

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA METODOLOGÍA
RCM PARA LAS MAQUINA FORMADORA DE BOLSAS DE PAPEL CURIONI SUN 540
DE LA PLANTA DE EMPAQUES DITAR S.A BARRANQUILLA.

Omar Antonio Garcia Polo.

Trabajo de Grado para Optar el Título de Especialista en gerencia de mantenimiento.

Director

Carlos Andrés Martínez Martínez

Especialista en gerencia de productividad e innovación.

Codirector

Universidad Industrial de Santander
Facultad de ingenierías físico-mecánicas
Escuela de ingeniería mecánica

Especialización en Gerencia de Mantenimiento.

Bucaramanga

2025

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	8
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
3.	JUSTIFICACIÓN DEL PLAN PROPUESTO	11
4.	HIPOTESIS	12
5.	IMPACTO	12
6.	ALCANCE Y RESULTADOS	12
	Alcance de un Plan de Mantenimiento Basado en Confiabilidad para maquina formadora de bolsas CURIONI SUN	13
7.	RESULTADOS ESPERADOS	13
8.	OBJETIVOS	14
	Objetivo General	14
	Objetivos Específicos	14
9.	MARCO REFERENCIAL.....	15
	MARCO CONCEPTUAL.....	15
	Principios Fundamentales del RCM.....	16
	Componentes Clave del Marco Conceptual	17
	Beneficios del RCM.....	19
	Herramientas y Técnicas Utilizadas en el RCM	20
10.	MARCO TEORICO.....	21
	Selección de Estrategias de Mantenimiento	26

Implementación y Evaluación.....	28
Las 7 Preguntas del RCM son.....	30
11. MARCO LEGAL	31
12. CAPITULO DOS	32
DESCRIPCION DE LAS MAQUINAS FORMADORAS DE BOLSAS DE PAPEL CURONI SUN S40	33
13. MÉTODOLOGÍA	41
Diseño de la investigación y enfoque metodológico.....	42
Métodos de recolección de datos.....	43
Proceso de análisis e interpretación de datos	44
14. DISEÑO D E L PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA METODOLOGIA RCM	45
15. RESULTADOS.....	48
16. DISCUSIÓN	51
17. CONCLUSIONES	56
18. BIBLIOGRAFÍA.....	60

Lista de Figuras

Ilustración 1: maquina CURIONI SUN MASTER 540 imagen tomada del manual DE USO Y MANTENIMIENTO FORMADORA DE BOLSAS SUN MASTER 540 CODIGO M00035AE.....	35
Ilustración 2: esquema topográfico del proceso de la maquina curioni SUN 540	37
Ilustración 3: taxonomía de maquina curioni SUN 540 – creación propia.....	41
Ilustración 4: Árbol de decisión lógico – LTA	46

Lista de Tablas

Tabla 1 especificaciones técnicas MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO FORMADORA DE BOLSAS SUN MASTER 540 CODIGO M00035AE	34
Tabla 2 Métodos de recolección de datos	43

RESUMEN

Título: Diseño de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM para las maquina formadora de bolsas de papel CURIONI SUN 540 de la planta de empaques DITAR S.A Barranquilla.

Autor: Omar Antonio Garcia Polo

Palabras Clave: mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), confiabilidad, disponibilidad, gestión de activos.

Descripción: En este trabajo de investigación analizamos una maquina formadora de bolsas de papel CURIONI SUN 540 de la empresa DITAR S.A. puesto que es uno de los activos que más aportan a la productividad de la empresa, el diseño de un del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) busca proporcionarle una mayor confiabilidad a este equipo

para así llevar seguimiento por medio de cronogramas definidos, funciones definidas y actividades de mantenimiento programadas.

Dentro de los resultados más relevantes obtenidos se encuentra la recopilación de información importante como la taxonomía de cada uno de los sistemas, subsistemas y componentes que intervienen en el equipo hasta un nivel de detalle específico, un análisis de modos de falla y efectos FMEA. Seguido a esto se presenta la propuesta de un plan de mantenimiento para controlar los modos de falla identificados luego del análisis. En conclusión, se presenta un documento de referencia para investigaciones futuras sobre mantenimiento centrado en confiabilidad en la industria papelera.

ABSTRACT

Title: Design of a maintenance plan based on the RCM methodology for the CURIONI SUN 540 paper bag forming machine at the DITAR S.A Barranquilla packaging plant.

Author: Omar Antonio Garcia Polo

Keywords: Reliability centered maintenance (RCM), reliability, availability, asset management.

Description: In this research work we analyze a CURIONI SUN 540 paper bag forming machine from the company DITAR S.A. Since it is one of the assets that contribute the most to the company's productivity, the design of a reliability-centered maintenance (RCM) plan seeks to provide greater reliability to this equipment.

in order to keep track through defined schedules, defined functions and scheduled maintenance activities.

Among the most relevant results obtained is the compilation of important information such as the taxonomy of each of the systems, subsystems and components that intervene in the equipment up to a specific level of detail, an analysis of failure modes and FMEA effects. Following this, the proposal for a maintenance plan is presented to control the failure modes identified after the analysis. In conclusion, a reference document is presented for future research on maintenance focused on reliability in the paper industry.

1. INTRODUCCIÓN

En la industria manufacturera, el mantenimiento eficiente de los equipos es esencial para garantizar la continuidad operativa, la calidad del producto y la competitividad en el mercado. La planta de empaques DITAR S.A., ubicada en Barranquilla, enfrenta desafíos constantes para mantener la operatividad de sus máquinas formadoras de bolsas de papel CURIONI SUN 540. Estos equipos son fundamentales para la producción de bolsas de papel, y cualquier fallo en su funcionamiento puede resultar en tiempos de inactividad costosos y en la interrupción del flujo de producción.

El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) surge como una metodología sistemática y estructurada que permite determinar las necesidades de mantenimiento de los activos físicos dentro de su contexto operativo específico. El RCM se basa en la identificación de funciones críticas de los equipos, el análisis de modos y efectos de falla (FMEA/FMECA), y el desarrollo de estrategias de mantenimiento específicas para prevenir o mitigar las fallas identificadas (López Mariño, 2003). Esta metodología no solo se enfoca en prevenir fallos, sino que también busca optimizar el rendimiento de los equipos y prolongar su vida útil.

El objetivo principal de esta investigación es diseñar un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM para las máquinas formadoras de bolsas de papel CURIONI SUN 540 en DITAR S.A. La investigación se estructura en varias etapas: una revisión exhaustiva de la literatura sobre el RCM y sus aplicaciones, la recopilación de datos operativos y de mantenimiento específicos de las máquinas en cuestión, la realización de un análisis FMEA/FMECA para identificar modos de falla críticos, y finalmente, el diseño de un plan de mantenimiento específico (Anaya Sánchez, 2023).

El proceso de revisión de literatura proporcionará una base teórica sólida sobre los principios, métodos y herramientas del RCM, así como ejemplos de aplicaciones exitosas en la industria. La recopilación de datos incluirá tanto información técnica de los equipos como el historial de fallas y mantenimiento, lo cual es crucial para realizar un análisis FMEA/FMECA detallado. Este análisis permitirá identificar los modos de falla más críticos y evaluar sus efectos potenciales, lo que a su vez informará el diseño de un plan de mantenimiento específico y eficiente.

El mantenimiento industrial juega un papel crítico en la eficiencia y la rentabilidad de las operaciones manufactureras. Un enfoque proactivo y bien estructurado hacia el mantenimiento puede significar la diferencia entre una producción continua y eficiente y una marcada por interrupciones costosas y fallas frecuentes. La confiabilidad de los equipos es vital para cualquier operación industrial. A través de estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo, es posible identificar y corregir problemas potenciales antes de que resulten en fallas graves. Esto no solo mejora la disponibilidad de los equipos, sino que también asegura una producción más estable y predecible. Además, las fallas inesperadas no solo resultan en tiempos de inactividad, sino que también pueden causar daños adicionales a los equipos y productos. Un plan de mantenimiento bien diseñado puede minimizar estos costos imprevistos al reducir la frecuencia y gravedad de las fallas.

El mantenimiento regular y adecuado puede extender significativamente la vida útil de los equipos industriales. Esto no solo optimiza la inversión inicial en maquinaria, sino que también reduce la necesidad de reemplazos frecuentes y costosos. Equipos bien mantenidos tienden a

operar dentro de sus especificaciones óptimas, lo que se traduce en una mayor calidad del producto. Esto es particularmente importante en industrias como la de empaques, donde la consistencia y la calidad del producto final son críticas para la satisfacción del cliente y la conformidad con las normativas.

El mantenimiento adecuado es también un requisito clave para el cumplimiento de las normativas de seguridad y medioambientales. Equipos bien mantenidos son menos propensos a fallar de manera que puedan causar accidentes o impactos negativos en el entorno.

En resumen, la implementación de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM en la planta de empaques DITAR S.A. no solo busca mejorar la confiabilidad y disponibilidad de las máquinas formadoras de bolsas de papel CURIONI SUN 540, sino también optimizar los costos operativos, prolongar la vida útil de los equipos, mejorar la calidad del producto y asegurar el cumplimiento de normativas de seguridad y medioambientales. Esta investigación pretende proporcionar una base sólida y un enfoque estructurado para la gestión del mantenimiento industrial, contribuyendo así a la eficiencia y competitividad de la planta en el mercado.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las máquinas formadoras de bolsas de papel CURIONI SUN de la planta de empaques de la empresa DITAR S.A. desempeñan una función fundamental en el proceso de fabricación. Estas máquinas son sometidas a condiciones operativas rigurosas y demandantes, lo que conlleva a un desgaste continuo de sus componentes y a la posibilidad de fallas inesperadas que pueden interrumpir la producción y generar costos significativos (Atalaya Salazar, 2023).

Actualmente la estrategia de mantenimiento aplicada a las máquinas es de naturaleza preventiva y se sigue el plan de mantenimiento brindado por el fabricante, pese a esto existe una

alta probabilidad de fallos no detectados a tiempo o mantenimientos innecesarios que pueden resultar costosos y poco eficientes (Vásquez Noboa, 2008). Debido a esta circunstancia, es necesario diseñar una estrategia de mantenimiento más eficaz y eficiente que minimice los tiempos de inactividad no programados y maximice los gastos relacionados con el mantenimiento.

Los planes enfocados en mantener la fiabilidad (RCM) y adaptados a las características únicas de dichos equipos deben sustituir a los planes de mantenimiento preventivo convencionales. El RCM reduce los riesgos identificando y analizando las tendencias de mantenimiento en caso de avería (Paez Mesa, 2022).

3. JUSTIFICACIÓN DEL PLAN PROPUESTO

Para la empresa DITAR S.A. una mayor disponibilidad y confiabilidad de la máquina para fabricar bolsas CURIONI SUN 540, al tiempo que reduce los costos de mantenimiento, aumentará significativamente la competitividad de la empresa y evitará retrasos en los tiempos de producción y posteriores inconsistencias para los clientes potenciales. Por lo tanto, el desarrollo de un programa RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) específicamente para estas máquinas aumentará la confiabilidad y disponibilidad, disminuirá los gastos del respectivo mantenimiento, optimizará los gastos de inversión, aumentará la seguridad y extenderá la vida útil de los activos (Rospigliosi Cueva, 2023).

El programa de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) tiene como objetivo principal la identificación y solución de las causas subyacentes de las averías en los equipos. Al implementar el RCM, es factible detectar y prevenir de manera anticipada los elementos que

generan el deterioro de la maquinaria. Esto contribuye a extender la durabilidad del equipo y a maximizar el rendimiento de la inversión en el mismo.

4. HIPOTESIS

El diseño y posterior implementación de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad aumentará significativamente la disponibilidad y el rendimiento de los equipos, al identificar y priorizar las funciones críticas y sus modos de fallo, lo que resultará en una reducción del tiempo de inactividad no programado y en una disminución de los costos de mantenimiento a largo plazo

5. IMPACTO

El diseño del plan de mantenimiento basado en confiabilidad RCM tendrá un impacto positivo en diferentes áreas de la compañía, al ser una empresa que compite en un mercado internacional debe alinear sus estrategias a lo que el mercado internacional demanda.

Siendo mantenimiento uno de los principales procesos de apoyo a la producción esta estrategia incrementará la eficiencia operativa, disminuirá los gastos y todo esto se verá reflejado en la satisfacción del cliente.

6. ALCANCE Y RESULTADOS

Un plan de mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) es una estrategia que busca optimizar el rendimiento y la disponibilidad de los activos mediante un enfoque sistemático para identificar y gestionar fallas. A continuación, se detallan el alcance y los resultados esperados al diseñar este plan.

Es de aclarar que el alcance de este trabajo culmina en el diseño y no abarca la implementación de dicho plan.

6.1. ALCANCE DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD PARA MAQUINA FORMADORA DE BOLSAS CURIONI SUN.

Identificación de Activos: escoger el equipo y sistemas que son críticos para las operaciones (en este caso maquina CURIONI SUN MASTER 540)

Análisis de Funciones y Fallas: Evaluar las funciones de la máquina, así como las posibles fallas que pueden ocurrir y sus efectos.

Clasificación de Riesgos: Utilizar el análisis de modos de falla y efectos (FMEA) para priorizar fallas según su impacto en la operación y la seguridad.

Estrategias de Mantenimiento: Definir el tipo de mantenimiento a realizar para cada una de las tareas que evitan los modos de falla identificados previamente.

Implementación: este trabajo culminará en el diseño del plan y no abarca la implementación de este.

7. RESULTADOS ESPERADOS

Aumento de la Disponibilidad: Mejora en la disponibilidad operativa de la máquina, reduciendo el tiempo de inactividad no planificado.

Reducción de Costos: Disminución de costos operativos y de mantenimiento al reducir las intervenciones innecesarias y optimizar el uso de recursos.

Mejora en la Seguridad: Identificación y mitigación de riesgos asociados a las fallas de los equipos, aumentando la seguridad laboral.

Mayor Confiabilidad: Mejora en la confiabilidad de la máquina, lo que se traduce en un mejor rendimiento general de la planta.

8. OBJETIVOS

Objetivo General

Diseñar un plan de mantenimiento basado en la metodología Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), por sus siglas en inglés para las maquina formadora de bolsas de papel CURIONI SUN 540 de la planta de empaques DITAR S.A Barranquilla

Objetivos Específicos

1. Recopilar y analizar la información existente de las maquinas CURIONI SUN 540 para establecer un diagnóstico de la situación actual y las características operacionales
2. Identificar las funciones críticas de las máquinas formadoras de bolsas de papel CURIONI SUN 540 para determinar los sistemas, subsistemas y componentes que son esenciales para su funcionamiento.
3. Realizar un análisis de modos de falla y efectos (FMEA) en la producción y calidad de las bolsas de papel.
4. Diseñar un plan de mantenimiento basado en la frecuencia óptima de mantenimiento para la maquina formadora de bolsas CURIONI SUN 540 con el propósito de evitar fallas inesperadas y maximizar la disponibilidad de las máquinas.

9. MARCO REFERENCIAL

MARCO CONCEPTUAL

La arquitectura conceptual del estudio se basa en varios conceptos clave que proporcionan el fundamento teórico necesario para comprender y abordar plenamente las preguntas de investigación. En este sentido, el marco conceptual abarca diferentes áreas temáticas relacionadas con el estudio del desarrollo del plan de mantenimiento basado en el enfoque RCM para la máquina formadora de bolsas de papel CURIONI SUN 540 de DITAR S.A. planta empacadora.

En primer lugar, la estructura conceptual incluye los principios básicos del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), un método estructurado diseñado para determinar las necesidades de mantenimiento de los activos físicos en su contexto operativo. RCM se fundamenta en la identificación de funciones esenciales de los equipos, así como en el análisis de los modos de falla y sus consecuencias (FMEA/FMECA) y el desarrollo de estrategias de mantenimiento específicas para prevenir o mitigar fallas identificadas. Además, la arquitectura conceptual cubre conceptos relacionados con el análisis modal de fallas y efectos (FMEA/FMECA), que es una herramienta esencial en el enfoque RCM. FMEA/FMECA identifica posibles modos de falla, evalúa su impacto y ordena las tareas de mantenimiento para asegurar la fiabilidad y disponibilidad del equipo. Asimismo, la arquitectura conceptual considera el papel crucial que el mantenimiento industrial desempeña en la empresa DITAR S.A. planta empacadora. Esto implica entender las diferentes modalidades de mantenimiento, tales como el correctivo, preventivo, predictivo y proactivo, y su impacto en la productividad, los costos y la fiabilidad operativa. Finalmente, el marco conceptual describe la máquina formadora

de bolsas de papel CURIONI SUN 540, incluyendo sus especificaciones técnicas, partes principales, funcionamiento y modos de falla comunes. Una comprensión detallada de su equipo es esencial para desarrollar un programa de mantenimiento eficaz que garantice su funcionamiento continuo y eficiente.

En conjunto, el marco conceptual proporciona un enfoque estructurado para abordar el problema de investigación, integrando conceptos clave de mantenimiento industrial, metodología RCM y características específicas de las máquinas formadoras de bolsas de papel CURIONI SUN 540 en la planta de empaques DITAR S.A.

Principios Fundamentales del RCM

De acuerdo con los enfoques de Smith (2010) y Moubray (1997), el RCM se apoya en los siguientes principios fundamentales:

1. **Función:** La primera etapa del RCM implica definir claramente la función de cada activo o equipo en el contexto de la operación general de la planta. Esto asegura que el mantenimiento esté orientado a **mantener la funcionalidad esencial** del activo, en lugar de simplemente evitar fallas sin un propósito claro. Esta visión funcional asegura que todos los esfuerzos de mantenimiento estén alineados con las necesidades críticas de la operación (Smith, 2010; Moubray, 1997).
2. **Falla:** El RCM se enfoca en identificar todos los **modos de falla** posibles para cada activo. Esto incluye no solo las fallas obvias, sino también fallas que puedan tener consecuencias secundarias o afectar indirectamente la operación. Este enfoque exhaustivo

de identificación de fallas asegura que el plan de mantenimiento considere todos los escenarios posibles, minimizando riesgos (Smith, 2010).

3. **Consecuencias de la falla:** No todas las fallas son iguales. En el RCM, se evalúan las **consecuencias de cada modo de falla** en términos de seguridad, producción, costos y otros factores críticos. La clasificación de las fallas según su impacto permite priorizar el mantenimiento de manera que los recursos se asignan de forma óptima, previniendo consecuencias graves en la operación o la seguridad (Moubray, 1997).
4. **Tareas de mantenimiento:** En función de los modos y consecuencias de la falla, se seleccionan las **tareas de mantenimiento más efectivas** para prevenir o mitigar sus efectos. Esta selección es crítica para evitar intervenciones innecesarias y enfocarse en las acciones que verdaderamente contribuyen a la confiabilidad del activo (Smith, 2010).
5. **Intervalos de mantenimiento:** Finalmente, el RCM establece **intervalos de tiempo óptimos** para realizar cada tarea de mantenimiento. Estos intervalos se determinan considerando factores como la tasa de degradación del equipo, su criticidad y los costos involucrados, buscando maximizar la disponibilidad y confiabilidad del activo al menor costo posible (Moubray, 1997).

Componentes Clave del Marco Conceptual

Para implementar el RCM de manera eficaz, el marco conceptual debe incluir los siguientes componentes:

1. **Análisis de la función:**
 - Definición precisa de la función del activo.

- Identificación de funciones críticas para asegurar que el mantenimiento esté dirigido a mantener la operación esencial del equipo.

2. Identificación de Modos de Falla:

- Se realiza un análisis exhaustivo de los modos de falla posibles para cada componente del activo, evaluando su frecuencia y severidad.
- Este análisis se apoya en técnicas como el FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) que permite priorizar modos de falla con base en su impacto y probabilidad (Smith, 2010).

3. Evaluación de las Consecuencias de la Falla:

- Identificación de los efectos de cada modo de falla en términos de seguridad, costos, producción y otros factores relevantes.
- Clasificación de las consecuencias según su gravedad, lo cual permite priorizar el mantenimiento preventivo en los modos de falla más críticos (Moubray, 1997).

4. Selección de Tareas de Mantenimiento:

- Análisis de las tareas de mantenimiento disponibles para cada modo de falla, seleccionando aquellas más efectivas para prevenir o mitigar consecuencias graves.
- Este enfoque asegura que solo se implementen tareas que contribuyen directamente a la confiabilidad del equipo y la operación general (Smith, 2010).

5. Establecimiento de Intervalos de Mantenimiento:

- Determinación de la frecuencia óptima para cada tarea de mantenimiento, considerando factores como la tasa de degradación del activo y los costos involucrados.

- La periodicidad de las tareas se ajusta a las condiciones específicas de operación y criticidad del activo, maximizando la vida útil y el tiempo de actividad de los equipos (Moubray, 1997).

6. **Desarrollo del Plan de Mantenimiento:**

- Documentación detallada de todas las tareas de mantenimiento, sus intervalos y los procedimientos a seguir.
- Integración del plan con otros sistemas de gestión, como el software de gestión de mantenimiento (CMMS), para una implementación efectiva y controlada (Smith, 2010).

7. **Implementación y Monitoreo:**

- Capacitación del personal encargado de ejecutar el plan.
- Ejecución y seguimiento de las tareas de mantenimiento, recopilando datos para evaluar el desempeño y realizar ajustes continuos en el plan (Moubray, 1997).

Beneficios del RCM

La implementación del RCM ofrece múltiples beneficios, entre los que destacan:

1. **Mayor confiabilidad:** Se reducen las fallas inesperadas, aumentando así la disponibilidad de los equipos y asegurando una operación más estable (Smith, 2010).
2. **Reducción de costos:** Al optimizar los recursos de mantenimiento, se minimizan los costos de reparación, eliminando tareas de bajo impacto y concentrándose en las necesarias (Moubray, 1997).

3. **Mejora de la seguridad:** La identificación y mitigación de los riesgos asociados con fallas críticas mejora las condiciones de seguridad para los operadores y reduce los riesgos de accidentes.
4. **Aumento de la vida útil de los activos:** Al implementar un mantenimiento preventivo eficaz, se extiende la vida útil de los equipos, lo cual representa un ahorro en costos de reemplazo y aumenta el retorno sobre la inversión (Smith, 2010).
5. **Cumplimiento normativo:** El RCM también asegura el cumplimiento de regulaciones y estándares de seguridad, lo cual es crucial en industrias altamente reguladas (Moubray, 1997).

Herramientas y Técnicas Utilizadas en el RCM

Para llevar a cabo un plan de RCM eficaz, se emplean diversas herramientas, entre ellas:

1. **Análisis FMEA:** Esta técnica permite identificar modos de falla y sus efectos, priorizando las fallas según su impacto y frecuencia.
2. **Árboles de falla:** Diagramas que muestran las combinaciones de fallas que podrían llevar a un fallo del sistema, ayudando a visualizar y analizar las relaciones entre fallas.
3. **Diagramas de Ishikawa:** También conocidos como diagramas de causa y efecto, ayudan a identificar las causas raíz de fallas específicas.
4. **Software de gestión de mantenimiento:** Herramientas digitales que permiten planificar, programar y rastrear las tareas de mantenimiento, facilitando la implementación y el monitoreo del plan de RCM.

El RCM es un enfoque metodológico que permite a las organizaciones optimizar el mantenimiento de sus activos, centrándose en sus funciones críticas y en la prevención de fallas. La implementación de un plan de RCM bien estructurado permite mejorar la eficiencia operativa, reducir riesgos y costos, y maximizar la vida útil de los equipos, ofreciendo así un marco completo para el mantenimiento industrial en entornos exigentes y de alta confiabilidad.

10. MARCO TEORICO

El marco teórico de esta investigación se enfoca en proporcionar una comprensión integral y detallada de los conceptos y metodologías esenciales para el desarrollo y la implementación de un plan de mantenimiento basado en la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) para las máquinas formadoras de bolsas de papel CURIONI SUN 540 en la planta de empaques DITAR S.A.

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) es una metodología sistemática destinada a determinar las necesidades de mantenimiento de los activos físicos en su contexto operativo (Agreda Espinoza, 2021). Esta metodología se originó en la industria aeronáutica en la década de 1960 y ha sido adaptada y aplicada en diversas industrias debido a su eficacia en la mejora de la confiabilidad y disponibilidad de los equipos. Los principios fundamentales del RCM incluyen la identificación de funciones y fallos funcionales, que consiste en determinar las funciones que cada activo debe cumplir y definir los fallos funcionales que impiden que se cumplan esas funciones; el Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA/FMECA), que implica identificar los modos de falla potenciales, sus causas y efectos, y evaluar la criticidad de cada modo de falla; la selección de estrategias de mantenimiento, que, basadas en el análisis FMEA/FMECA, desarrolla estrategias de mantenimiento adecuadas que pueden incluir

mantenimiento preventivo, predictivo, correctivo y diseño de modificaciones; y finalmente, la implementación y evaluación, que se refiere a la aplicación de las estrategias de mantenimiento y monitoreo de su efectividad, realizando ajustes continuos para mejorar el desempeño del sistema.

Las metodologías de mantenimiento industrial son esenciales para la gestión eficiente de los activos físicos en cualquier planta industrial. Entre las principales metodologías se encuentran el mantenimiento correctivo, que consiste en la realización de reparaciones después de que se ha producido una falla; el mantenimiento preventivo, que implica la realización de tareas de mantenimiento a intervalos regulares para prevenir fallas (Parra, 2012), incluyendo inspecciones, lubricación y reemplazo de piezas desgastadas; el mantenimiento predictivo, que utiliza técnicas de monitoreo de condición para predecir cuándo es probable que ocurra una falla y realizar el mantenimiento justo antes de que ocurra; el mantenimiento proactivo, que se enfoca en identificar y eliminar las causas raíz de los fallos para evitar que se repitan; y el mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM), que es un enfoque holístico que combina elementos de las anteriores metodologías para optimizar el mantenimiento de los activos en función de su criticidad y contexto operativo (Díaz Marín, 2019).

El Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA) y su extensión, el Análisis de Modos, Efectos y Criticidad de Falla (FMECA), son herramientas críticas en el mantenimiento centrado en la confiabilidad. Estos análisis se utilizan para identificar modos de falla, determinando todas las formas posibles en que un equipo o sistema puede fallar; evaluar efectos de falla, analizando las consecuencias de cada modo de falla en el sistema y su impacto en la operatividad, seguridad y costos; y la criticidad de falla, en el FMECA, donde se agrega la evaluación de la criticidad para priorizar las fallas según su impacto y probabilidad, ayudando a enfocar los recursos de

mantenimiento en las áreas más críticas. Basado en la evaluación de los modos de falla y sus efectos, se diseñan acciones correctivas y preventivas para mitigar o eliminar las fallas.

El desarrollo de estos elementos teóricos proporcionará una base sólida para el análisis y la implementación del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para las máquinas formadoras de bolsas de papel CURIONI SUN 540. Este enfoque garantizará que las estrategias de mantenimiento sean adecuadas para prevenir fallas, optimizar la operatividad y mejorar la eficiencia de la planta de empaques DITAR S.A.

Fundamentos del mantenimiento centrado en Confiabilidad

La revisión de la literatura en torno al Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) revela una metodología que ha evolucionado significativamente desde su origen en la industria aeronáutica en la década de 1960, logrando una aplicación exitosa en diversas industrias debido a su capacidad para mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos. A continuación, se realiza un análisis detallado de los principios fundamentales del RCM, citando a los principales autores en el tema.

Identificación de Funciones y Fallos Funcionales

El primer paso en la metodología RCM es la identificación de funciones y fallos funcionales de los activos. Según (Robles Rojas, 2015) este proceso implica definir claramente las funciones que cada activo debe cumplir, así como los estándares de desempeño esperados. Al determinar los fallos funcionales, se identifican las condiciones bajo las cuales un activo no cumple con sus funciones. (Smith, 2004) destacan que una comprensión precisa de las funciones y fallos funcionales es crucial para establecer una base sólida para el análisis de modos de falla y la selección de estrategias de mantenimiento.

Por otro lado, autores como (Callaghan, 2008) subrayan que la identificación precisa de funciones es esencial no solo para entender cómo debe operar un activo, sino también para determinar el impacto que tiene el no cumplimiento de estas funciones en el sistema general. Estos autores proponen un enfoque estructurado que incluye la descomposición de sistemas complejos en funciones primarias y secundarias para facilitar la identificación de fallos funcionales.

Por otro lado, (Markic, 2024) destaca que la identificación de funciones debe incluir tanto las funciones operativas como las funciones de soporte. Las funciones operativas están directamente relacionadas con la producción o el servicio que el activo proporciona, mientras que las funciones de soporte abarcan actividades como la lubricación, el enfriamiento y otras operaciones de mantenimiento esenciales para el funcionamiento del activo.

En adición a lo anterior, (Álamo Trujillo, 2014) enfatizan la importancia de la identificación de fallos funcionales en términos de seguridad y medio ambiente. Estos autores argumentan que los fallos funcionales no solo afectan la operación del activo, sino que también pueden tener implicaciones significativas para la seguridad del personal y el impacto ambiental. Por lo tanto, la identificación de fallos funcionales debe considerar estos factores adicionales.

Asimismo, (Zuccoli, 2009) sugieren que la identificación de funciones y fallos funcionales debe ser un proceso colaborativo que involucre a múltiples partes interesadas, incluyendo operadores, técnicos de mantenimiento y gerentes de planta. Esta colaboración, según ellos, asegura una comprensión más completa y precisa de las funciones del activo y de los posibles fallos funcionales desde diferentes perspectivas.

por su parte, (Fernández, 2004) indica que la identificación de funciones debe ser específica y cuantificable. Por ejemplo, en lugar de simplemente declarar que una bomba debe

"bombear agua", debe especificarse que debe "bombear 100 litros de agua por minuto a una presión de 50 psi". Esta especificidad facilita la identificación de fallos funcionales y la evaluación de su impacto.

Finalmente, (Álamo Trujillo A. L., 2014) proponen que las funciones de un activo deben ser documentadas en un formato estándar, como un árbol de funciones o un diagrama de bloques funcionales. Esto ayuda a visualizar las interrelaciones entre las diferentes funciones y a identificar de manera más eficaz los fallos funcionales.

Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA/FMECA)

El Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA) y su extensión, el Análisis de Modos, Efectos y Criticidad de Falla (FMECA), son componentes esenciales del RCM. Rausand y Høyland (2004) explican que el FMEA se centra en identificar modos de falla potenciales, sus causas y efectos, y evaluar la criticidad de cada modo de falla. (Valencia Martínez, 2020) han demostrado la importancia del FMEA/FMECA en la industria manufacturera, señalando que su aplicación sistemática permite identificar y priorizar los modos de falla más críticos, lo que facilita el desarrollo de estrategias de mantenimiento efectivas.

(Valencia Martínez, 2020) han demostrado la importancia del FMEA/FMECA en la industria manufacturera, señalando que su aplicación sistemática permite identificar y priorizar los modos de falla más críticos, facilitando así el desarrollo de estrategias de mantenimiento efectivas. Además, (Paolini Noguera, 2013) destacan que el FMEA no solo identifica los modos de falla, sino que también proporciona un marco para evaluar el impacto de estas fallas en el sistema completo, permitiendo una priorización más efectiva de las acciones correctivas.

(Paolini Noguera A. E., 2013)añaden que el FMEA/FMECA es particularmente útil en entornos complejos donde la interdependencia entre diferentes sistemas y componentes puede

complicar la identificación de fallas. Ellos sugieren que la metodología ayuda a desglosar estas complejidades y a proporcionar una visión clara de las áreas que requieren atención prioritaria.

Por otro lado, autores como (Saldarriaga Rendón, 2018) también enfatizan la utilidad del FMEA/FMECA en el diseño de sistemas de mantenimiento preventivo. Argumentan que el análisis detallado de modos de falla permite diseñar intervenciones preventivas específicas que pueden reducir significativamente la frecuencia y severidad de fallas, mejorando la confiabilidad y disponibilidad de los activos.

Por otra parte, (Hincapié González, 2019) resalta que el FMEA/FMECA es una herramienta vital para la gestión del riesgo. Al identificar y evaluar los modos de falla, las organizaciones pueden anticipar problemas potenciales y tomar medidas preventivas para mitigarlos antes de que ocurran, lo cual es crucial para mantener la eficiencia operativa y la seguridad.

Finalmente, (Delgado Rojas, 2015) subraya que la implementación del FMEA/FMECA debe ser un esfuerzo colaborativo que involucre a todas las partes interesadas, incluyendo ingenieros, técnicos de mantenimiento y operadores. Esta colaboración asegura que todos los posibles modos de falla sean considerados y que las estrategias de mitigación sean completas y efectivas.

Selección de Estrategias de Mantenimiento

Basado en el análisis FMEA/FMECA, el siguiente paso es la selección de estrategias de mantenimiento adecuadas. (Pacheco Bado, 2018) sostiene que estas estrategias pueden incluir mantenimiento preventivo, predictivo, correctivo y diseño de modificaciones. Las estrategias preventivas implican la realización de tareas de mantenimiento programadas para prevenir fallas, mientras que las estrategias predictivas utilizan técnicas de monitoreo de condición para predecir

cuándo es probable que ocurra una falla. (Herrera Pozo, 2023) enfatizan que la selección de la estrategia adecuada debe basarse en un análisis detallado de la criticidad y el impacto de cada modo de falla identificado.

(Casilla Vargas, 2018) sostienen que la selección de estrategias de mantenimiento debe considerar la relación costo-beneficio. Esto implica evaluar no solo el costo de implementar cada estrategia, sino también el costo potencial de las fallas que se busca evitar. De este modo, se pueden priorizar aquellas estrategias que ofrezcan el mayor beneficio en términos de reducción de fallas y costos operativos.

(Casado Márquez, 2018) destaca la importancia de la flexibilidad en la selección de estrategias de mantenimiento. Argumenta que, debido a las variaciones en los contextos operativos y las condiciones de los activos, es fundamental que las estrategias de mantenimiento sean adaptables y puedan modificarse según sea necesario para responder a cambios en el entorno o en el desempeño de los activos.

(Parra Ponce, 2022) abogan por un enfoque colaborativo en la selección de estrategias de mantenimiento, involucrando a todas las partes interesadas, incluyendo operadores, técnicos de mantenimiento y gerentes de planta. Esta colaboración asegura que todas las perspectivas sean consideradas y que las estrategias seleccionadas sean prácticas y efectivas desde múltiples puntos de vista.

Blanchard et al. (1995) proponen el uso de análisis de riesgo en la selección de estrategias de mantenimiento. Este enfoque permite identificar los riesgos asociados con diferentes modos de falla y evaluar cómo las diversas estrategias de mantenimiento pueden mitigar estos riesgos. El análisis de riesgo proporciona una base sólida para tomar decisiones informadas sobre la selección de estrategias de mantenimiento.

Por otro lado, Dhillon (2002) resalta la importancia de la integración de tecnologías avanzadas en la selección de estrategias de mantenimiento. Tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) y el análisis de big data pueden mejorar significativamente la efectividad del mantenimiento predictivo al proporcionar datos en tiempo real sobre el estado de los activos y predecir con mayor precisión las fallas potenciales.

Implementación y Evaluación

La fase final del RCM es la implementación y evaluación de las estrategias de mantenimiento. (Veria Rivero Rivero, 2019) destaca la importancia de aplicar las estrategias seleccionadas y monitorear su efectividad de manera continua. La retroalimentación obtenida de esta fase es crucial para realizar ajustes continuos que mejoren el desempeño del sistema. Pérez y Gómez (2018) han demostrado que la evaluación continua y el ajuste de las estrategias de mantenimiento basadas en RCM pueden reducir significativamente los tiempos de inactividad y los costos de mantenimiento, mejorando así la confiabilidad y disponibilidad de los equipos.

(Gómez-Solórzano, 2024) han demostrado que la evaluación continua y el ajuste de las estrategias de mantenimiento basadas en RCM pueden reducir significativamente los tiempos de inactividad y los costos de mantenimiento, mejorando así la confiabilidad y disponibilidad de los equipos. Este enfoque permite una respuesta dinámica a las condiciones cambiantes del entorno operativo y las necesidades emergentes del sistema.

Además, (Pérez Rosario, 2023) enfatizan que la implementación efectiva de las estrategias de mantenimiento debe incluir la capacitación del personal y la integración de tecnologías avanzadas de monitoreo y análisis de datos. Esto no solo mejora la precisión del mantenimiento predictivo, sino que también facilita una toma de decisiones más informada y oportuna.

(Castellanos, 2019) sugiere que la implementación debe ser vista como un proceso colaborativo que involucra a todas las partes interesadas, desde los operadores de maquinaria hasta los gerentes de planta. Esta colaboración asegura que las estrategias de mantenimiento sean prácticas y se adapten a las realidades operativas del día a día. Asimismo, Dhillon (2002) argumenta que la implementación de estrategias de mantenimiento debe ser flexible y adaptable, permitiendo ajustes rápidos en respuesta a nuevas informaciones o cambios en las condiciones del sistema.

(Smith, 2004) proponen que la evaluación de la efectividad de las estrategias de mantenimiento debe incluir indicadores clave de rendimiento (KPI) específicos, como la reducción de fallas, el aumento de la disponibilidad de los equipos y la disminución de los costos operativos. Estos KPI proporcionan una base cuantitativa para medir el éxito del plan de mantenimiento y para identificar áreas que requieren mejoras adicionales.

(Álamo Trujillo A. L., 2014) recomiendan la utilización de herramientas de análisis estadístico y de gestión de la calidad, como el control estadístico de procesos (SPC), para monitorear y evaluar la efectividad de las estrategias de mantenimiento. Estas herramientas permiten detectar patrones y tendencias en los datos de mantenimiento, lo que facilita la identificación de problemas recurrentes y la implementación de soluciones proactivas.

En síntesis, la implementación y evaluación de las estrategias de mantenimiento son pasos críticos en el proceso de RCM que requieren un enfoque sistemático y colaborativo. La capacitación del personal, la utilización de tecnologías avanzadas, la flexibilidad y la adaptación a nuevas condiciones, así como la medición y el análisis continuo del desempeño, son elementos esenciales para garantizar la efectividad y la mejora continua del plan de mantenimiento.

La literatura revisada subraya la relevancia y efectividad del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) como una metodología sistemática para determinar las necesidades de mantenimiento de los activos físicos en su contexto operativo. Autores como Moubray (1997), Smith y Hinchcliffe (2004), y Pérez y Gómez (2017, 2018) han contribuido significativamente al desarrollo y aplicación del RCM en diversas industrias, demostrando su capacidad para mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos a través de la identificación de funciones y fallos funcionales, el análisis de modos y efectos de falla, la selección de estrategias de mantenimiento. Esta base teórica proporciona un fundamento sólido para el desarrollo de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para las máquinas formadoras de bolsas de papel CURIONI SUN 540 en la planta de empaques DITAR S.A.

Las 7 Preguntas del RCM son:

1. ¿Cuáles son las funciones y los estándares de desempeño deseados asociados del activo en su contexto operativo actual (funciones)?

- Se busca definir claramente qué debe hacer el activo y con qué nivel de desempeño.

2. ¿De qué manera puede dejar de cumplir sus funciones (fallas funcionales)?

-Se identifican todas las formas en que el activo puede fallar en cumplir su función principal.

3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional (modos de falla)?

- Se analizan las causas raíz de cada falla identificada en la pregunta anterior.

¿Qué ocurre cuando se produce cada falla (efectos de falla)?

Se evalúan las consecuencias de cada falla, tanto para el activo como para el proceso productivo.

¿En qué sentido es importante cada falla (consecuencias de la falla)?

-Se priorizan las fallas en función de su impacto en la seguridad, producción, costos y otros factores críticos.

¿Qué se debe hacer para predecir o prevenir cada falla (tareas proactivas e intervalos de tareas)?

- Se seleccionan las tareas de mantenimiento más efectivas para prevenir o detectar las fallas a tiempo.

¿Qué se debe hacer si no se puede encontrar una tarea proactiva adecuada (acciones predeterminadas)?

Se establecen las acciones a seguir en caso de que no sea posible prevenir una falla, como reparaciones o reemplazos.

11. MARCO LEGAL

En el contexto de Colombia, el marco legal estudiado juega un papel crucial para asegurar la creación y ejecución de un plan de mantenimiento basado en el enfoque RCM para la máquina que produce bolsas de papel CURIONI SUN 540 en DITAR S.A. Esto se hace de acuerdo con la ética, la seguridad y la normativa aplicable. En primer lugar, es importante considerar la

legislación laboral colombiana, que define los derechos y obligaciones de empleadores y empleados en materia de seguridad y salud en el trabajo. En este sentido, la implementación de cualquier programa de mantenimiento debe cumplir con la Ley de 2012 no. 1562 y sus decretos reglamentarios, que ayudan a prevenir accidentes y enfermedades laborales. Asimismo, la normativa ambiental colombiana (principalmente la Ley N° 99 de 1993 y sus normas complementarias) establece lineamientos para la protección ambiental y el manejo adecuado de los residuos industriales. En el contexto de la investigación, es importante garantizar que las actividades de mantenimiento no causen un efecto perjudicial en el entorno natural. En cuanto a los derechos de propiedad industrial e intelectual, se debe garantizar el respeto a los derechos propiedad intelectual de cualquier información, dato o resultado obtenido en el contexto de la investigación. Ley de 1982 Núm. 23 y Ley de 1993 núm. 44 establece normas jurídicas para la salvaguardia de los derechos de autor y la propiedad industrial en Colombia. Además, existen normativas técnicas y normas internacionales en el campo específico del mantenimiento industrial, que pueden ser importantes para desarrollar los planes de mantenimiento. Por ejemplo, la norma ISO 14224 proporciona orientación sobre el manejo de datos de errores en sistemas y equipos industriales, mientras que la norma ISO 55000 define los principios de gestión de activos por último la norma SAE JA1011 establece los criterios de evaluación para determinar si un proceso de mantenimiento se puede considerar como RCM. Define los siete pasos fundamentales del RCM y proporciona pautas para su implementación.

12. CAPITULO DOS

DESCRIPCION DE LAS MAQUINAS FORMADORAS DE BOLSAS DE PAPEL CURIONI SUN S40

En este capítulo se presenta una descripción detallada de las máquinas formadoras de bolsas de papel CURIONI SUN S40. Se abordarán aspectos cruciales que incluyen especificaciones técnicas y componentes principales, funcionamiento operativo y ciclos de producción, así como los modos de falla comunes identificados en estudios previos. Estos elementos son fundamentales para comprender la estructura y el funcionamiento de estas máquinas industriales, las cuales desempeñan un papel crucial en el proceso de producción de bolsas de papel. La investigación se enfocará en proporcionar un análisis exhaustivo que sirva de base para el diseño de estrategias efectivas de mantenimiento y mejora de la confiabilidad operativa de estas unidades.

Especificaciones técnicas y componentes principales

La máquina formadora de bolsas Sun Master 540 EVO, diseñada para la producción de bolsas de papel con fondo cuadrado y asas de cordón torcido o planas, ofrece una amplia versatilidad en cuanto a formatos de tamaño mediano y grande. Sus especificaciones técnicas detallan capacidades que permiten adaptar dimensiones variadas de bolsas según las necesidades del cliente:



curioni **SUN** teramo SRL

Cod.: 000414AE




Pág.: 22

Cap.:

2

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Suo modelo esta equipado de la siguiente manera:

	Tensión di alimentación(400 V+/-10% + NEUTRO+TIERRA a 50 Hz) +/-2%	
	Tensión de mandos del operador24 Volt +/- 10%	
	Potencia eléctrica total instalada (incluidos los grupos de pegado Hot-Melt)35 kW +/- 10%	
	Potencia eléctrica total instalada con formadora de asas (incluidos los grupos de pegado Hot-Melt)45 kW +/- 10%	
	Máxima potencia absorbida (*)..... 30 kW+/- 10%	
	Máxima potencia absorbida con formadora de asas (*)..... 38 kW+/- 10%	
	Alimentación de aire comprimido, seco y limpio 600/700 kPa	
	Consumo medio de aire comprimido (*) 100 NI/min	
	Peso y carga estática 19.000 kg	
	Unidad de peso mayor (con máquina semidesmontada)8.020 kg	
	Toma telefónica con acceso directo hacia el exterior, solo para versiones provistas de control remoto OPCIONAL	
	El árbol de expansión ESTÁNDAR (hinchado máximo 6 bares, giros máximos 400 g/min) Ø 76,2 mm (3 pulgadas)	
	Espacios mínimos de instalación, ver capítulo INSTALACIÓN	
	Número de operadores máximo permitido 2 (1 de control y 1 en recogida) 2 #	
	Ruido o nivel medio de presión acústica, ver capítulo SEGURIDAD - NIVEL DE RUIDO'84 dBA	
	Peso de las distintas unidades desmontadas, ver capítulo ELEVACIÓN ESPECÍFICA GRUPOS	
	Temperatura ambiente admitidade - 5 a + 40 ° C	
	En caso de que se utilicen las actuales colas vinílicas comunes, se aconseja proceder para garantizar una temperatura ambiente de al menos 18°C.	
	Humedad relativa máxima admitida 80 %	

(*) Datos subordinados al tipo de trabajo.

Tabla 1 especificaciones técnicas MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO FORMADORA DE BOLSAS SUN MASTER 540 CODIGO M00035AE.

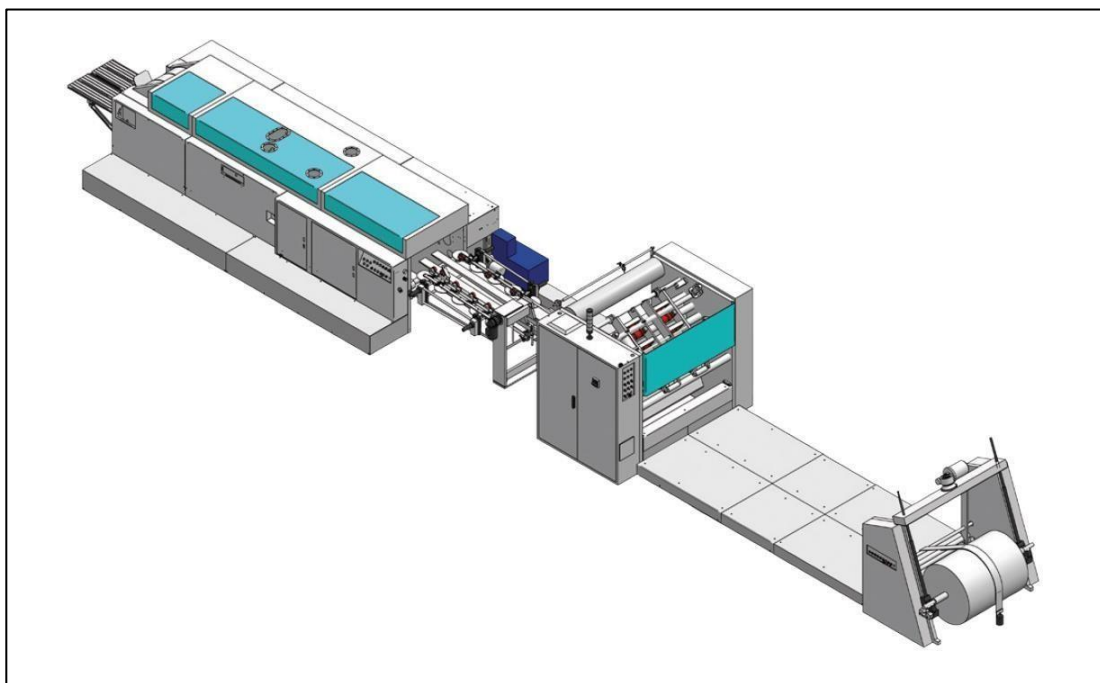


Ilustración 1 : maquina CURIONI SUN MASTER 540 imagen tomada del manual DE USO Y MANTENIMIENTO FORMADORA DE BOLSAS SUN MASTER 540 CODIGO M00035AE

Funcionamiento Operativo y ciclos de producción

La SUN MASTER identifica un equipo para la fabricación de bolsas de papel de fondo cuadrado, tal como se describe en el **ÁMBITO DE USO** y en las **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**.

Ciclo de fabricación para la elaboración de la bolsa

El ciclo para la elaboración la bolsa está compuesto por las siguientes fases operativas principales:

alimentación del papel para la realización de la bolsa, con desarrollo de la bobina;

formación de un tubo con dos sopletes laterales;

Cierre del tubo mediante pegado en la línea superpuesta de los bordes laterales del papel en desarrollo

Corte transversal del tubo a la longitud deseada;

Encaje de la bolsa cortada en correspondencia con las líneas de dobléz para la formación del fondo cuadrado;

Primera fase de moldeado del fondo;

Erogación de la cola para el cierre del fondo;

Segunda fase de moldeado y calibrado del fondo;

Cierre final del fondo pegado;

Prensado del fondo pegado;

Recogida ordenada y vigilada de la bolsa acabada

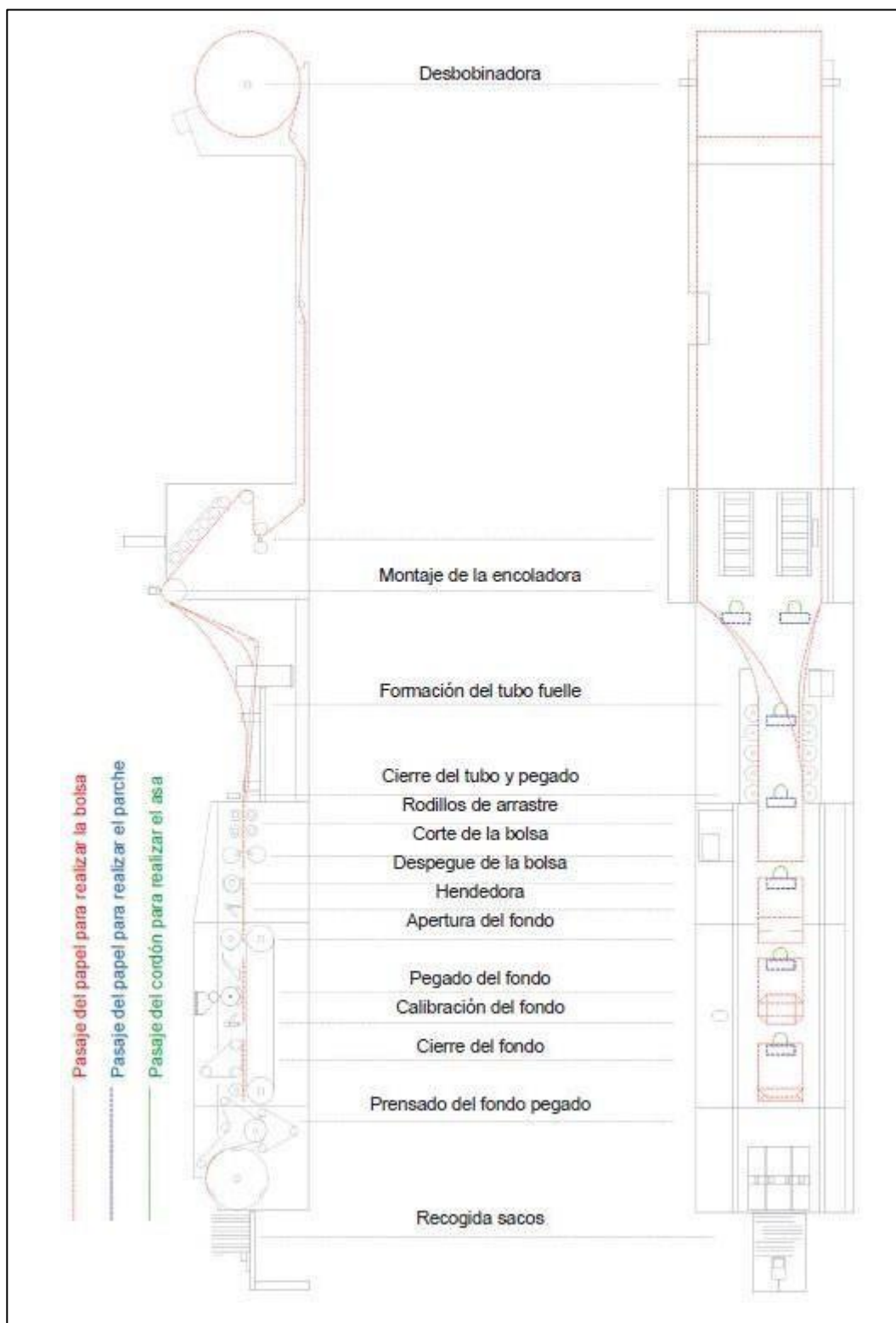


Ilustración 2: esquema topográfico del proceso de la maquina curioni SUN 540

El funcionamiento operativo de la máquina formadora de bolsas Sun Master 540 EVO se distingue por su diseño avanzado y su capacidad para producir bolsas de papel con eficiencia y precisión. Este proceso operativo se desarrolla en varias etapas clave que garantizan tanto la calidad del producto final como la optimización de los recursos utilizados.

Inicialmente, el proceso comienza con la carga de la bobina preimpresa de papel, cuyo ancho puede variar entre 720 y 1430 mm, y un diámetro máximo de carrete de hasta 1500 mm. Esta bobina se introduce en la máquina, donde se desenrolla y se alimenta de manera controlada para asegurar un flujo constante de material durante todo el ciclo de producción.

La formación de las bolsas comienza con la alimentación del papel hacia el grupo formador, que está diseñado para crear tubos de papel que servirán como base para las bolsas. Este proceso de formación se realiza de manera automática, utilizando rodillos y aplicadores que posicionan y fijan adecuadamente los mangos de las bolsas según el tipo de asa requerido (cordón de papel torcido o plana).

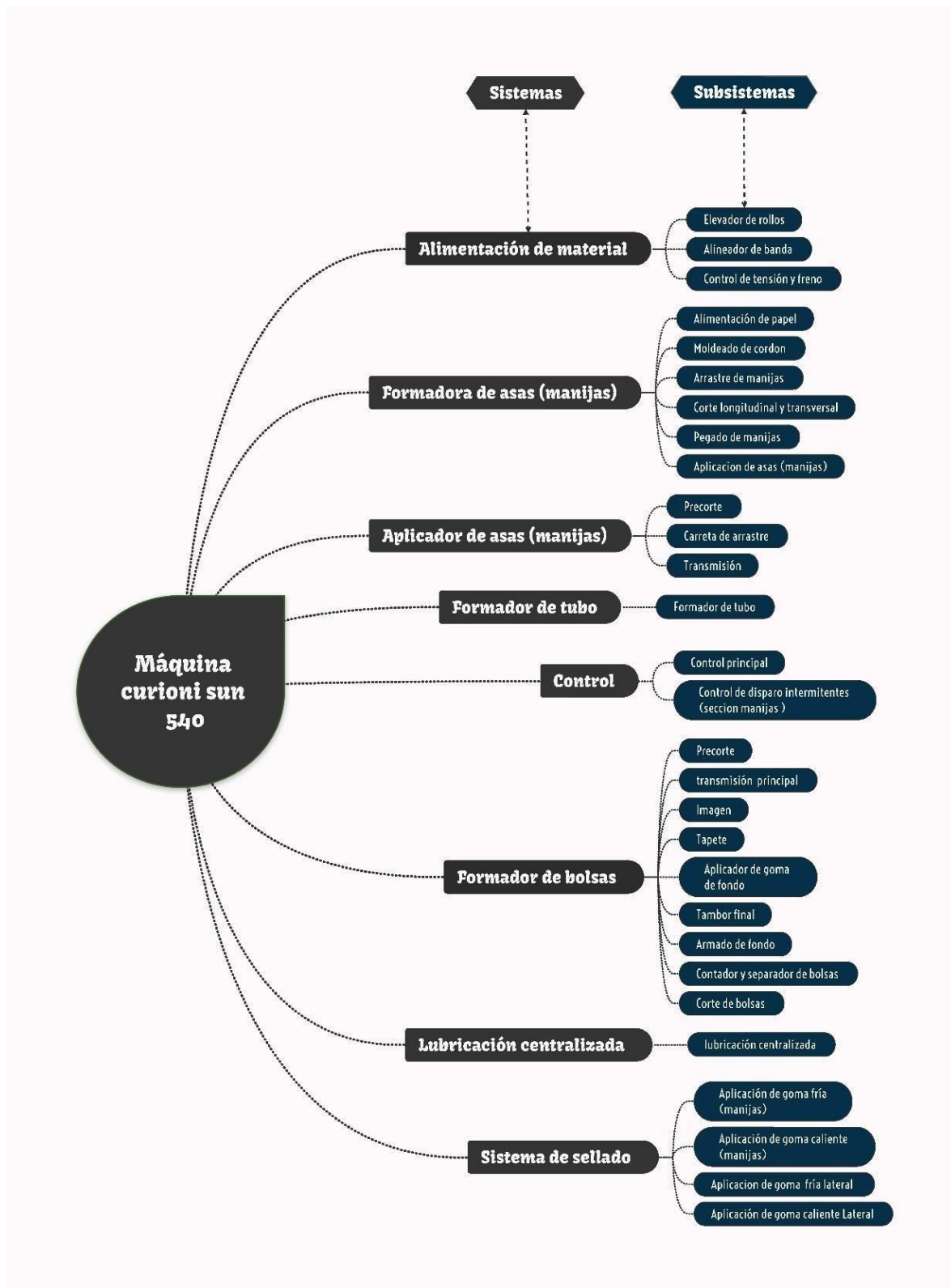
Una vez formado el tubo de papel, se procede al plegado y corte del material para dar forma al fondo de la bolsa. Este proceso se realiza en una sección plana de la máquina, permitiendo un control directo e inmediato sobre la operación y facilitando ajustes rápidos de formato según las especificaciones del cliente. La longitud de corte de las bolsas puede ajustarse entre 400 y 780 mm, mientras que el ancho del fondo varía de 80 a 200 mm, adaptándose así a diferentes tamaños y requisitos de bolsa.

Durante todo el ciclo de producción, la máquina está equipada con monitores y sistemas automatizados gestionados por un PLC. Estos dispositivos aseguran que las operaciones de cambio de formato y ajuste sean rápidas y precisas, reduciendo los tiempos muertos y mejorando la eficiencia general del proceso. La pantalla digital integrada permite al operador seleccionar y

ajustar rápidamente los parámetros necesarios para cada tipo de bolsa, asegurando una producción continua y sin interrupciones.

En términos de ciclos de producción, la máquina Sun Master 540 EVO está diseñada para operar de manera continua, optimizando así la capacidad de producción y minimizando los tiempos de inactividad. La combinación de automatización avanzada, tecnología de control precisa y la capacidad de realizar ajustes rápidos hacen de esta máquina una opción ideal para satisfacer las demandas del mercado de bolsas de papel personalizadas con alto rendimiento y fiabilidad.

TAXONOMÍA DE UNA MAQUINA CURIONI SUN 540



13. MÉTODOLÓGÍA

El presente capítulo se centra en la metodología empleada para llevar a cabo la investigación sobre el diseño de un plan de mantenimiento basado en la metodología Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) para las máquinas formadoras de bolsas de papel CURIONI SUN S40. Se abordarán tres aspectos fundamentales que guiarán el desarrollo y análisis de esta investigación.

En primer lugar, se discutirá el diseño de investigación y el enfoque metodológico adoptado. Esto incluirá la estructuración del estudio, la formulación de hipótesis o preguntas de investigación pertinentes, así como la justificación del enfoque cualitativo y cuantitativo utilizado para alcanzar los objetivos propuestos.

En segundo lugar, se detallarán los métodos de recolección de datos utilizados, enfocándose específicamente en la revisión sistemática de la literatura. Este método permitirá recopilar información relevante y actualizada sobre el RCM, sus aplicaciones en la industria y estudios previos relacionados con las máquinas formadoras de bolsas de papel CURIONI SUN S40.

Finalmente, se explorará el proceso de análisis e interpretación de datos. Se describirán las técnicas utilizadas para evaluar la información recopilada, analizar los resultados obtenidos de la revisión sistemática de la literatura, y cómo estos contribuyen a la formulación de recomendaciones específicas para el diseño del plan de mantenimiento RCM.

Diseño de la investigación y enfoque metodológico

El diseño de la presente investigación sobre el diseño de un plan de mantenimiento basado en la metodología Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) para las máquinas formadoras de bolsas de papel CURIONI SUN S40 se fundamenta en un enfoque metodológico estructurado y riguroso. El estudio se estructuró en base a la formulación de hipótesis y preguntas de investigación que orientan la exploración de la eficacia del RCM en este contexto específico de la industria de empaques.

El enfoque metodológico adoptado combina métodos cualitativos y cuantitativos para abordar los objetivos planteados. El enfoque cualitativo se emplea para comprender en profundidad el funcionamiento y los requerimientos de mantenimiento de las máquinas CURIONI SUN S40, mientras que el enfoque cuantitativo se utiliza para analizar datos operativos y estadísticos que respalden las decisiones tomadas en el diseño del plan de mantenimiento.

La investigación se basa en la revisión sistemática de la literatura como método principal de recolección de datos. Este enfoque permite obtener una visión comprehensiva y actualizada sobre el RCM y sus aplicaciones en entornos industriales similares, así como identificar las mejores prácticas y lecciones aprendidas relevantes para la implementación efectiva del RCM en máquinas formadoras de bolsas de papel.

El diseño de la investigación se orienta hacia la generación de conocimiento práctico y aplicado que pueda mejorar la confiabilidad y disponibilidad de las máquinas formadoras de bolsas, contribuyendo así al desarrollo de estrategias de mantenimiento más efectivas y

eficientes. Este enfoque metodológico asegura la validez y la relevancia de los hallazgos obtenidos, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones en el ámbito industrial.

Métodos de recolección de datos

Tabla 2 Métodos de recolección de datos

Método de Recolección de Datos	Descripción
Revisión sistemática de la literatura	Recopilación exhaustiva y estructurada de estudios, informes y documentos relevantes sobre el RCM, sus aplicaciones y mejores prácticas en la industria.
Entrevistas con personal técnico	Diálogo estructurado con operadores, técnicos de mantenimiento y expertos en el funcionamiento y mantenimiento de las máquinas CURIONI SUN S40.
Análisis estadístico de datos operativos	Evaluación cuantitativa de datos históricos y operativos de las máquinas para identificar patrones de fallas y desempeño, fundamentando decisiones de mantenimiento.
Aplicación de FMEA/FMECA	Método sistemático para identificar modos de falla potenciales, sus causas y efectos, priorizando la criticidad de estos para establecer estrategias de mantenimiento.

Proceso de análisis e interpretación de datos

El proceso de análisis e interpretación de datos en la investigación sobre el diseño de un plan de mantenimiento RCM para las máquinas formadoras de bolsas CURIONI SUN S40 es fundamental para obtener conclusiones válidas y fundamentar decisiones. A continuación, se presenta un análisis detallado paso a paso de este proceso:

Organización y Preparación de Datos: El primer paso consiste en recopilar todos los datos obtenidos de los diferentes métodos de recolección, como la revisión de literatura, entrevistas, análisis estadístico y aplicación de FMEA/FMECA. Es crucial asegurarse de que los datos estén completos y organizados de manera estructurada para facilitar su análisis posterior.

Limpieza de Datos: Antes del análisis, es necesario realizar una limpieza de datos para eliminar errores, inconsistencias o datos incompletos que puedan afectar la validez de los resultados. Esto puede incluir la corrección de datos mal registrados o la eliminación de valores atípicos que puedan sesgar el análisis.

Análisis Descriptivo: En esta etapa, se realiza un análisis descriptivo para comprender las características básicas de los datos recolectados. Esto incluye calcular medidas estadísticas como promedios, medianas, desviaciones estándar, y crear visualizaciones como gráficos y tablas para representar la distribución y tendencias de los datos.

Análisis de Patrones y Tendencias: Posteriormente, se procede al análisis de patrones y tendencias para identificar comportamientos repetitivos o ciclos en el desempeño y fallas de las máquinas CURIONI SUN S40. Esto puede involucrar técnicas avanzadas como análisis de series temporales para agrupar patrones similares de fallas.

Interpretación de Resultados: Una vez completado el análisis de datos, se procede a la interpretación de los resultados obtenidos. Esto implica relacionar los hallazgos con los objetivos de la investigación y las hipótesis planteadas inicialmente. Se busca entender qué significan los datos en términos de la efectividad y la implementación del plan de mantenimiento RCM.

Validación y Conclusión: Finalmente, se valida la interpretación de los datos revisando los hallazgos con la literatura existente y consultando a expertos en el tema. Esto asegura que las conclusiones sean robustas y confiables. Se concluye el proceso proporcionando recomendaciones basadas en los resultados para mejorar la confiabilidad y disponibilidad de las máquinas CURIONI SUN S40.

14. DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA METODOLOGIA RCM

Las fallas funcionales en activos o sistemas industriales son el común denominador dentro de las plantas industriales llevándolas a altos tiempos de paradas no planeadas, elevados costos de operación y mantenimiento, así como a riesgos que afectan directamente a la seguridad personal y ambiental.

Una falla funcional ocurre cuando un sistema o subsistema deja de proporcionar una función requerida, es decir, está operando fuera de los parámetros o normas de rendimientos y condiciones establecidas.

¿Cómo analizar fallas funcionales a través del árbol de decisión lógico del RCM?

Después de definir cuál es la falla funcional, es necesario evaluar qué acciones tomar dependiendo de su naturaleza y para eso, existe la **herramienta llamada Árbol de Decisión Lógico o LTA** , traducido al inglés como *Decision Logic Tree Analysis*.

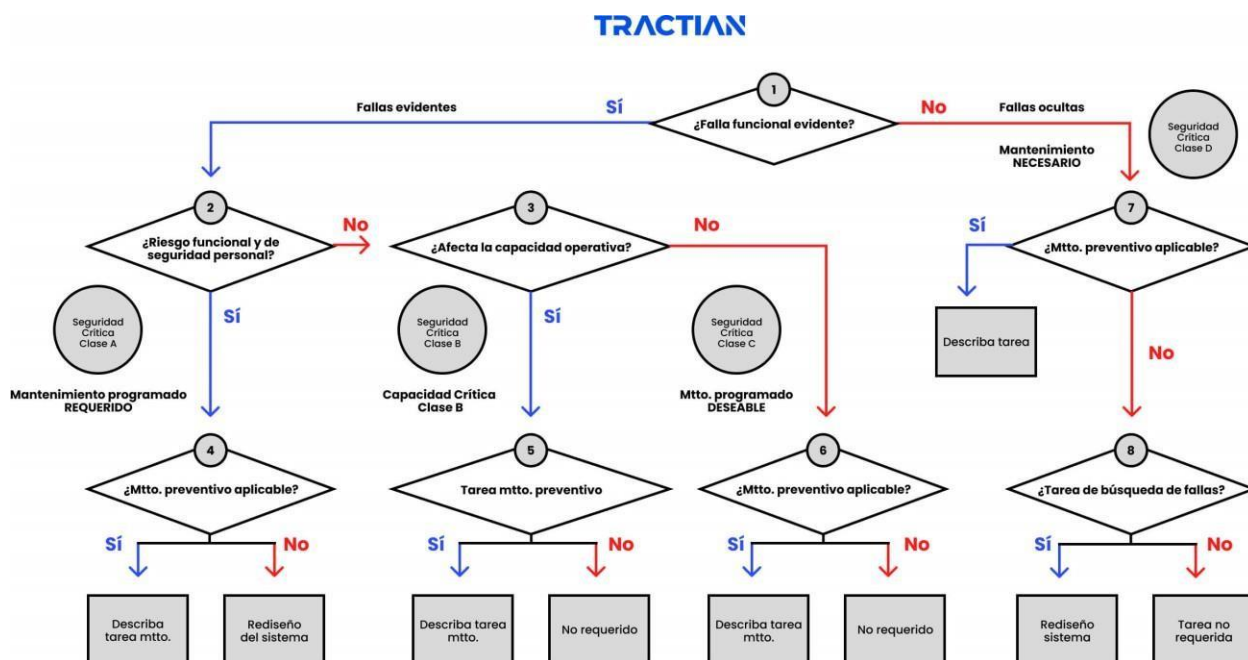


Ilustración 4: Árbol de decisión lógico – LTA

Este método de análisis está compuesto por una serie de preguntas de decisión (sí o no) que ayudan al analista de confiabilidad a determinar la necesidad y la disponibilidad de tareas de mantenimiento preventivo aplicables y eficaces para eliminar o prevenir fallas.

Para iniciar el análisis de la falla, se realiza la siguiente pregunta:

¿La falla funcional es evidente para los operarios durante el funcionamiento del activo o sistema? 1

Si la respuesta es “Sí” estamos en presencia de una falla funcional evidente, siendo esta visible ante los ojos de los operarios o responsables, los cuales saben que se presenta de forma

continua. Sin embargo, se debe providenciar una buena explicación de porque la falla funcional es evidente, utilizando cómo apoyo las siguientes preguntas:

¿Cuál es la evidencia de la falla observada?

¿Quién observó la evidencia?

¿Cuáles tareas rutinarias del observador le sitúan en la posición de observar la falla?

Si la respuesta es “No” estamos en presencia de una falla funcional oculta, las cuales se presentan de forma intermitente o infrecuente, de modo que los operarios no saben de su existencia y sólo son detectables a través de técnicas de mantenimiento especiales o cuando ésta produce otra falla.

15. RESULTADOS

Para esta investigación sobre el diseño de un plan de mantenimiento RCM para las máquinas formadoras de bolsas CURIONI SUN S40, se procederá al análisis detallado de los resultados obtenidos, centrándose en tres aspectos cruciales: los modos de falla identificados, la priorización de acciones de mantenimiento basadas en FMA (Análisis de Modos y Efectos de Falla) y un estudio de caso que abordará la aplicación del plan de mantenimiento en DITAR S.A.

En primer lugar, se presentará un análisis exhaustivo de los modos de falla identificados durante el estudio. Estos modos de falla han sido categorizados y evaluados según su criticidad, considerando tanto sus causas potenciales como los efectos adversos que podrían tener en la operación de las máquinas. Este análisis no solo ayudará a comprender las vulnerabilidades específicas de las máquinas CURIONI SUN S40, sino que también establecerá una base para las estrategias de mitigación de riesgos y las acciones de mantenimiento preventivo y correctivo.

Luego, se abordará la priorización de acciones de mantenimiento utilizando el enfoque del FMA. Este proceso implica clasificar los modos de falla según su impacto crítico en la operación y la producción. Las acciones de mantenimiento se planificarán en función de esta priorización, asegurando que los recursos se asignen eficientemente para abordar primero los riesgos más significativos y reducir así la probabilidad de fallas graves que afecten la producción.

Dentro del contexto de la investigación sobre el diseño de un plan de mantenimiento RCM para las máquinas formadoras de bolsas CURIONI SUN S40, se han identificado varios modos de falla que representan riesgos significativos para la operación y la producción. Estos modos de falla han sido categorizados y evaluados meticulosamente, considerando sus causas potenciales y los efectos adversos que podrían tener en el funcionamiento de las máquinas.

Uno de los modos de falla identificados se relaciona con problemas en el tren de engranajes, especialmente en los componentes críticos como los engranajes principales y secundarios. Las fallas en estos engranajes pueden resultar en un funcionamiento irregular de la máquina, pérdida de sincronización en los ciclos de producción y, en casos extremos, daños severos que requieran tiempos prolongados de reparación.

Otro modo de falla crítico identificado es la obstrucción o bloqueo en los sistemas de alimentación de papel. Esta situación puede provocar interrupciones en el flujo continuo de material hacia la máquina, afectando la calidad y la uniformidad de las bolsas producidas. La acumulación de residuos o la presencia de cuerpos extraños pueden ser las principales causas de estos problemas, que pueden resultar en paradas no programadas y pérdidas de producción significativas.

Además, se ha observado que los sistemas de control electrónico, sensores pueden experimentar fallas debido a golpes, manipulación indebida o interferencias externas. Estas fallas pueden afectar capacidad de la máquina para ejecutar adecuadamente las secuencias de producción programadas, lo que podría resultar en errores de funcionamiento, pérdida de datos o incluso daños en componentes críticos.

La durabilidad y el desgaste de los componentes mecánicos, como rodamientos y sistemas de transmisión, también han sido identificados como modos de falla significativos. La falta de lubricación adecuada, el desgaste por uso prolongado o condiciones operativas extremas pueden acelerar el deterioro de estos componentes, comprometiendo la fiabilidad y la vida útil de la máquina.

Cabe resaltar que este trabajo culmina en el diseño del plan de mantenimiento basado en la metodología RCM no abarca la implementación, sin embargo, algunos de los resultados esperados son:

Optimización de las tareas de mantenimiento:

- El RCM permite identificar las tareas de mantenimiento más efectivas para cada activo, enfocándose en aquellas que realmente previenen fallas y aseguran la función del equipo.
- Se eliminan tareas de mantenimiento innecesarias o ineficientes, reduciendo costos y tiempo de inactividad.

• **Mejora de la confiabilidad y disponibilidad de los activos:**

- Al prevenir fallas potenciales, se incrementa la disponibilidad de los equipos y se reduce el tiempo de inactividad no planificado.
- Se minimizan las interrupciones en la producción y se optimiza el rendimiento de los activos.

• **Reducción de costos de mantenimiento:**

- Al enfocarse en el mantenimiento preventivo efectivo, se reducen los costos asociados con el mantenimiento correctivo de emergencia.
- Se optimiza el uso de recursos, como mano de obra y repuestos.

• **Mayor seguridad y protección del medio ambiente:**

- El RCM considera los riesgos asociados con las fallas de los equipos, priorizando las tareas de mantenimiento que previenen accidentes y daños ambientales.
- Se mejora la seguridad en el lugar de trabajo y se reduce el impacto ambiental.

• **Mejora en la toma de decisiones:**

- El RCM proporciona información detallada sobre los modos de falla y sus consecuencias, lo que facilita la toma de decisiones informadas sobre el

mantenimiento.

- Se establece una base sólida para la planificación y programación del mantenimiento.
- **Prolongación de la vida útil de los activos:**
 - Al realizar un mantenimiento preventivo enfocado, se logra alargar la vida útil de los equipos.

16. DISCUSIÓN

Para el quinto capítulo de esta investigación, se abordará la discusión de los hallazgos obtenidos a lo largo del estudio sobre el diseño de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM para las máquinas formadoras de bolsas CURIONI SUN S40. Este capítulo se centra en analizar y contextualizar los resultados obtenidos durante la implementación del plan de mantenimiento, así como en explorar las implicaciones prácticas y teóricas de estos hallazgos.

En primer lugar, se revisarán y discutirán en detalle los modos de falla identificados y priorizados mediante el análisis de FMEA/FMECA. Se explorará cómo estos modos de falla impactan la operación y la producción, evaluando la efectividad de las estrategias de mantenimiento propuestas para mitigar estos riesgos. Este análisis permitirá identificar patrones recurrentes de fallos y áreas de mejora en las prácticas de mantenimiento industrial específicas a las máquinas CURIONI SUN S40.

Además, se examinará críticamente la aplicación del plan de mantenimiento en el entorno real de DITAR S.A., destacando los desafíos encontrados, los éxitos logrados y las lecciones aprendidas durante la implementación. Se evaluará la efectividad de las estrategias de mantenimiento preventivo y correctivo adoptadas, así como la respuesta del personal de mantenimiento ante situaciones de emergencia y modos de falla imprevistos.

Asimismo, se profundizará en la discusión sobre la relevancia y aplicabilidad de la metodología RCM en el contexto industrial específico de las máquinas CURIONI SUN S40. Se analizarán comparativamente los beneficios de esta metodología frente a enfoques tradicionales de mantenimiento, considerando su impacto en la confiabilidad operativa, la disponibilidad de equipos y la reducción de costos asociados al mantenimiento y reparación.

Finalmente, se explorarán las implicaciones teóricas de los resultados obtenidos, contribuyendo al conocimiento en el campo del mantenimiento industrial y proponiendo recomendaciones para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas. Este capítulo proporcionará un análisis reflexivo y crítico que sintetice los principales hallazgos de la investigación y su significado tanto para la teoría como para la práctica en el campo del mantenimiento industrial.

Evaluación del desempeño de la efectividad del plan de mantenimiento implementado Para continuar con la discusión sobre la evaluación del desempeño y la efectividad del plan de mantenimiento implementado en las máquinas formadoras de bolsas CURIONI SUN S40, es fundamental analizar detalladamente varios aspectos clave que surgieron durante la fase de implementación y monitoreo del plan.

Primero, es crucial revisar cómo se han gestionado los modos de falla identificados a través del análisis de FMEA/FMECA. Durante la implementación del plan, se observó que las estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo fueron efectivas para abordar los modos de falla críticos previamente identificados, como el desgaste de componentes clave y problemas eléctricos asociados. La aplicación regular de inspecciones programadas y el monitoreo de la condición de los equipos permitieron detectar tempranamente signos de deterioro y tomar medidas correctivas antes de que se manifestaran fallas graves.

Además, la respuesta del equipo de mantenimiento frente a situaciones de emergencia fue fundamental para evaluar la efectividad del plan. La capacitación continua y la disponibilidad de recursos adecuados facilitaron una respuesta rápida y eficiente ante fallas inesperadas, minimizando así el tiempo de inactividad y los costos asociados.

Otro punto de análisis es la disponibilidad operativa de las máquinas. A medida que se implementaba el plan de mantenimiento, se pudo observar una mejora significativa en la disponibilidad de los equipos. La reducción en los tiempos de inactividad no programada contribuyó directamente a una mayor productividad y eficiencia operativa en la planta de DITAR S.A.

Además de la efectividad operativa, se debe considerar el impacto económico del plan de mantenimiento. Se observó una reducción notable en los costos totales de mantenimiento,

especialmente en reparaciones no planificadas y reemplazos de equipos debido a fallas catastróficas. Esta reducción de costos no solo mejoró la rentabilidad del mantenimiento, sino que también liberó recursos financieros que pudieron ser asignados a otras áreas críticas de la operación industrial.

En términos de satisfacción del cliente interno y externo, la implementación del plan de mantenimiento también jugó un papel importante. La capacidad para cumplir consistentemente con los pedidos de producción debido a una maquinaria confiable y bien mantenida mejoró la reputación de DITAR S.A. en el mercado y fortaleció las relaciones con los clientes.

Finalmente, es crucial destacar que la evaluación del desempeño del plan de mantenimiento debe ser un proceso continuo y adaptativo. La retroalimentación obtenida durante la implementación inicial debe ser utilizada para ajustar y mejorar continuamente las estrategias y procedimientos de mantenimiento, asegurando así que el sistema de mantenimiento siga siendo efectivo y relevante a medida que evolucionan las condiciones operativas y tecnológicas.

16.1 IMPLICACIONES PRÁCTICAS Y RECOMENDACIONES PARA LA INDUSTRIA

Basado en los resultados obtenidos de la investigación sobre la implementación del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) en las máquinas formadoras de bolsas CURIONI SUN S40, se pueden derivar varias implicaciones prácticas y recomendaciones relevantes para la industria.

Las industrias pueden beneficiarse significativamente de la adopción de metodologías como el RCM para mejorar la gestión del mantenimiento. La aplicación sistemática de técnicas como el análisis de modos de falla y efectos (FMEA/FMECA) permite una identificación precisa

de los modos de falla críticos y la implementación de estrategias de mantenimiento adecuadas, mejorando así la confiabilidad operativa de los equipos.

Es fundamental priorizar las acciones de mantenimiento basadas en la criticidad de los modos de falla identificados. Esto implica asignar recursos y esfuerzos en función del impacto potencial de las fallas en la operación y seguridad de la planta, optimizando así los recursos disponibles y reduciendo costos operativos.

La capacitación continua del personal de mantenimiento en la metodología RCM y en las especificidades técnicas de los equipos específicos es crucial. Esto asegura que el equipo esté preparado para identificar, diagnosticar y abordar eficazmente los problemas de mantenimiento, maximizando la eficiencia y minimizando el tiempo de inactividad no planificado.

La integración de tecnologías de monitoreo de condición y sistemas de gestión de mantenimiento asistidos por computadora (CMMS) puede mejorar aún más la efectividad del plan de mantenimiento. La adopción de herramientas digitales permite una supervisión en tiempo real del estado de los activos y facilita la toma de decisiones informadas basadas en datos, mejorando la eficiencia operativa y la planificación de mantenimiento.

La evaluación periódica y la revisión del plan de mantenimiento son esenciales para asegurar su relevancia y efectividad a lo largo del tiempo. La implementación de un ciclo de mejora continua basado en retroalimentación de los resultados operativos y ajustes proactivos garantiza que el plan se mantenga alineado con las necesidades cambiantes de la producción y los avances tecnológicos.

En conclusión, las implicaciones prácticas derivadas de esta investigación subrayan la importancia de adoptar enfoques metodológicos robustos como el RCM para mejorar la gestión del mantenimiento industrial. Al integrar estas recomendaciones, las empresas pueden fortalecer

su capacidad para mantener la confiabilidad de sus activos, reducir costos operativos y mejorar la satisfacción tanto del personal como de los clientes mediante una operación más eficiente y confiable.

17. CONCLUSIONES

Llegando al último capítulo de esta investigación, las conclusiones y recomendaciones representan un punto crucial para sintetizar y reflexionar sobre los hallazgos obtenidos a lo largo de este estudio sobre la implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) en las máquinas formadoras de bolsas CURIONI SUN S40.

El plan de mantenimiento preventivo tradicional implementado actualmente por la compañía no contempla todos los modos de falla que se puedan presentar por esta razón se presenta la propuesta de diseñar y posteriormente implementar (etapa no contemplada en este estudio) un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM que permita llevar una descripción detallada de las fallas asociadas a los sistemas, subsistemas y componentes del equipo realizado mediante un análisis de modos de falla y efectos de falla (AMEF) lo que se reflejará en el aumento de disponibilidad y confiabilidad de la maquina curioni SUN master 540 evitando paradas no programadas, mantenimientos correctivos y altos costos en reparaciones.

Algunas conclusiones que podemos enlistar son:

- Identificación de puntos críticos:

- El análisis RCM permitió identificar los componentes y sistemas críticos de la máquina Curioni Sun 540, lo que facilitó la priorización de las tareas de mantenimiento y la asignación de recursos.

- Desarrollo de tareas de mantenimiento personalizadas:

- Se desarrollaron tareas de mantenimiento específicas para cada modo de fallo identificado, lo que garantizó una intervención precisa y efectiva.

- Implementación de un sistema de monitoreo:

- La implementación de un sistema de monitoreo de condición permitió detectar fallos incipientes y realizar intervenciones preventivas, lo que redujo el riesgo de fallos catastróficos.

- Importancia de la recopilación de datos:

- La recopilación y el análisis de datos históricos de fallos y rendimiento fueron fundamentales para la efectividad del análisis RCM.

17.1 RECOMENDACIONES:

- Se recomienda realizar revisiones periódicas del plan de mantenimiento para asegurar su continua eficacia y adaptabilidad a los cambios en las condiciones de operación.
- Se sugiere implementar un programa de capacitación para el personal de mantenimiento, con el fin de asegurar la correcta ejecución de las tareas y el uso adecuado de las herramientas de monitoreo.
- Es importante mantener una constante retroalimentación entre los operarios y el personal de mantenimiento, para así poder mejorar de manera constante el plan de mantenimiento.

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)

NOTA: Esta plantilla esta basada en la metodología establecida en el estándar SAE J1011/12

Unid. de Producción:	DITAR BARRANQUILLA	Sub-Sistema:	N-A	Nº Docum.:	1
Planta:	EMPAQUES	Equipo:	MAQUINA CURIONI SUN 540	Revisión:	5/10/2024
Sistema:	N-A	Modo Operación:	Continuo	Fecha:	4/10/2024
Recopilado por:	DPTO. MANTENIMIENTO DITAR	Revisado por:	OMAR GARCIA		

Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF (5 Primeras Preguntas del MCC)								Tareas de Mantenimiento (2 Últimas Preguntas del MCC)														
Función	Falla Funcional	Modo de Falla (Causa de la Falla)	Efecto Inicial de la Falla (Que ocurre cuando Falla)	Efecto Final de la Falla o Consecuencia (Que ocurre cuando Falla)	Frecuencia	Detección	Severidad	Tipo de consecuencia					Tipo de Tareas			Descripción de las Tareas Propuestas	Frecuencia	Ejecutor	Cantidad de Ejecutantes	Horas Hombre	Equipo Operando	
								Oculta	Seguridad	Ambiente	Operacional	No Operacional	Basada en Condic. (PdM)	Cíclica Detectiva (PM)	Sustitución Cíclica (PM)							Operar Hasta Falla (RTF)
SISTEMA APLICADOR DE ASAS - transportar y pegar las manijas al papel	No se realizan los precortes en el papel	21	rodillo de precorte desgastado	la cuchilla rasga el papel y no realiza un corte preciso	maquina detenida	2	4	3									realizar cambio semestral	6M	Mec.	1	1x1	No
		22	rodillo metalico de arrastre dañado	manijas torcidas en el papel	maquina detenida	3	5	3									revisar estado y cambiar si esta gastado	1M	Mec.	1	3x2	No
		23	rodillos carretas desgastados	manijas torcidas en el papel	maquina detenida	3	5	3									revisar estado y cambiar si esta gastado	1M	Mec.	1	3x2	No
		24	cadena ref. 08B partida	no hay arrastre ni pegado de manijas	maquina detenida	3	5	3									cambiar semestralmente	6M	Mec.	1	2x4	No
		25	tensores desgastados	cadena destensionadas y manijas torcidas en el papel	maquina detenida	3	5	3									cambiar semestralmente	6M	Mec.	1	2x2	No
SISTEMA FORMADOR DE TUBO - formar el papel antes de ingresar al formador de bolsas	error en la lectura de fotocelda	26	cable de fotocelda partido	la maquina falla en la lectura de medida de fotocelda	maquina detenida	2	5	2									reparar una vez esté dañado	6M	Mec.	2	8x3	No
SISTEMA FORMADOR DE BOLSAS - formar las bolsas bajo las especificaciones y tamaño solicitadas.	no se conserva la medida de las bolsas	27	daño en transmision # 2	no se mantiene el corte ni el precorte	maquina detenida	2	1	5									monitoreo periodico	3M	Inst.	1	3x2	No
		28	daño en PIV #1	no se mantiene el corte ni el precorte	maquina detenida	2	1	5									monitoreo periodico	6M	Mec.	1	3x2	No
		29	correa encoder destensionada	varia la medida de corte	maquina detenida	2	3	3									revisión del ajuste	6M	Mec.	1	3x2	No

18. BIBLIOGRAFÍA

- Agreda Espinoza, H. (2021). *Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), para la mejor disponibilidad de los equipos en el sector industrial de manufactura entre los años 2011-2019: una revisión sistemática de la literatura científica.*
- Álamo Trujillo, A. L. (2014). *Procesos de decisión para el diseño óptimo de sistemas técnicos complejos, el control y la gestión dinámica de su ciclo de vida.* (Doctoral dissertation).
- Álamo Trujillo, A. L. (2014). *Procesos de decisión para el diseño óptimo de sistemas técnicos complejos, el control y la gestión dinámica de su ciclo de vida.* (Doctoral dissertation).
- Anaya Sánchez, D. P. (2023). *Determinación de estrategias para la automatización en la gestión del mantenimiento para el sector textil en PYMES de Colombia.*
- Callaghan, B. C. (2008). *Using the common sense self-regulation model to determine psychological predictors of prosthetic use and activity limitations in lower limb amputees.* *Prosthetics and orthotics international*, 32(3), 324-336.
- Casado Márquez, J. M. (2018). *Estrategias para el desarrollo de competencias genéricas en la asignatura “vibraciones mecánicas” en las carreras de antegrado de un centro de educación superior.*
- Casilla Vargas, A. A. (2018). *Confiabilidad de una flota de cargadores de bajo perfil aplicando el modelo estocástico de Crow Amsaa-Unidad Minera Arcata, Arequipa.*
- Castellanos, J. D. (2019). *Evaluación de la Fertilización Biológica como Alternativa a la Fertilización Química en el Cultivo de Hortalizas en el Estado de Colima.*
- Delgado Rojas, N. L. (2015). *Manifestaciones de violencia escolar. Diferentes formas de violencia que se dan en los estudiantes de ciclo tres (3) del Colegio Gabriel Betancourt Mejía, así como las percepciones de la comunidad educativa en general sobre sus causas, implicaciones y est.*
- Díaz Marín, J. D. (2019). *Implementación de un plan de mantenimiento integral para una planta de embotellado.* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).
- Fernández, H. Z. (2004). *Cromatografía líquida de alta resolución 9. Métodos Cromatográficos*, 35.
- Gómez-Solórzano, N. F.-C.-C. (2024). *Mantenimiento preventivo de los transformadores de distribución Pad Mounted del Hospital Regional de Portoviejo, Manabí.* *MQRInvestigar*, 8(1), 5118-5136.
- Herrera Pozo, D. G. (2023). *Automatización con aplicaciones web (WEB APP) del proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para facilidades hidromecánicas: Automatización con Web App, del proceso RCM para una central hidroeléctrica.*
- Hincapié González, D. M. (2019). *Diseño del mantenimiento forestal en la franja de redes de media tensión empleando análisis SIG.*
- López Mariño, M. A. (2003). *Seguridad en sistemas de potencia industrial.*
- Markic, L. (2024). *Gestión del mantenimiento de activos físicos de una planta de tratamiento de residuos petroleros.* (Bachelor's thesis, Universidad Nacional del Comahue. Facultad de Ingeniería).

- Pacheco Bado, L. F. (2018). *Propuesta de implementación de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo basado en RCM para la reducción de fallas de la maquinaria de la empresa Hydro Patapo SAC.*
- Paolini Noguera, A. E. (2013). *Implementación del área de proceso de gestión de riesgos de CMMI v1. 3 utilizando metodologías ágiles.*
- Paolini Noguera, A. E. (2013). *Implementación del área de proceso de gestión de riesgos de CMMI v1. 3 utilizando metodologías ágiles.*
- Parra Ponce, G. E. (2022). *Herramienta de Simulación como estrategia didáctica en la asignatura de Gestión Empresarial.* (Master's thesis, Quito: Universidad Tecnológica Indoamérica).
- Parra, C. &. (2012). *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la Gestión de Activos.* IngeCon.
- Pérez Rosario, A. J. (2023). *Propuesta de mejora para reducir las fallas en el proceso productivo de peletizado de la empresa alimentos balanceados Albaca.* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña).
- Robles Rojas, A. C. (2015). *Análisis, diagnóstico y propuesta de mejora en la gestión de activos físicos de grúas pórtico.*
- Saldarriaga Rendón, J. A. (2018). *Estudio de confiabilidad aplicado a equipos de producción química para el diseño de nuevos planes de mantenimiento .* (Doctoral dissertation).
- Smith, A. M. (2004). *World Class Maintenance (WCM)—Opportunity and Challenge.* RCM, AM Smith and GR Hinchcliffe, Eds. Burlington: Butterworth Heinemann, 1-18.
- Valencia Martínez, S. (2020). *Diseño de un modelo de integración de los actuantes de una red de valor de ciclo cerrado para la industria manufacturera de Bogotá, basado en herramientas de inteligencia emocional y estilos de liderazgo.*
- Veria Rivero Rivero, N. C. (2019). *Propuesta de implementación de la metodología RCM para la mejora de la gestión del mantenimiento en los equipos auxiliares de una central termoeléctrica.*
- Zuccoli, G. S. (2009). *MR imaging findings in 56 patients with Wernicke encephalopathy: nonalcoholics may differ from alcoholics.* American Journal of Neuroradiology, 30(1), 171-176.