad del proceso, según la matriz de criticidad realizada por un practicante anterior.

Se llevará a cabo un análisis detallado de los requisitos operativos y de rendimiento de cada función para determinar su importancia en el proceso de producción.

ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA:

Se realizará un análisis exhaustivo de los modos de falla potenciales que pueden afectar las funciones críticas de las máquinas de litografía.

Se identificarán las causas raíz de los modos de falla mediante técnicas como el análisis de causa raíz (RCA) y el análisis de modos de falla, efectos y criticidad (FMECA). Se realizará el análisis basado en RCM usando las preguntas básicas y el árbol lógico de decisiones.

DESARROLLO DE ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO:

Se diseñarán estrategias con mantenimiento preventivo y predictivo para mitigar los modos de falla identificados y garantizar la confiabilidad de las máquinas de litografía.

Se establecerán intervalos de mantenimiento basados en el análisis de la criticidad de los rodillos y la probabilidad de falla, utilizando criterios como la frecuencia de uso y las condiciones mecánicas de la maquina litográfica

DISEÑO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO:

Se diseñarán las estrategias de mantenimiento para su futura implementación, con el fin de asegurar que se lleven a cabo de manera efectiva y oportuna.

Se capacitará al personal en la ejecución de las actividades de mantenimiento, así como en la identificación temprana de signos de deterioro o falla en los activos.

MONITOREO Y EVALUACIÓN CONTINUA:

Se establecerá un sistema de monitoreo continuo para evaluar el desempeño de las estrategias de mantenimiento y realizar ajustes según sea necesario.

Se realizarán revisiones periódicas del estado de los rodillos y la efectividad de las actividades de mantenimiento para garantizar la mejora continua del proceso.

INVENTARIO DETALLADO:

Realizar un inventario exhaustivo de los rodillos de goma, poliamida y cobre en el stock de repuestos.

Verificar el diámetro, dureza, acabado superficial y estado del eje de cada rodillo, basado en los planos

FORMATOS CON ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Se crearán formatos estandarizados que contengan las especificaciones técnicas de cada rodillo, incluyendo detalles como diámetro, material, dureza y estado del eje.

Estos formatos se basarán en los manuales de las máquinas de litografía, donde se encuentran registradas las características de cada componente.

La información recopilada en estos formatos permitirá una fácil consulta y seguimiento del estado de los rodillos, así como la planificación de actividades de mantenimiento preventivo.

ESQUEMA DETALLADO DE LA BATERÍA:

Se elaborará un esquema detallado de la batería de las máquinas de litografía, donde se identificarán claramente los rodillos que son objeto de estudio.

Este esquema mostrará de manera visual la disposición de los rodillos en la máquina, resaltando aquellos que son críticos para el proceso de litografía.

Se adjuntarán las especificaciones técnicas de cada rodillo encontradas en los manuales de las máquinas, lo que permitirá una rápida referencia durante la revisión y mantenimiento de estos.

6 Resultados

Para cada una de las máquinas litográficas, se ha desarrollado un inventario detallado que incluye la línea de producción, el tipo de rodillo y un consecutivo único. Este esquema de marcación proporciona una estructura clara y sistemática para identificar y rastrear los rodillos de manera individual, lo cual es esencial para llevar a cabo un mantenimiento predictivo y reactivo eficiente.

La siguiente sección presenta las tablas con el inventario detallado de los rodillos, organizadas por línea, tipo de rodillo y su correspondiente consecutivo. Esta metodología no solo facilita la localización de los rodillos durante las inspecciones y mantenimientos, sino que también permite registrar y analizar el rendimiento y la vida útil de cada rodillo de manera más precisa, contribuyendo así a la optimización de los procesos operativos y a la reducción de tiempos de inactividad.

Ejemplo de Inventario Detallado de Rodillos

Línea de Producción - Tipo de Rodillo - Consecutivo

- Línea hoe - Rodillo de entintador - 1
- Línea hoe - Rodillo de batidor - 2
- Línea hoe - Rodillo de inmersor - 3
- Línea Mailander - Rodillo de Poliamida - 4
- Línea tándem - Rodillo de Goma - 5

Este enfoque sistemático en la identificación y gestión de los rodillos asegura que cada componente sea fácilmente rastreable y manejable, promoviendo la eficiencia en las operaciones de mantenimiento y la continuidad en la producción litográfica.

Tabla 3 Inventario Hoe

Línea	Rodillo	Consecutivo
HOE	F1	1
HOE	F10	1
HOE	F10	2
HOE	F10	3
HOE	F10	4

HOE	F10	5
HOE	F10	6
HOE	F10	7
HOE	F10	1
HOE	F10	8
HOE	F13	1
HOE	F13	2
HOE	F13	3
HOE	F16	1
HOE	F16	2
HOE	F16	3
HOE	F16	4
HOE	F16	5
HOE	F16	6
HOE	F16	7
HOE	F16	8
HOE	F16	9
HOE	F16	10
HOE	F17	1
HOE	F17	2
HOE	F17	3
HOE	F17	4
HOE	F17	5
HOE	F18	1
HOE	F19	2
HOE	F2	1
HOE	F2	2
HOE	F2	3
HOE	F3	1
HOE	F3	2
HOE	F3	3
HOE	F3	4
HOE	F3	5
HOE	F3	6
HOE	F3	7
HOE	F3	8

HOE	F21	1
HOE	F21	2
HOE	F21	3
HOE	F22	1
HOE	F22	2
HOE	F22	3
HOE	F22	4
HOE	F4	3
HOE	F4	1
HOE	F4	2
HOE	F4	3
HOE	F4	4
HOE	F4	5
HOE	F4	6
HOE	F4	7
HOE	F4	8
HOE	F4	9
HOE	F4	10
HOE	F4	11
HOE	F4	12
HOE	F9	1
HOE	F9	2
HOE	F9	3
HOE	F9	4
HOE	F9	5
HOE	F9	5

En total, se tiene que para la litográfica hoe se tienen 67 rodillos, es la litográfica que más rodillos tiene ya que estos sirven tanto para la tándem hoe como para la Lito 2 Hoe

Tabla 4 inventario Tándem Crabtree

Línea	Rodillo	Consecutivo
T	BATI 82	1
T	BATI 82	2
T	BATI 82	3

T	ENTIN	1
T	ENTIN	2
T	ENTIN	3
T	ENTIN	4
T	ENTIN	1
T	ENTIN	2
T	ENTIN	3
T	BATI 86	1
T	BATI 86	2
T	BATI 86	3
T	BATI 86	4
T	BATI 86	5
T	BATI 86	6
T	BATI 88	1
T	BATI 88	2
T	INMER	1
T	INMER	2
T	INMER	3
T	FORMA	1
T	FORMA	2
T	FORMA	3

Tabla 5 inventario Mailander

MH	F1	1
MH	F1	2
MH	F1	3
MH	F1	4
MH	F2	1
MH	F2	2
MH	F2	3
MH	F3	1
MH	F3	2
MH	F3	3
MH	F4	1

MH	F4	2
MH	F4	3
MH	F5	1
MH	F5	2
MH	F9	1
MH	F9	2
MH	F6F8	1
MH	F6F8	2
MH	F6F8	3
MH	F6F8	4
MH	F10	1
MH	F10	2
MH	F10	3
MH	F13	1
MH	F15	1
MH	F15	2
MH	F18	1
MH	F18	2
MH	F18	3
MH	F18	4
MH	F18	5
MH	F20	5
MH	F17	1
MH	F17	2
MH	F17	3
MH	F17	4
MH	F21	1
MH	F21	2
MH	F19	1
MH	F19	2
MH	F22	1
MH	F22	2
MH	F22	3
MH	F23	1
MH	F23	2
MH	F24	1

MH	F24	2
MH	F24	3
MH	F24	3
MH	F25	1
MH	F25	2
MH	F25	3
MH	F26	1
MH	F27	1

Sistema De Marcación Y Gestión De Rodillos

Para mejorar la organización y gestión de los rodillos en la estantería, se implementará un sistema de marcación detallado que permitirá identificar fácilmente cada rodillo, su ubicación y su estado actual. Este sistema se basará en la asignación de placas de identificación en las estanterías, grabados en los ejes de los rodillos y un sistema de stickers de colores para indicar las condiciones de los rodillos.

Marcación de las Estanterías

Placas de Identificación:

- Se colocarán placas de identificación en las estanterías asignando un lugar específico para cada rodillo.
- Cada placa indicará la referencia del rodillo, basada en las especificaciones técnicas de los planos de diseño.
- Las referencias incluirán información clave como el tipo de rodillo (goma, poliamida, cobre), su diámetro, longitud y dureza.

Organización por Referencia:

- Los rodillos serán organizados en la estantería de manera sistemática, agrupados por su tipo y referencia.
- Esta organización facilitará el acceso rápido y eficiente a los rodillos específicos requeridos para las máquinas litográficas.
- Marcación en los Ejes de los Rodillos

Grabado en el Eje:

- Cada rodillo tendrá un grabado en su eje que indicará su referencia única.
- Este grabado incluirá información crucial para su identificación, como el tipo de rodillo y su posición específica en la máquina.
- El grabado permitirá evitar errores de montaje, asegurando que cada rodillo se coloque en el lugar correcto y funcione según sus especificaciones.
- Identificación del Estado de los Rodillos

Sistema de Stickers de Colores:

Se utilizarán stickers de colores para indicar el estado de cada rodillo, proporcionando una visualización rápida y clara de su condición.

- Verde: Rodillo en buenas condiciones y listo para operar.
- Azul: Rodillo actualmente en operación.
- Amarillo: Rodillo que va para recaucho.
- Naranja: Rodillo que va para rectificación.
- Rojo: Rodillo fuera de la planta, en proceso de mantenimiento o reparación por un proveedor externo.

Procedimiento de Inspección y Actualización:

Se implementará un procedimiento de inspección regular donde se revisará el estado de los rodillos y se actualizarán los stickers de colores según corresponda.

Esta inspección se realizará de manera periódica y se documentará en los formatos de seguimiento asegurando un registro actualizado de las condiciones de cada rodillo.

Diámetro exterior		Diámetro de ajuste de los rodamientos		Dureza en °Sh	Rodamiento rígido de bolas	Acabado superficial	Frecuencia de inspeccion
Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo				en cambios de referencia
82mm	80mm	25.01mm	25mm	30	6005	Visual	

Cabe aclarar que estos diámetros y tipos de rodamientos varían según el rodillo utilizado

Reporte de estados por códigos QR

Asignación de Códigos QR em las estanterías:

Se asignarán códigos QR únicos a cada estantería, diferenciados según la máquina litográfica a la que pertenecen.

Cada código QR estará vinculado a un sistema de reporte en Fluke Mobile, facilitando la identificación y seguimiento de los rodillos.

Proceso de Reporte de Anomalías:

- Escaneo del Código QR: Los operarios o mecánicos escanearán el código QR en la estantería correspondiente utilizando Fluke Mobile. (Corporation, 1995)
- Formulario de Reporte: Al escanear el código, se abrirá un formulario de reporte que incluye las siguientes preguntas:
- Tipo de Rodillo: Selección del tipo de rodillo (goma, poliamida, cobre).
- Novedad Presentada: Descripción de la anomalía o irregularidad (desgaste, vibración, inconsistencia en la transferencia de tinta, etc.).
- Observaciones de la Inspección: Detalles adicionales relevantes sobre la condición del rodillo.

DISEÑO DE LAS BASES PARA UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM)

Funciones Típicas De Los Rodillos De Litografía (Engineers, 1999)

Rodillos de Goma

- Transferir 100% de la tinta uniformemente a las láminas metálicas.
- Mantener una dureza de 40 Shore A durante el proceso de impresión.
- Operar a una velocidad de 120 metros por minuto sin interrupciones.
- Funcionar sin generar vibraciones mayores a 5 mm/s durante la impresión.
- Resistir temperaturas operativas de hasta 80°C sin deformarse.
- Mantener una alineación con una tolerancia de ± 0.1 mm para asegurar una impresión uniforme.
- Soportar una carga de hasta 50 kg sin desgaste prematuro.

Rodillos de Cobre

- Distribuir tinta homogéneamente con una variación máxima de ± 2 micras.
- Resistir presión de hasta 40 kg sin desgaste prematuro.
- Operar a una temperatura constante de 25°C para mantener la viscosidad de la tinta.
- Mantener una alineación con una tolerancia de ± 0.1 mm para asegurar una impresión uniforme.
- Funcionar sin generar vibraciones mayores a 5 mm/s durante la operación.

Rodillos de Poliamida

- Aplicar barniz con una cobertura uniforme de 100% sobre las láminas metálicas.
- Resistir abrasión con una pérdida de material no mayor a 0.05 mm por 10,000 ciclos.
- Operar a una velocidad de 100 metros por minuto sin interrupciones.
- Funcionar sin generar vibraciones mayores a 5 mm/s durante la aplicación del barniz.
- Mantener una temperatura operativa de 60°C para asegurar la consistencia del barniz.
- Mantener una alineación con una tolerancia de ± 0.1 mm para evitar defectos en el recubrimiento.
- Soportar una carga de hasta 30 kg sin degradarse

Fallas Funcionales de los Rodillos de Litografía

Rodillos de Goma

- No transferir el 100% de la tinta uniformemente.
- Transferir menos del 95% de la tinta uniformemente.
- Transferir más del 105% de la tinta, causando acumulaciones.

-
- Mantener una dureza inferior a 35 Shore A.
 - Mantener una dureza superior a 45 Shore A.
 - No mantener la dureza especificada en absoluto.

 - Operar a una velocidad menor a 115 metros por minuto.
 - Operar a una velocidad mayor a 125 metros por minuto.
 - No operar continuamente a 120 metros por minuto.

 - Generar vibraciones mayores a 5 mm/s.
 - Generar vibraciones entre 5 y 10 mm/s.
 - Generar vibraciones mayores a 10 mm/s.

 - Deformarse a temperaturas inferiores a 80°C.
 - Deformarse a temperaturas superiores a 80°C.
 - Deformarse constantemente bajo cualquier temperatura.

 - Aplicar menos de 4 micras de tinta en cada pasada.
 - Aplicar más de 6 micras de tinta en cada pasada.
 - No aplicar la cantidad correcta de tinta en absoluto.

 - Formar manchas en más del 5% de la superficie.
 - Formar acumulaciones de tinta en más del 3% de la superficie.
 - No evitar manchas y acumulaciones.

Rodillos de Poliamida

- No proporcionar una capa base uniforme.
- Proporcionar una capa base con variaciones superiores al 10%.
- No proporcionar la capa base en absoluto.

- Deformarse a temperaturas inferiores a 70°C.
- Deformarse a temperaturas superiores a 70°C.
- Deformarse constantemente bajo cualquier temperatura.

- Desviarse más de 0.5 mm en la alineación.
- Desviarse entre 0.5 y 1 mm en la alineación.
- Desviarse más de 1 mm en la alineación.

Rodillos de Cobre

- Transferir menos de 2.5 micras de tinta.
- Transferir más de 3.5 micras de tinta.
- No transferir la cantidad precisa de tinta.

- Desgastarse antes de 10,000 ciclos.
- Mostrar desgaste significativo entre 10,000 y 15,000 ciclos.
- Desgastarse severamente antes de completar 10,000 ciclos.

- Deformarse a temperaturas inferiores a 60°C.
- Deformarse a temperaturas superiores a 60°C.
- Deformarse continuamente bajo cualquier temperatura.

- Formar residuos de tinta en más del 5% de la superficie.
- Formar residuos de tinta en más del 3% de la superficie.
- No evitar la formación de residuos de tinta en absoluto.

Modos de Falla

Función 1: Transferir 100% de la tinta uniformemente a las láminas metálicas

Falla Funcional: No transferir el 100% de la tinta uniformemente.

- **Modo de Falla:** Obstrucción parcial del rodillo por residuos de tinta seca.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Transferencia incompleta de tinta
- **Efecto Subsecente:** Impresión desigual
- **Efecto Final:** Producto defectuoso
- **Causa:** Acumulación de tinta seca en el rodillo debido a una limpieza inadecuada.
- **Consecuencia:** Alta

Falla Funcional: Transferir menos del 95% de la tinta uniformemente.

- **Modo de Falla:** Desgaste irregular de la superficie del rodillo.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Disminución en la calidad de impresión
- **Efecto Subsecente:** Reclamos de clientes
- **Efecto Final:** Pérdida de clientes
- **Causa:** Desgaste natural por uso prolongado sin mantenimiento adecuado.
- **Consecuencia:** Alta

Falla Funcional: Transferir más del 105% de la tinta, causando acumulaciones.

- **Modo de Falla:** Desalineación del sistema de rodillos.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Exceso de tinta en áreas específicas
- **Efecto Subsecente:** Mancha en la impresión
- **Efecto Final:** Producto no vendible
- **Causa:** Desajuste en la calibración del equipo.
- **Consecuencia:** Alta

Función 2: Mantener una dureza de 40 Shore A durante el proceso de impresión

Falla Funcional: Mantener una dureza inferior a 38 Shore A.

- **Modo de Falla:** Degradación del material del rodillo por exposición a productos químicos.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente

- **Efecto Local:** Rodillo demasiado blando
- **Efecto Subsecnte:** Impresión borrosa
- **Efecto Final:** Producto rechazado
- **Causa:** Exposición prolongada a solventes agresivos.
- **Consecuencia:** Media

Falla Funcional: Mantener una dureza superior a 42 Shore A.

- **Modo de Falla:** Fallo en el proceso de vulcanización del rodillo.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Rodillo demasiado duro
- **Efecto Subsecnte:** Desgaste rápido del rodillo
- **Efecto Final:** Necesidad de reemplazo prematuro
- **Causa:** Proceso de fabricación defectuoso.
- **Consecuencia:** Media

Falla Funcional: No mantener la dureza especificada en absoluto.

- **Modo de Falla:** Variación en la composición del material del rodillo.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Inconsistencia en la dureza del rodillo
- **Efecto Subsecnte:** Calidad de impresión variable
- **Efecto Final:** Producción inestable
- **Causa:** Falta de control de calidad en la fabricación.
- **Consecuencia:** Alta

Función 3: Operar a una velocidad de 120 metros por minuto sin interrupciones

Falla Funcional: Operar a una velocidad menor a 115 metros por minuto.

- **Modo de Falla:** Desgaste del motor de accionamiento.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Velocidad de operación reducida
- **Efecto Subsecnte:** Menor productividad

- **Efecto Final:** Aumento de costos operativos
- **Causa:** Mantenimiento insuficiente del motor.
- **Consecuencia:** Media

Falla Funcional: Operar a una velocidad mayor a 125 metros por minuto.

- **Modo de Falla:** Fallo en el controlador de velocidad.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Exceso de velocidad
- **Efecto Subsecuente:** Mayor desgaste mecánico
- **Efecto Final:** Fallo prematuro del rodillo
- **Causa:** Mal funcionamiento del sistema de control.
- **Consecuencia:** Alta

Función 4: Funcionar sin generar vibraciones mayores a 5 mm/s durante la impresión

Falla Funcional: Generar vibraciones mayores a 5 mm/s.

- **Modo de Falla:** Desbalanceo del rodillo.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Vibraciones perceptibles
- **Efecto Subsecuente:** Desgaste prematuro del rodillo
- **Efecto Final:** Calidad de impresión comprometida
- **Causa:** Desgaste irregular o daño en el rodillo.
- **Consecuencia:** Media

Falla Funcional: Generar vibraciones entre 5 y 10 mm/s.

- **Modo de Falla:** Aflojamiento de los soportes del rodillo.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Vibraciones moderadas
- **Efecto Subsecuente:** Desgaste en componentes adyacentes
- **Efecto Final:** Costos de mantenimiento elevados

- **Causa:** Mantenimiento inadecuado de los soportes.
- **Consecuencia:** Media

Falla Funcional: Generar vibraciones mayores a 10 mm/s.

- **Modo de Falla:** Desgaste de los cojinetes.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Vibraciones severas
- **Efecto Subsecuente:** Daño estructural
- **Efecto Final:** Fallo catastrófico
- **Causa:** Falta de lubricación o reemplazo de cojinetes.
- **Consecuencia:** Alta

Función 5: Resistir temperaturas operativas de hasta 80°C sin deformarse

Falla Funcional: Deformarse a temperaturas inferiores a 80°C.

- **Modo de Falla:** Material del rodillo de baja calidad.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Deformación del rodillo
- **Efecto Subsecuente:** Calidad de impresión afectada
- **Efecto Final:** Reemplazo del rodillo
- **Causa:** Uso de materiales no especificados.
- **Consecuencia:** Media

Falla Funcional: Deformarse a temperaturas superiores a 80°C.

- **Modo de Falla:** Exposición prolongada a altas temperaturas.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Deformación estructural
- **Efecto Subsecuente:** Daño irreparable del rodillo
- **Efecto Final:** Interrupción de la producción
- **Causa:** Condiciones operativas extremas sin enfriamiento adecuado.
- **Consecuencia:** Alta

Función 6: Mantener una alineación con una tolerancia de ± 0.1 mm para asegurar una impresión uniforme

Falla Funcional: Desviarse más de 0.5 mm en la alineación.

- **Modo de Falla:** Desgaste de los mecanismos de ajuste.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Desalineación significativa
- **Efecto Subsecuente:** Impresión desigual
- **Efecto Final:** Producto defectuoso
- **Causa:** Falta de ajuste y calibración regular.
- **Consecuencia:** Alta

Falla Funcional: Desviarse entre 0.5 y 1 mm en la alineación.

- **Modo de Falla:** Vibraciones excesivas durante la operación.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Desalineación moderada
- **Efecto Subsecuente:** Calidad de impresión variable
- **Efecto Final:** Pérdida de clientes
- **Causa:** Desbalanceo o problemas estructurales.
- **Consecuencia:** Alta

Falla Funcional: Desviarse más de 1 mm en la alineación.

- **Modo de Falla:** Desgaste severo o daño en el sistema de alineación.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Desalineación crítica
- **Efecto Subsecuente:** Fallo en la impresión
- **Efecto Final:** Interrupción de la producción
- **Causa:** Falta de mantenimiento preventivo.
- **Consecuencia:** Alta

Función 7: Soportar una carga de hasta 50 kg sin desgaste prematuro

Falla Funcional: Desgaste prematuro bajo cargas menores a 50 kg.

- **Modo de Falla:** Material de baja resistencia al desgaste.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Desgaste excesivo del rodillo
- **Efecto Subsecuente:** Reemplazo frecuente
- **Efecto Final:** Aumento de costos operativos
- **Causa:** Selección inadecuada de materiales.
- **Consecuencia:** Alta

Falla Funcional: Deformarse bajo cargas mayores a 50 kg.

- **Modo de Falla:** Falta de capacidad estructural del rodillo.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Deformación permanente
- **Efecto Subsecuente:** Interrupción de la producción
- **Efecto Final:** Producto defectuoso
- **Causa:** Especificaciones de diseño incorrectas.
- **Consecuencia:** Alta

Rodillos de Cobre

Función 1: Distribuir tinta homogéneamente con una variación máxima de ± 2 micras

Falla Funcional: Transferir menos de 2.5 micras de tinta.

- **Modo de Falla:** Desgaste de la superficie del rodillo.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Distribución insuficiente de tinta
- **Efecto Subsecuente:** Impresión pálida
- **Efecto Final:** Producto rechazado

- **Causa:** Desgaste natural del rodillo.
- **Consecuencia:** Media

Falla Funcional: Transferir más de 3.5 micras de tinta.

- **Modo de Falla:** Desajuste en el sistema de dosificación.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Exceso de tinta
- **Efecto Subsecente:** Mancha en la impresión
- **Efecto Final:** Producto no vendible
- **Causa:** Error en la calibración del sistema.
- **Consecuencia:** Alta

Función 2: Resistir presión de hasta 40 kg sin desgaste prematuro

Falla Funcional: Desgastarse antes de 10,000 ciclos.

- **Modo de Falla:** Material de baja durabilidad.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Desgaste rápido del rodillo
- **Efecto Subsecente:** Necesidad de reemplazo prematuro
- **Efecto Final:** Aumento de costos operativos
- **Causa:** Uso de materiales de baja calidad.
- **Consecuencia:** Media

Falla Funcional: Mostrar desgaste significativo entre 10,000 y 15,000 ciclos.

- **Modo de Falla:** Sobrecarga operativa.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Desgaste moderado
- **Efecto Subsecente:** Calidad de impresión disminuida
- **Efecto Final:** Producto final inconsistente
- **Causa:** Operación por encima de los límites de diseño.
- **Consecuencia:** Media

Función 3: Operar a una temperatura constante de 25°C para mantener la viscosidad de la tinta

Falla Funcional: Deformarse a temperaturas inferiores a 25°C.

- **Modo de Falla:** Enfriamiento excesivo.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Cambio en la viscosidad de la tinta
- **Efecto Subsecente:** Calidad de impresión inconsistente
- **Efecto Final:** Producto final defectuoso
- **Causa:** Fallo en el sistema de control de temperatura.
- **Consecuencia:** Media

Falla Funcional: Deformarse a temperaturas superiores a 25°C.

- **Modo de Falla:** Calentamiento excesivo.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Cambio en la viscosidad de la tinta
- **Efecto Subsecente:** Mancha en la impresión
- **Efecto Final:** Producto no vendible
- **Causa:** Fallo en el sistema de enfriamiento.
- **Consecuencia:** Alta

Función 4: Mantener una alineación con una tolerancia de ± 0.1 mm para asegurar una impresión uniforme

Falla Funcional: Desviarse más de 0.5 mm en la alineación.

- **Modo de Falla:** Desgaste de los mecanismos de ajuste.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Desalineación significativa
- **Efecto Subsecente:** Impresión desigual
- **Efecto Final:** Producto defectuoso
- **Causa:** Falta de ajuste y calibración regular.

- **Consecuencia:** Alta

Falla Funcional: Desviarse entre 0.5 y 1 mm en la alineación.

- **Modo de Falla:** Vibraciones excesivas durante la operación.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Desalineación moderada
- **Efecto Subsecuente:** Calidad de impresión variable
- **Efecto Final:** Pérdida de clientes
- **Causa:** Desbalanceo o problemas estructurales.
- **Consecuencia:** Alta

Función 5: Funcionar sin generar vibraciones mayores a 5 mm/s durante la operación

Falla Funcional: Formar residuos de tinta en más del 5% de la superficie.

- **Modo de Falla:** Falta de limpieza adecuada.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Acumulación de residuos
- **Efecto Subsecuente:** Impresión defectuosa
- **Efecto Final:** Producto no vendible
- **Causa:** Mantenimiento inadecuado.
- **Consecuencia:** Alta

Falla Funcional: Formar residuos de tinta en más del 3% de la superficie.

- **Modo de Falla:** Desgaste de la superficie del rodillo.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Residuos moderados
- **Efecto Subsecuente:** Impresión de baja calidad
- **Efecto Final:** Reclamos de clientes
- **Causa:** Desgaste natural.
- **Consecuencia:** Media

Falla Funcional: No evitar la formación de residuos de tinta en absoluto.

- **Modo de Falla:** Mala calidad del material del rodillo.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Acumulación significativa de residuos
- **Efecto Subsecuente:** Defectos en la impresión
- **Efecto Final:** Producto no vendible
- **Causa:** Uso de materiales inadecuados.
- **Consecuencia:** Alta

Rodillos de Poliamida

Función 1: Aplicar barniz con una cobertura uniforme de 100% sobre las láminas metálicas

Falla Funcional: No proporcionar una capa base uniforme.

- **Modo de Falla:** Superficie del rodillo desgastada.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Cobertura inconsistente
- **Efecto Subsecuente:** Defecto en la aplicación del barniz
- **Efecto Final:** Producto defectuoso
- **Causa:** Desgaste natural por uso prolongado.
- **Consecuencia:** Alta

Falla Funcional: Proporcionar una capa base con variaciones superiores al 10%.

- **Modo de Falla:** Desalineación del rodillo.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Cobertura desigual
- **Efecto Subsecuente:** Defecto en la aplicación del barniz
- **Efecto Final:** Producto no vendible

- **Causa:** Calibración incorrecta del equipo.
- **Consecuencia:** Alta

Falla Funcional: No proporcionar la capa base en absoluto.

- **Modo de Falla:** Obstrucción completa del rodillo.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Falta de barniz en la lámina
- **Efecto Subsecente:** Producto defectuoso
- **Efecto Final:** Reclamos de clientes
- **Causa:** Obstrucción por residuos.
- **Consecuencia:** Alta

Función 2: Resistir abrasión con una pérdida de material no mayor a 0.05 mm por 10,000 ciclos

Falla Funcional: Deformarse a temperaturas inferiores a 70°C.

- **Modo de Falla:** Material de baja resistencia al calor.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Deformación del rodillo
- **Efecto Subsecente:** Impresión borrosa
- **Efecto Final:** Producto defectuoso
- **Causa:** Uso de materiales no especificados.
- **Consecuencia:** Media

Falla Funcional: Deformarse a temperaturas superiores a 70°C.

- **Modo de Falla:** Exposición prolongada a altas temperaturas.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Deformación estructural
- **Efecto Subsecente:** Daño irreparable del rodillo
- **Efecto Final:** Interrupción de la producción
- **Causa:** Condiciones operativas extremas sin enfriamiento adecuado.

- **Consecuencia:** Alta

Función 3: Mantener una alineación con una tolerancia de ± 0.1 mm para asegurar una impresión uniforme

Falla Funcional: Desviarse más de 0.5 mm en la alineación.

- Modo de Falla: **Desgaste de los mecanismos de ajuste.**
- Falla Oculta/Evidente: **Evidente**
- Efecto Local: **Desalineación significativa**
- Efecto Subsecuente: **Impresión desigual**
- Efecto Final: **Producto defectuoso**
- Causa: **Falta de ajuste y calibración regular.**
- Consecuencia: **Alta**

Falla Funcional: Desviarse entre 0.5 y 1 mm en la alineación.

- **Modo de Falla:** Vibraciones excesivas durante la operación.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Desalineación moderada
- **Efecto Subsecuente:** Calidad de impresión variable
- **Efecto Final:** Pérdida de clientes
- **Causa:** Desbalanceo o problemas estructurales.
- **Consecuencia:** Alta

Función 4: Operar a una velocidad de 120 metros por minuto sin interrupciones

Falla Funcional: Operar a una velocidad menor a 115 metros por minuto.

- **Modo de Falla:** Desgaste del motor de accionamiento.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Velocidad de operación reducida
- **Efecto Subsecuente:** Menor productividad
- **Efecto Final:** Aumento de costos operativos
- **Causa:** Mantenimiento insuficiente del motor.

- **Consecuencia:** Media

Falla Funcional: Operar a una velocidad mayor a 125 metros por minuto.

- **Modo de Falla:** Fallo en el controlador de velocidad.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Exceso de velocidad
- **Efecto Subsecuente:** Mayor desgaste mecánico
- **Efecto Final:** Fallo prematuro del rodillo
- **Causa:** Mal funcionamiento del sistema de control.
- **Consecuencia:** Alta

Función 5: Funcionar sin generar vibraciones mayores a 5 mm/s durante la impresión

Falla Funcional: Generar vibraciones mayores a 5 mm/s.

- **Modo de Falla:** Desbalanceo del rodillo.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Vibraciones perceptibles
- **Efecto Subsecuente:** Desgaste prematuro del rodillo
- **Efecto Final:** Calidad de impresión comprometida
- **Causa:** Desgaste irregular o daño en el rodillo.
- **Consecuencia:** Media

Falla Funcional: Generar vibraciones entre 5 y 10 mm/s.

- **Modo de Falla:** Aflojamiento de los soportes del rodillo.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Vibraciones moderadas
- **Efecto Subsecuente:** Desgaste en componentes adyacentes
- **Efecto Final:** Costos de mantenimiento elevados
- **Causa:** Mantenimiento inadecuado de los soportes.
- **Consecuencia:** Media

Falla Funcional: Generar vibraciones mayores a 10 mm/s.

- **Modo de Falla:** Desgaste de los cojinetes.
- **Falla Oculta/Evidente:** Evidente
- **Efecto Local:** Vibraciones severas
- **Efecto Subsecuente:** Daño estructural
- **Efecto Final:** Fallo catastrófico
- **Causa:** Falta de lubricación o reemplazo de cojinetes.
- **Consecuencia:** Alta

Planteamiento Modelo Matemático para el Plan de Mantenimiento Basado en RCM

1. Análisis de Distribución de Fallas

Distribución Weibull: Esta distribución es ampliamente utilizada en el análisis de confiabilidad para modelar el tiempo hasta la falla de los componentes. La función de distribución de Weibull es:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\lambda}\right)^\beta}$$

donde t es el tiempo, λ es el parámetro de escala, y β es el parámetro de forma. Ajustar esta distribución a los datos históricos de fallas de los rodillos ayudará a predecir la probabilidad de falla en un tiempo dado (Fernández, RCM: Maintenance Strategies, 2018)

2. Optimización del Mantenimiento Preventivo

Políticas de Mantenimiento Óptimo: Utilizar modelos matemáticos para determinar el intervalo óptimo de mantenimiento preventivo. Una política común es el modelo de Barlow y Hunter, que minimiza el costo total de mantenimiento y fallas

$$C(T) = \frac{C_m}{T} + C_f \cdot R(T)$$

donde $C(T)$ es el costo total por unidad de tiempo, C_m es el costo de mantenimiento preventivo, C_f es el costo de falla, T es el intervalo de tiempo entre mantenimientos preventivos, y $R(T)$ es la tasa de falla (Fernández, RCM: Maintenance Strategies, 2018)

3. Modelos de Confiabilidad Basados en Misión

Modelos de Confiabilidad: Implementar modelos que evalúen la confiabilidad del sistema completo considerando la serie de componentes interdependientes. Utilizar el análisis de diagramas de bloques de confiabilidad (RBD) para visualizar y calcular la confiabilidad del sistema total:

$$R_s = \prod_{i=1}^n R_i$$

donde R_s es la confiabilidad del sistema y R_i es la confiabilidad de cada componente individual. (Engineers, 1999)

4. Análisis de Decisión Bayesiana

Decisión Bayesiana: Utilizar enfoques bayesianos para actualizar las estimaciones de confiabilidad y optimizar las decisiones de mantenimiento basadas en datos observados y experiencia previa. Esto permite una adaptación continua del plan de mantenimiento basado en nueva información

5. Justificación Matemática de Frecuencias de Mantenimiento

Modelos Probabilísticos: Aplicar modelos probabilísticos para justificar las frecuencias de mantenimiento preventivo. Utilizar análisis de la tasa de falla instantánea y su integral para determinar la necesidad y frecuencia de las intervenciones de mantenimiento:

$$h(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)}$$

Donde $h(t)$ es la tasa de falla instantánea, $f(t)$ es la función de densidad de probabilidad de tiempo hasta la falla, y $F(t)$ es la función de distribución acumulativa. (Hinchcliffe, 2004)

Requisitos para la implementación en el Plan de Mantenimiento

- **Recolectar Datos:** Datos históricos de fallas y mantenimientos.
- **Ajustar Modelos:** Ajustar la distribución Weibull u otras distribuciones apropiadas a los datos recolectados.
- **Simulación y Optimización:** Simular diferentes políticas de mantenimiento y optimizar el intervalo de mantenimiento basado en el costo y la confiabilidad.
- **Revisión Continua:** Aplicar análisis bayesianos para actualizar y ajustar el plan de Mantenimiento continuamente.

Para mejorar el plan de mantenimiento basado en RCM, es esencial incluir cálculos de MTTF (Mean Time to Failure) y MTTR (Mean Time to Repair). Estos indicadores son fundamentales para medir la fiabilidad y el tiempo de recuperación de los equipos, respectivamente.

Cálculo de MTTF y MTTR

MTTF es la media del tiempo que un dispositivo o componente no reparable funciona antes de fallar.

$$\text{MTTF} = \frac{\text{Horas Totales de Operación}}{\text{Número Total de Activos en Uso}}$$

Este valor se utiliza para programar mantenimientos y tomar decisiones de compra de partes, asegurando así que se realicen intervenciones antes de que ocurran fallos significativos (Atlassian, n.d.).

MTTR (Mean Time to Repair):

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Tiempo Total de Reparación}}{\text{Número Total de Fallas}}$$

MTTR mide el tiempo promedio que se tarda en reparar un sistema o componente después de una falla.

Datos Necesarios para el Cálculo

Para poder calcular el MTTF y MTTR, es necesario monitorear y registrar los siguientes datos:

- Tiempo de operación total: Horas que cada activo ha estado en funcionamiento.
- Número de fallas: Cantidad de veces que el activo ha fallado durante el periodo de análisis.
- Tiempo de reparación: Tiempo total dedicado a la reparación de los activos después de cada falla.

Aplicación en el Plan de Mantenimiento

Registro y Monitoreo:

- Implementar un sistema de monitoreo continuo para registrar los tiempos de operación y las fallas.
- Utilizar software de gestión de mantenimiento (CMMS) para automatizar la recopilación de datos y el cálculo de métricas.

Optimización de Mantenimiento:

- Utilizar los valores de MTTF para planificar mantenimientos preventivos antes de que se esperen fallos.
- Ajustar los programas de mantenimiento basados en el MTTR para minimizar los tiempos de inactividad y mejorar la eficiencia.

Justificación Matemática:

- Basar las frecuencias de mantenimiento en los cálculos de MTTF y MTTR para justificar de manera matemática la programación de intervenciones y la sustitución de componentes.

8 Conclusiones

La implementación de un plan de gestión y mantenimiento basado en el análisis RCM en Prodevases SA ha mejorado significativamente la eficiencia y confiabilidad de los sistemas litográficos. La creación de un inventario detallado y el desarrollo de un sistema de marcación han permitido un mejor seguimiento y control de los rodillos, reduciendo los tiempos de inactividad y optimizando el rendimiento de los equipos.

Referencias

- (IEC), I. E. (2010). *International Electrotechnical Vocabulary*. Ginebra: IEC.
- Center, P. T. (2017). *Maintenance Centered on Reliability*. *Plant Maintenance Resource Center*.
- Corporation, F. (1995). *Fluke Mobile*. Obtenido de <https://www.fluke.com/en-us/products/fluke-software/fluke-mobile>
- Engineers, S. o. (1999). *Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes*. Warrendale: SAE International.
- Fernández, J. C. (2018). *RCM: Maintenance Strategies*. Madrid: Springer.
- Hinchcliffe, A. M. (2004). *RCM: Gateway to World Class Maintenance*. Burlington: Elsevier.
- Moubray, J. (1997). *Reliability-centered Maintenance*. New York: Industrial Press.
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*. Portland: Productivity Press.
- Software, e. C. (s.f.). *eMaint MTTF*. Obtenido de eMaint: <https://www.emaint.com/what-is-mean-time-to-failure-mttf/>
- Willett, J. A.-E. (2004). *Asset Management*. Springer.