

Propuesta de Mejora de la Disponibilidad Basado en la Norma BS EN 62740:2015 Evaluando RCA a los Daños en los Motorreductores del Sistema de Bobinado de las Líneas de Perforado de una Empresa Productora de Bolsas Plásticas para el Sector Agroindustrial

Edgar Alberto Díaz Martínez y Jorge Antonio Salcedo Guardo

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director

Alberto David Pertuz Comas

Doctor en ingeniería

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

A mis amados Padres, Ligia Martínez y Edgardo Díaz. Por su amor y apoyo incondicional. Ustedes han sido mis guías, mi aliento y ejemplos, iluminando cada paso de mi vida, contribuyendo a forjarme como persona.

A mi hijo Sebastián quien ha sido fuente inagotable de inspiración y alegría constante que me llena el alma. Gracias por ser la razón y la motivación que me impulsa a seguir adelante y alcanzar todas las metas.

A mis queridos hermanos Alex, Zuleima y Zaida que siempre están presentes a pesar de la distancia. Su apoyo incondicional ha sido fundamental en mi camino, reflejando el verdadero amor de hermanos.

Que esta monografía sea fuente de orgullo para ustedes y represente uno más de los frutos que muestran mi compromiso con ustedes para un futuro mejor.

Con inmensa alegría y amor infinito,

Edgar Alberto Díaz Martínez

A Dios y a la vida por darme la oportunidad de crecer y madurar dentro del arduo camino hasta la meta.

Con inmenso amor a mis padres, Liliana Guardo y Alberto Salcedo, que aun a la distancia cuento con su apoyo siempre incondicional. Los amo y espero siempre llenarlos de orgullo, desde el inicio hicieron esto posible.

A mi amada Yinaris Truque, que desde el primer día me ha impulsado fervientemente a crecer como un profesional excelente, a ver la vida con entereza y entendiendo que antes de la perfección lo que importa es la acción. Eres mi complemento, soporte y quien tiene el papel protagónico de mi vida. Dedico a ti este y los logros futuros.

Con la satisfacción de los objetivos cumplidos, y la tranquilidad que me aporta tenerlos como mi soporte de vida, esta monografía es por ustedes y espero sea otro motivo para que vean conmigo el futuro que me han permitido y ayudado a labrar.

Con total amor y felicidad,

Jorge Antonio Salcedo Guardo

Agradecimientos

Reconocimientos a la empresa y al equipo de trabajo de Polyban International S.A.S. por su interés y ayuda en hacer posible esta monografía, permitiendo el espacio y acceso a la información imprescindible para su desarrollo.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	12
1. Objetivos	18
1.1. Objetivo General	18
1.2. Objetivos Específicos.....	18
2. Materiales y métodos	19
3. Revisión de la Norma BS EN 62740:2015 y Bibliografía Asociada	21
4. Análisis de la Disponibilidad del Sistema de Rebobinado	25
5. Aplicación de RCA.....	36
5.1. Causas raíz físicas	36
5.2. Causas raíz Humanas	37
5.3. Causas raíz latentes	37
6. Implementación y Seguimiento de Mejoras	38
7. Conclusiones	47
Referencias Bibliográficas	50
Apéndices.....	52

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Descripciones de técnicas RCA bajo BS EN 62740:2015.</i>	22
Tabla 2 <i>Simbología y descripción de equipos del sistema de bobinado.</i>	27
Tabla 3 <i>Frecuencia de eventos para matriz de riesgo.</i>	34
Tabla 4 <i>Severidad de eventos para matriz de riesgo.</i>	35
Tabla 5 <i>Plan de acción causas raíz físicas.</i>	38
Tabla 6 <i>Plan de acción causas raíz humanas.</i>	39
Tabla 7 <i>Plan de acción causas raíz latentes.</i>	40
Tabla 8 <i>Plan de mantenimiento propuesto para la nueva taxonomía de equipos.</i>	44
Tabla 9 <i>Plan de mantenimiento actual.</i>	46

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Tasa de fallos por sistemas funcionales de las líneas de perforado de la planta Polyban International S.A.S (ene 2012 – dic 2023)</i>	14
Figura 2. <i>Tasa de fallos porcentual por sistemas funcionales de las líneas de perforado de la planta Polyban International S.A.S. (ene 2012 – dic 2023)</i>	16
Figura 3. <i>Pasos recomendados para investigaciones RCA bajo BS EN 62740:2015</i>	21
Figura 4. <i>Layout vista superior de líneas de perforado</i>	25
Figura 5. <i>Vista real de las líneas de perforado</i>	26
Figura 6. <i>Vista frontal de bobinadoras e identificación de equipos</i>	26
Figura 7. <i>Vista frontal de bobinadoras e identificación de equipos</i>	27
Figura 8. <i>Análisis de Pareto de los activos con mayor número de fallas</i>	28
Figura 9. <i>Análisis de Pareto de las fallas con mayor impacto a los costos directos de mantenimiento</i>	29
Figura 10. <i>Pérdidas de producción y punto de equilibrio para mantener producción anual</i>	32
Figura 11. <i>Impacto en la pérdida de capacidad de producción por puesto de bobinado indisponible</i>	32
Figura 12. <i>Impacto en \$ COP en la pérdida de capacidad de producción por puesto de bobinado indisponible</i>	33
Figura 13. <i>Matriz de riesgo de consecuencias económicas y operacionales</i>	35
Figura 14. <i>Propuesta de nueva taxonomía de equipos de las líneas de conversión</i>	42

Lista de Apéndices

	pág.
Apéndice A. Datos y cálculos consolidados	52
Apéndice B. RCA-Pérdida de la capacidad de las líneas de perforado LC2 y LC4 por fallos en los motorreductores en sistema de rebobinado.	52
Apéndice C. Documento o plantilla RCA propuesto.....	52

Glosario

CAST (siglas en inglés): Análisis causal para accidente teórico de sistemas.

CTM (siglas en inglés): Método árbol de causas.

ECF (siglas en inglés): Eventos y factores causales.

LC2: Línea de conversión 2

LC4: Línea de conversión 4

MES & STEP (siglas en inglés): Secuenciación de eventos multilineales & trazado de eventos cronometrados secuencialmente.

MORT (siglas en inglés): Supervisión de la gestión y árbol de riesgos.

MTTR (siglas en inglés): Tiempo medio para reparación

MTBF (siglas en inglés): Tiempo medio entre fallas.

O&M (siglas en inglés): Operación y mantenimiento.

PA: Plan de acción.

RCA (siglas en inglés): Análisis de causa raíz.

SOL (siglas en inglés): Seguridad a través del aprendizaje organizacional.

WBA (siglas en inglés): Análisis ¿por qué? – porque

Resumen

Título: Propuesta de mejora de la disponibilidad basado en la Norma BS EN 62740:2015 evaluando RCA a los daños en motorreductores del sistema de bobinadores de la línea de perforado de una empresa productora de bolsas plásticas para el sector agroindustrial*

Autor: Edgar Alberto Díaz Martínez y Jorge Antonio Salcedo Guardo**

Palabras Clave: RCA, producción, mantenimiento, motorreductores, Norma BS EN 62740:2015

Descripción:

Esta monografía presenta un análisis detallado de los impactos en la producción y los costos totales de mantenimiento debido a las fallas en los motorreductores de las líneas de perforado de una empresa productora de bolsas plásticas para el sector agroindustrial. Para determinar las causas de las fallas se desarrolló un análisis de causa raíz (RCA) basado en la Norma BS EN 62740:2015, el cual permitió identificar las causas raíz físicas, humanas y latentes. Además, posibilitó la formulación de propuestas de acciones correctivas y mejoras destinadas a optimizar la gestión del mantenimiento de los equipos y aumentar su disponibilidad proyectando reducciones en los costos totales de mantenimiento y mejoras en el rendimiento de las líneas de conversión y/o perforado.

Entre las recomendaciones propuestas se incluye la implementación de una nueva taxonomía de equipos en el sistema de rebobinado, la creación, actualización y optimización de planes de mantenimiento a la nueva taxonomía sugerida, la implementación de técnicas de TPM, la instauración de una guía formal y conformación de un equipo interdisciplinario para evaluación de proyectos y del impacto que pueden tener en la producción, gestión de mantenimiento, calidad de producto y seguridad del personal. Como valor agregado se generó conocimiento al personal O&M de Polyban International S.A.S. sobre los malos actores a través de las lecciones aprendidas del RCA, las cuales se dividen en éxitos, dificultades y oportunidades.

* Trabajo de Grado

** Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Alberto David Pertuz Comas, Doctor en ingeniería.

Abstract

Title: Proposal to improve availability based on the BS EN 62740:2015 Standard by evaluating RCA to damage in geared motors of the winder system of the punching line of a company producing plastic bags for the agro-industrial sector.*

Author(s): Edgar Alberto Díaz Martínez & Jorge Antonio Salcedo Guardo.**

Key Words: RCA, production, maintenance, gearmotors, BS EN 62740:2015 Standard.

Description:

This monograph presents a detailed analysis of the impacts on production and total maintenance costs due to failures in the gearmotors of the punching lines of a company producing plastic bags for the agro-industrial sector. To determine the causes of the failures, a Root Cause Analysis (RCA) was developed based on the BS EN 62740:2015 Standard, which made it possible to identify the physical, human and latent root causes. In addition, it enabled the formulation of proposals for corrective actions and improvements aimed at improving the maintenance management of the equipment and increasing its availability by projecting reductions in total maintenance costs and improvements in the performance of the converting and/or punching lines.

The proposed recommendations include the implementation of a new taxonomy of equipment in the rewinding system, the creation, updating and optimization of maintenance plans to the new suggested taxonomy, the implementation of TPM techniques, the establishment of a formal guide and the formation of an interdisciplinary evaluation team to evaluate projects and the impact they can have on production, maintenance management, product quality and personnel safety. As an added value, it generated knowledge to the O&M personnel of Polyban International S.A.S. about the bad actors through the lessons learned from the RCA, which are divided into successes, difficulties and opportunities.

* Degree Work

** School of Mechanical Engineering. Specialization in Maintenance Management. Advisor: Alberto David Pertuz Comas, PhD in Engineering.

Introducción

En el actual entorno empresarial de las industrias de producción existe un alto grado de competitividad. En este contexto, la eficacia en la gestión empresarial y el mejoramiento continuo son factores cruciales para garantizar la eficiencia y la productividad, elementos claves para mantener una posición sostenible en el mercado y garantizar la continuidad del negocio (W. O. et al., 2010). Entre las diversas áreas de gestión empresarial, el mantenimiento emerge como un factor transcendental que influye en los múltiples aspectos de los procesos industriales garantizando la eficiencia operativa al asegurar la disponibilidad y confiabilidad en los diferentes activos, reduciendo los tiempos de inactividad y prolongando la vida útil de los equipos, lo que se traduce en ahorros operativos y una mejora en los costos de producción generando así impactos positivos en las utilidades (A. O. et al., 2013).

La historia de la industria bananera en Colombia está estrechamente entrelazada con la presencia inicial de la United Fruit Company (UFCO) a finales del siglo XIX (Brungardt, 1995). A medida que la UFCO ejerció su dominio en la producción y exportación de bananos en las primeras décadas del siglo XX, la influencia extranjera fue evidente. Sin embargo, en respuesta a la necesidad de autonomía y diversificación, surge Uniban (Unión de Bananeros de Urabá) en la década de 1970 como una cooperativa que representa a pequeños y medianos productores de banano, desafiando el control extranjero. En la década de 1980, Uniban se consolidó adoptando prácticas sostenibles y mejorando la reputación de los bananos colombianos. En el siglo XXI, Uniban enfrenta desafíos globales y ambientales, respondiendo con prácticas sostenibles y

programas sociales, manteniendo su papel destacado en la industria y contribuyendo al desarrollo sostenible del sector.

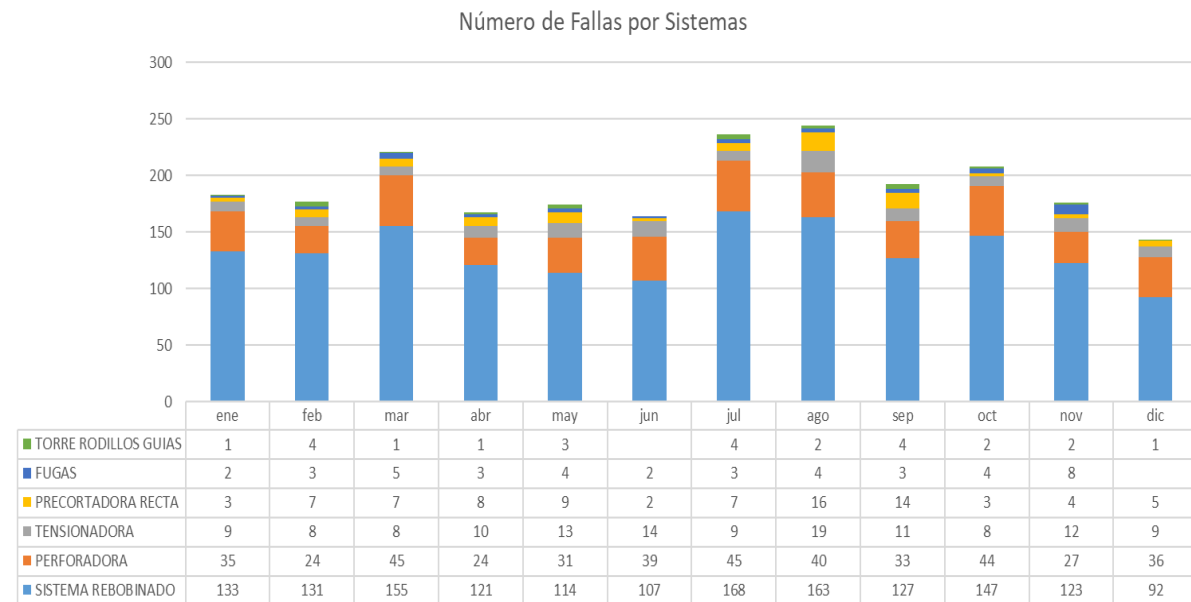
La empresa Polyban International S.A.S. hace parte de las filiales del grupo empresarial Uniban y es un referente entre las empresas altamente competitivas en la fabricación y comercialización de insumos plásticos de alta calidad para el sector agroindustrial, específicamente el sector bananero. Fue creada en 1989 y se encuentra localizada estratégicamente en el clúster petroquímico-plástico más dinámico de Colombia en la ciudad de Cartagena, en el sector Industrial de Mamonal. Cuenta con equipos de extrusión y conversión de alta gama, con capacidad instalada para procesar 7800 toneladas (t) diarias: 5900 t de bolsas de polietileno impresas y no impresas, 1500 t de cuerdas de polipropileno y 400 t de zunchos de polipropileno, las cuales corresponden a sus 3 líneas de productos principales de fabricación.

Durante los años 2012 y 2013 se impulsó el crecimiento de la organización con alianzas estratégicas con distintas industrias, lo cual intensificó el consumo, y por ende la demanda de la bolsa de campo, debido a lo anterior se generó la necesidad de aumentar la capacidad de la planta. La opción seleccionada fue la repotenciación de los sistemas de bobinado de las 2 líneas de perforado de bolsas de campo, pasando de entregar 8 rollos de 90 kg a 8 rollos de 180 kg cada una, el cual era uno de los sistemas más fiables de la planta y con mayor ventana de rediseño sin mayores inversiones. Cada línea de perforado está constituida principalmente por 4 desbobinadoras, 1 tensionadora, 1 perforadora y 4 bobinadoras. Cada bobinadora tiene 2 motorreductores instalados.

Luego de la repotenciación, el sistema de rebobinado ha presentado el mayor índice de fallas de la fábrica. Los equipos con mayor inherencia son los motorreductores de las bobinadoras.

Figura 1.

Tasa de fallos por sistemas funcionales de las líneas de perforado de la planta Polyban International S.A.S (ene 2012 – dic 2023)



Estas condiciones de fallas generaron escenarios negativos para la organización los cuales se detalla a continuación:

1. Disminución de la capacidad de producción de la línea.
2. Aumentos de paradas no programadas.
3. Pérdidas de producción por paros inesperados.

4. Aumento de costos de la gestión de mantenimiento.
5. Disminución de la fiabilidad del sistema.
6. Aumento de cantidad de repuestos completos del activo.

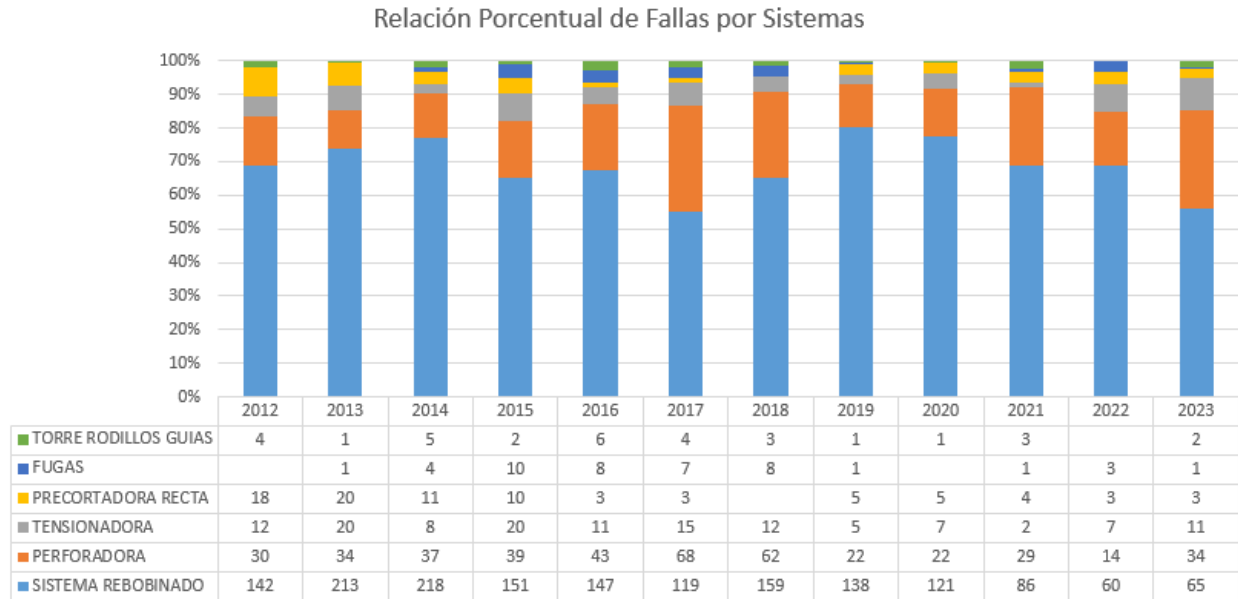
El impacto general de las pérdidas de producción de bolsas de campo se estima entre el 22% y el 25% de la producción total anual de bolsas correspondiente a unas 1.432 toneladas.

Sin embargo, estos eventos de fallas no se percibían como críticos debido a la alta producción y demanda que se tenía hasta finales del 2018. De acuerdo con los datos en la Figura 1, entre los años 2019 y 2022 se refleja una disminución en el número de fallas. Esta reducción se atribuye a la disminución en la producción, resultado de la pandemia de COVID-19 y el inicio del conflicto en Ucrania. Estos escenarios provocaron una baja ocupación de las líneas y en las horas operativas de los equipos. A pesar de estas circunstancias, la proporción de fallas del sistema de rebobinado se mantuvo en ese periodo como se puede apreciar en la Figura 2.

Figura 2.

Tasa de fallos porcentual por sistemas funcionales de las líneas de perforado de la planta

Polyban International S.A.S. (ene 2012 – dic 2023)



La guerra entre Rusia y Ucrania desencadenó en un desabastecimiento global de repuestos, provocando tiempos largos de entrega para nuevos equipos, lo cual combinado con una baja producción, paradas recurrentes, entornos económicos adversos (Alfonso & Arias, 2023) y una competencia agresiva por ocupar mercados cada día más reducidos, resaltó el impacto negativo de estas averías en los costes de producción al no contar con la ventaja de la economía de escala, lo cual generó la necesidad de mantener una alta confiabilidad para mantener los niveles óptimos de producción.

Para establecer las causas de las fallas repetitivas de los elementos del sistema de bobinado, generar soluciones y restablecer la confiabilidad de estos equipos se empleará la

metodología sistemática de análisis de causa raíz (RCA) (BSI Standards Publication, 2015) ampliamente usada y con resultados más que verificados como los obtenidos en el sector minero donde Vergel Rosales y Luque Solano (Vergel Rosales & Luque Solano, 2012) detectaron los malos actores en maquinarias excavadoras usando RCA en el sector eléctrico permitiendo a Blanco Duarte (Blanco Duarte, 2014) ejecutar la metodología y garantizar el mantenimiento en autotransformadores de alta potencia; así como también el enfoque de uso del RCA para eliminar fallas de los equipos críticos en el trabajo de Gonzáles Almeida y Cárdenas Quintero (González Almeida & Cárdenas Quintero, 2016).

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Desarrollar un RCA basado en la Norma BS EN 62740:2015, para encontrar las fallas crónicas de los motorreductores de las dos líneas de perforado de una empresa productora de insumos plásticos para el sector bananero.

1.2. Objetivos Específicos

- Realizar una jerarquización de los equipos críticos basada en frecuencia de fallas ponderando los costos y las consecuencias.
- Establecer la metodología dentro de la norma conducente a definir las causas de las fallas de índole física, humana y latente.
- Proponer una solución de bajo costo que conlleve a mitigar las causas de fallas físicas, humanas o latentes que existan, para reestablecer los equipos a una gestión de mantenimiento pertinente (acorde a las necesidades operativas del equipo).
- Elaborar un programa básico de inspección y mantenimiento preventivo para mejorar la mantenibilidad de los motorreductores.

2. Materiales y métodos

Para el desarrollo de esta monografía se planteó seguir los siguientes pasos:

- Revisión de la Norma BS EN 62740:2015 y bibliografía asociada: Se revisarán las diferentes técnicas recomendadas de análisis causa raíz que contiene la norma para comprender a fondo los requisitos y directrices establecidas, así como publicaciones, monografías y casos de éxitos en las diferentes industrias que lo han desarrollado. Esto generará soporte para la aplicación en el análisis de disponibilidad y mantenimiento de equipos de los motorreductores.
- Análisis de la disponibilidad actual: Se evaluará la situación actual de los motorreductores en la línea de perforado, permitiendo establecer datos de disponibilidad, tiempos de inactividad, historial de fallos, mantenimientos previos e impacto en la producción.
- Aplicación de RCA: Se realizará un análisis de causa raíz para identificar las posibles causas físicas, humanas y latentes de los daños en los motorreductores. Se registrarán los éxitos, debilidades y oportunidades que el análisis aporte.
- Desarrollo de propuestas de mejora: Con base en los hallazgos del RCA y las directrices de la norma BS EN 62740:2015 se generarán propuestas específicas para mejorar la disponibilidad de los motorreductores. Esto puede incluir cambios en el mantenimiento

preventivo, mejoras en la operación, actualizaciones de equipos, cambios de taxonomía, entre otros.

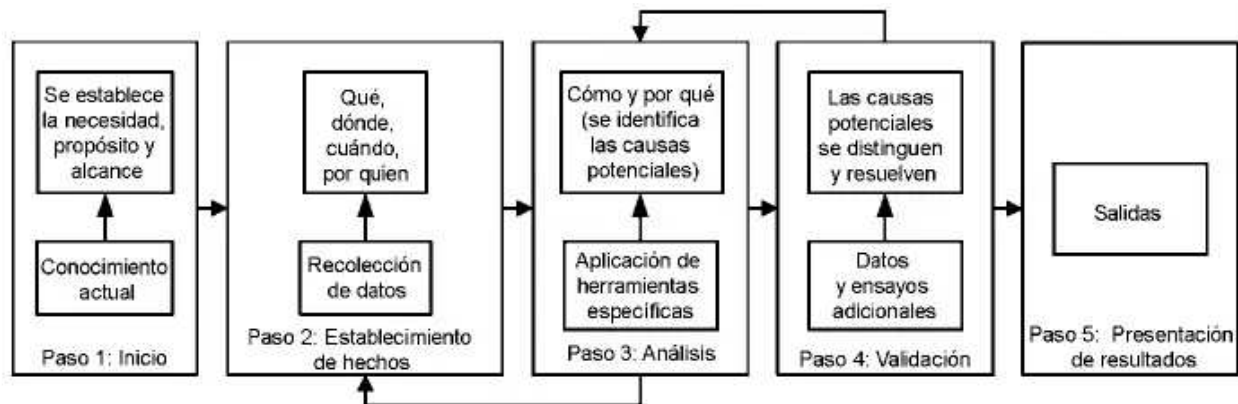
- Implementación y seguimiento: Una vez identificadas las propuestas de mejora se implementarán las soluciones recomendadas y se realizará el seguimiento continuo para evaluar la efectividad de las mejoras y ajustarlas según sea necesario.

3. Revisión de la Norma BS EN 62740:2015 y Bibliografía Asociada

La norma BS EN 62740:2015 identifica el RCA como un proceso sistemático de investigación el cual es empleado para identificar las causas fundamentales de un evento de falla o problema repetitivo en maquinarias o incidentes operativos. Recomienda una serie de pasos para el éxito de las investigaciones, resumidos en la Figura 3.

Figura 3.

Pasos recomendados para investigaciones RCA bajo BS EN 62740:2015



La norma BS EN 62740:2015 presenta descripciones de las metodologías y modelos RCA los cuales son resumidos en la Tabla 1.

Tabla 1

Descripciones de técnicas RCA bajo BS EN 62740:2015.

Técnica	Descripción
ECF	El análisis ECF identifica la secuencia temporal de una serie de tareas o acciones y las condiciones del entorno que conducen a un evento de foco. Estas se muestran en un diagrama causa efecto.
MES & STEP	MES & STEP son los métodos de recopilación de datos y seguimiento para el análisis de eventos foco complejos. Los resultados se muestran como una matriz de eventos temporales.
El método “¿por qué?”	El método “¿por qué?” guía el análisis a través de la cadena causal haciendo la pregunta ¿por qué? un número de veces.
CTM	El CTM es una técnica sistemática para analizar y representar gráficamente los eventos y condiciones que contribuyen a un evento foco. El CTM es similar al método “¿Por qué?” en el concepto, pero construye un árbol más complejo y considera explícitamente causas técnicas, organizativas, humanas y ambientales.
WBA	El WBA establece la red de factores causales de un evento principal mediante la comparación de dos factores o pruebas de contraste de hipótesis. La red de factores se muestra en un gráfico “¿Por qué? Porque”.
Método de árbol de fallas y árbol de éxito	Árbol de fallas o árbol de éxito es una representación gráfica de información para ayudar al usuario a realizar un análisis deductivo que determine caminos críticos de éxito o fracaso, que se muestran gráficamente en un diagrama

	lógico en forma de árbol.
Diagrama espina de pescado o Ishikawa	El diagrama de espina de pescado o Ishikawa es una técnica que ayuda a identificar, analizar y presentar las posibles causas de un evento foco. La técnica ilustra la relación de un evento foco y todos los factores que pueden influir en él.
SOL	SOL es una herramienta de análisis guiada por listas de verificación, orientada a eventos foco en centrales nucleares. Los resultados se presentan visualmente mediante un diagrama tiempo-actor derivado del método MES & STEP.
MORT	El gráfico MORT es un árbol de fallos pre-poblado con eventos, por lo general averías o descuidos, expresados en términos genéricos. El árbol MORT contiene dos ramas principales y muchas sub-ramas que proporcionan un alto nivel de detalle. Una rama principal identifica unos 130 factores específicos de control, mientras que la otra rama principal identifica más de 100 factores del sistema de gestión. El gráfico contiene también unos 30 factores del sistema de gestión adicionales comunes a las dos ramas principales del árbol.
AcciMaps	AcciMaps es principalmente una técnica para la visualización de los resultados de un análisis causal. Requiere un modelo organizativo que separe factores en capas.
TripodBeta	TripodBeta es una representación en diagrama de árbol de la red causal, centrándose en factores humanos y en la búsqueda de fallos en la

organización que pueden causar errores humanos.

CAST es una técnica que examina el proceso técnico-social completo involucrado en un evento de foco. CAST documenta el proceso dinámico que lleva al evento foco incluyendo la estructura de control técnico-social, así como las limitaciones que fueron violadas en cada nivel de la estructura de control.

En la mayoría de los casos de éxito aplicando RCA se han identificado que las metodologías de uso más frecuente son los 5 Porqués (Benjamin et al., 2015) e Ishikawa (Ishikawa & Ishikawa, 1982), sin embargo, se constata que es debido a los desarrollos y conocimientos internos dentro de las industrias.

4. Análisis de la Disponibilidad del Sistema de Rebobinado

Para el análisis de disponibilidad es importante una descripción detallada de la sección productiva donde se encuentran ubicados los motorreductores. Esta sección está compuesta por dos líneas de perforado, denominadas LC2 y LC4. Estas líneas están estratégicamente ubicadas en la Bodega 10 de Polyban International S.A.S., una ubicación que permite un funcionamiento eficiente y efectivo.

Para proporcionar una comprensión clara y completa de estas líneas de perforado, se presentan dos figuras. La Figura 4 ofrece una vista superior de ambas líneas, proporcionando una perspectiva panorámica de su disposición y diseño en la planta. La Figura 5 es una imagen real de las líneas en la planta, ofreciendo una visión más tangible y realista de su apariencia y configuración.

Figura 4.

Layout vista superior de líneas de perforado.

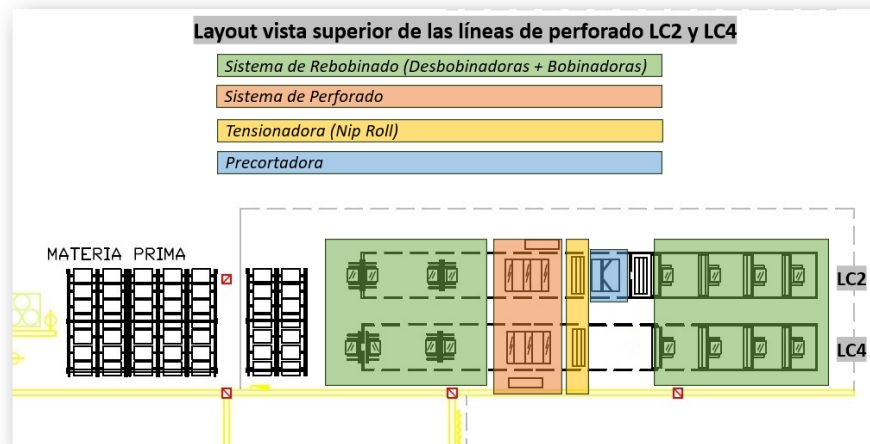


Figura 5.

Vista real de las líneas de perforado.



El sistema de bobinado está constituido por los equipos detallados en la Figura 6 y descritos en la Tabla 2.

Figura 6.

Vista frontal de bobinadoras e identificación de equipos.

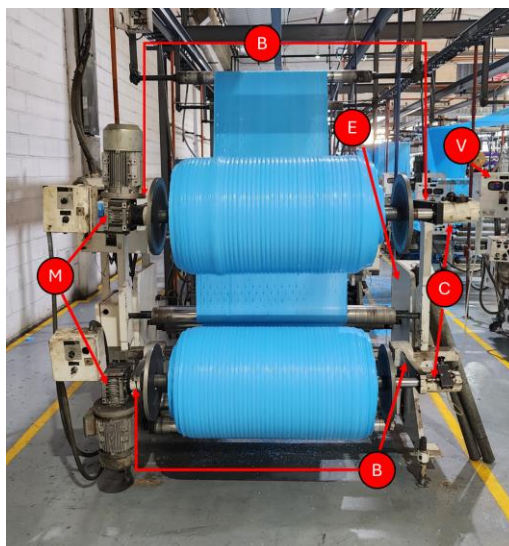


Tabla 2

Simbología y descripción de equipos del sistema de bobinado.

Simbología	Descripción
M	Motorreductor
B	Brazos de sujeción
C	Cilindros
V	Variadores de velocidad
E	Estructura o bastidor

A pesar de que el sistema de bobinado presenta un árbol de equipos fácilmente identificables, la taxonomía de los activos en el sistema de gestión de mantenimiento actualmente utilizado (SAP ERP) en Polyban International S.A.S. no incluye estos equipos, encontrándolos implícitos en el sistema de bobinado el cual está registrado como equipo en SAP. En la Figura 7 se detalla la taxonomía de la LC2, la cual es semejante a la LC4.

Figura 7.

Taxonomía actual de las líneas de conversión.

PCB10-CONV02	LÍNEA CONVERSIÓN No 2
10002361	DESBOBINADORA 2A
10002362	DESBOBINADORA 2B
10002363	DESBOBINADORA 2C
10002364	DESBOBINADORA 2D
10002365	PEFORADORA
10002366	TENSIONADORA
10002367	BOBINADORA 2A
10002368	BOBINADORA 2B
10002369	BOBINADORA 2C
10002370	BOBINADORA 2D
10002371	TORRE RODILLOS GUIAS

La taxonomía de activos encontrada en el sistema de gestión de mantenimiento generó dificultades en la identificación de los equipos con mayor índice de fallas en el sistema de bobinado debido a que al no tener registrados estos equipos en SAP se hace necesario direccionar los avisos de avería al sistema de bobinado, en lugar del activo específico que presentaba la pérdida de capacidad funcional.

Para determinar los equipos del sistema de bobinado que registraron mayores índices de falla y que ocasionaron mayores impactos económicos se llevaron a cabo dos análisis de Pareto. Estos análisis permitieron identificar el 20% de los equipos cuyas fallas generaban el 80% en costos directos de mantenimiento del sistema y con mayores registros de cantidad de fallas. Para asociar las fallas a los equipos correspondientes se examinaron uno a uno los encabezados de las órdenes y de los avisos de avería, obteniendo los resultados de las Figuras 8 y 9.

Figura 8.

Análisis de Pareto de los activos con mayor número de fallas.

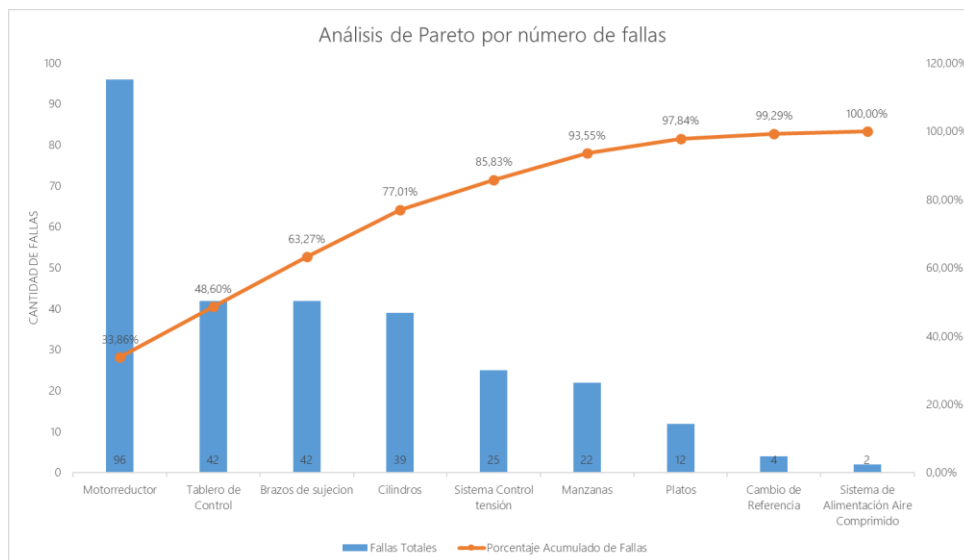
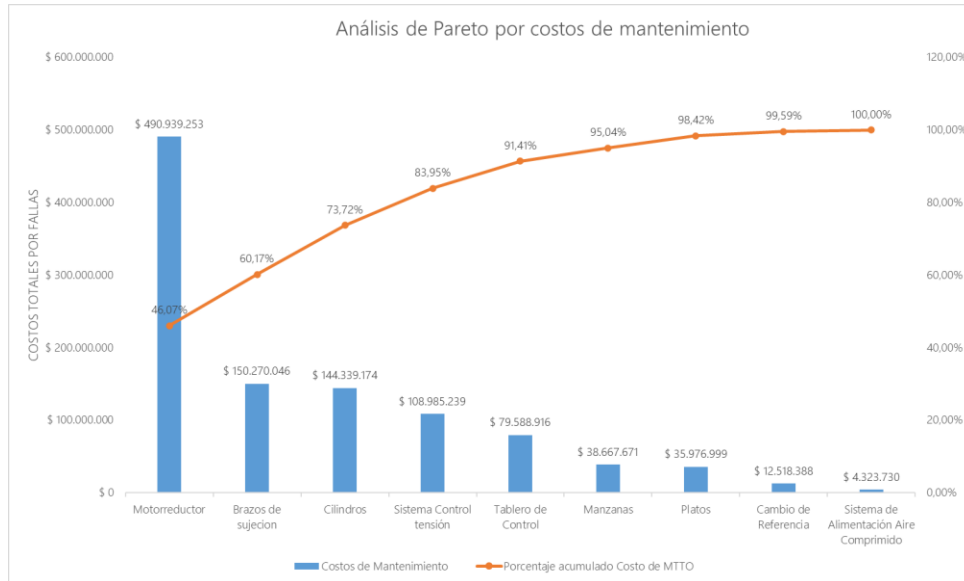


Figura 9.

Análisis de Pareto de las fallas con mayor impacto a los costos directos de mantenimiento.



Se identificó que los motorreductores son los equipos con mayor número de fallas y con mayor impacto en los costos directos de mantenimiento con un promedio anual de 8 fallas y un costo directo de mantenimiento promedio anual que asciende a \$40.911.604.

Teniendo en cuenta las dificultades presentes tanto en el sistema de gestión de mantenimiento como en el seguimiento de la producción debido a una taxonomía limitada, la falta de trazabilidad en el cambio de posiciones de los motorreductores, la ausencia de bitácoras de estado de equipos de las líneas de conversión, la falta de estandarización del registro de información que se ingresa en los avisos de avería, así como la ausencia de seguimiento de tiempos de operación (horómetros) de equipos, no es posible disponer de datos confiables de MTBF en los motorreductores. Por lo tanto, se define que las fallas ocurren de manera aleatoria

en cualquier motorreductor y se evalúa la criticidad mediante los costos directos de mantenimiento, la tasa de fallas y el impacto sobre la producción. El impacto en la seguridad y el ambiente es igual para todos los equipos del sistema de rebobinado por lo cual no afecta la evaluación de criticidad.

Para establecer un punto de comparación del impacto de las averías de los motorreductores a partir de la penalización por pérdidas de producción, se utilizó el promedio de la demanda de los últimos años típicos, comprendidos desde 2012 hasta 2020. Los años 2021 a 2023 se consideran años atípicos debido a la muy baja producción ocasionada por el contexto de la guerra en Ucrania. Se pronóstica que la normalización de la demanda se producirá entre los años 2024 y 2025 los cuales se excluyeron de los cálculos realizados. El valor de referencia obtenido para la comparación por avería de los motorreductores fue de 1.432.003 kg/año (ver apéndice A- Hoja de cálculos de producción).

Con este dato, se calculó la capacidad mínima requerida para que las líneas logren cubrir la demanda promedio anual. Se tiene que la capacidad de cada puesto de bobinado es de 30 kg/h, por lo que la capacidad total instalada es 480 kg/h. Sin embargo, debido a limitaciones en la producción la cual se ve impactada por los tiempos de maniobras operativas tales como cambio de perforados, afilado de bases de corte, cargue y descargue de rollos, estimando una capacidad productiva bruta de un 74% de acuerdo con reportes de la jefatura de planta, reduciendo así la capacidad nominal a 355 kg/h. Adicional a esto, para el análisis se contemplaron las referencias mínimas de los estándares de producción con una disponibilidad del 90% y una calidad del 90%. Si se toma el 100% del rendimiento obtendríamos un OEE de 81%, por lo cual la capacidad real

de las dos líneas de rebobinado nos arrojaría 288 kg/h obtenido como resultado de la operación ***Capacidad nominal * OEE = 355 kg/h * 81%***.

La producción anual estándar es estimada como el producto entre la capacidad real de las líneas y la cantidad máxima de horas a producir anualmente (6480 h), ***Producción anual estándar = Capacidad real de las líneas * número de horas máximas de producción***. Lo que arroja que la producción anual que se puede garantizar de forma estándar es de 1.866.240 kg.

Para determinar el número mínimo de puestos de bobinado entre las 2 líneas cubriendo la demanda promedio en un margen de +/- 2% se generó una igualdad que indica el punto de equilibrio de producción, arrojando que se requieren en funcionamiento 12 puestos de bobinado funcionando de forma simultánea los cuales equivalen a un rendimiento del 75% del total de puestos (12/16). Lo anterior impactaría al OEE (75%*90%*90%=61%) reduciéndolo al 61%, arrojando que la capacidad mínima necesaria para cumplir con la demanda promedio anual del conjunto de total de puestos es de 216 kg/h, lo cual representaría una producción anual de 1.399.680 kg. Las Figuras 10 y 11 ilustran los ejercicios de cálculo.

Figura 10.

Pérdidas de producción y punto de equilibrio para mantener producción anual.

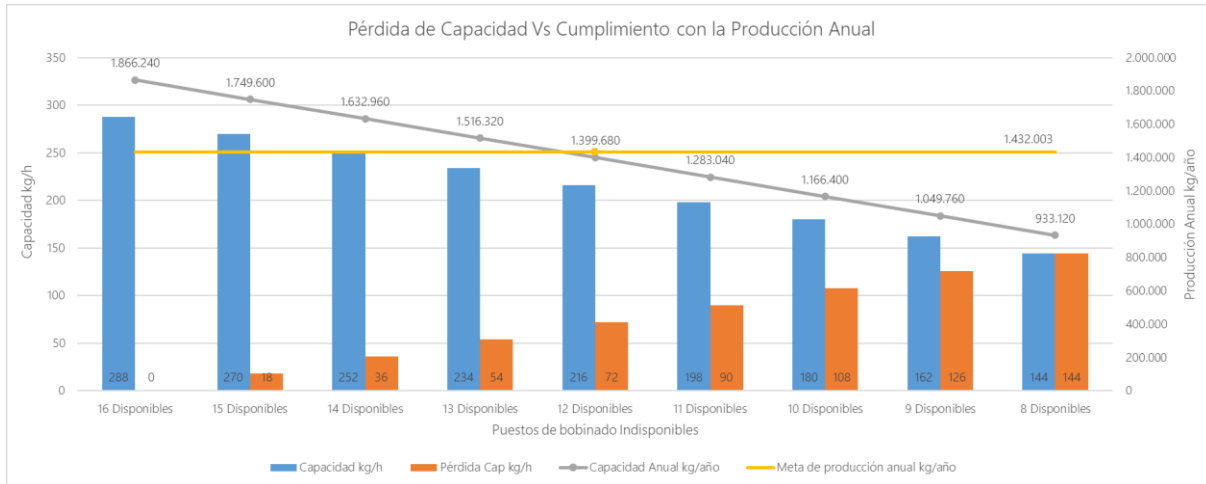
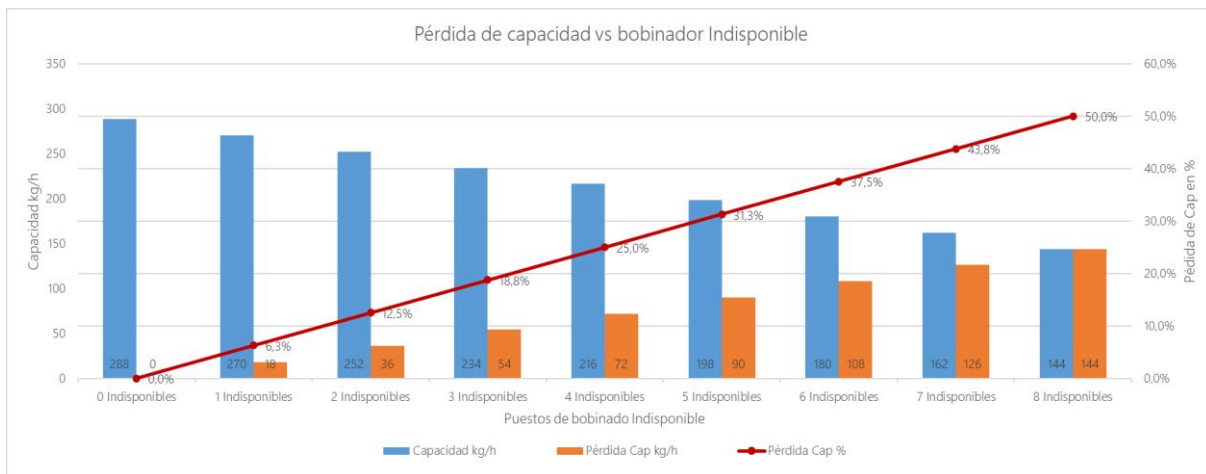


Figura 11.

Impacto en la pérdida de capacidad de producción por puesto de bobinado indisponible.

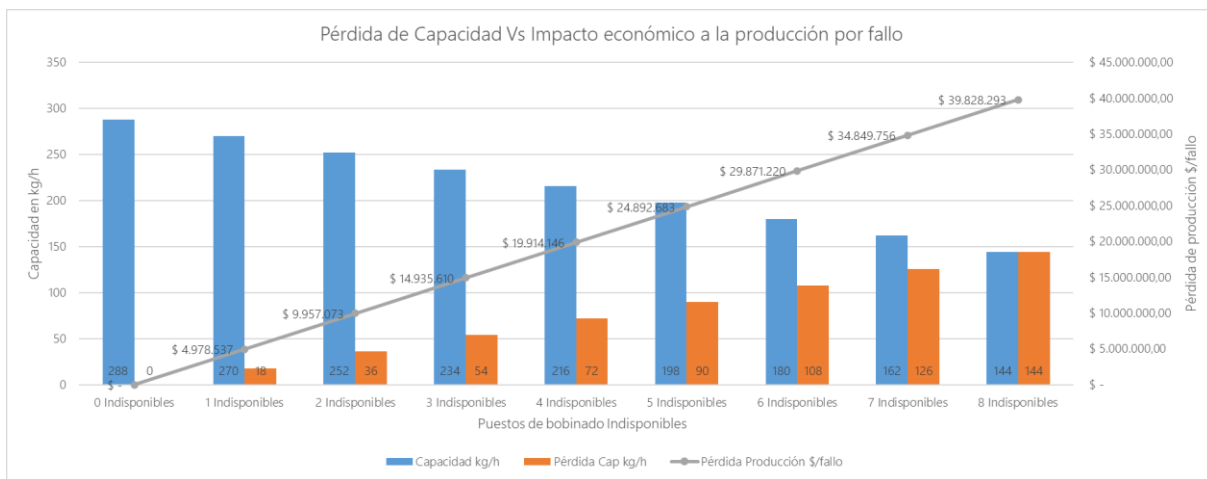


El valor de mercado del producto final que se procesa en la línea es de COP \$21.000 por rollos de 1.23 kg, es decir que el valor de facturación en el mercado de 1 kg de producto es de COP 17.073 \$/kg (21.000/1.23), con este valor de referencia se realizó el cálculo del impacto a la

producción por la subsecuente pérdida de rendimiento de las líneas contemplando un MTTR promedio de 16,2 horas el cual se dedujo de manera conservadora del 3% de las horas totales disponibles de operación debido a la ausencia de datos disponibles. Los resultados del impacto en la producción derivan de la operación de ***Impacto en la producción en \$ = Pérdida de capacidad por falla de puesto de bobinado * Cantidad de puestos fuera de servicio de bobinado * Precio de facturación por \$/h* MTTR promedio (h)*** y se simplifican en la Figura 12.

Figura 12.

Impacto en \$ COP en la pérdida de capacidad de producción por puesto de bobinado indisponible.



Con base en los datos obtenidos en la Figura 8 y considerando el intervalo de tiempo en el cual se enfoca el análisis desde el año 2012 hasta el año 2023 se tiene un MTBF cercano a 8. Por lo que el impacto económico anual de la producción por daños en cada motorreductor asciende a \$39.828.293.

Los detalles de los cálculos realizados y los datos analizados se pueden observar en el apéndice A- Hoja cálculos producción.

Basado en los resultados de los cálculos sobre la cantidad de fallas, el impacto en los costos directo de mantenimiento e los efectos en los costos de producción, se procedió a evaluar la matriz de riesgo de consecuencias económicas y operacionales elaborada con criterios detallados en las Tablas 3 y 4. La valoración revela que las condiciones actuales están generando consecuencias inaceptables, como se ilustra en la Figura 13.

Tabla 3

Frecuencia de eventos para matriz de riesgo.

Valor	Nivel	Casos por año
1	Improbable	Menos de 1 caso cada 50 años
2	Remoto	1 caso entre 20 y 50 años
3	Ocasional	1 caso entre 5 y 20 años
4	Moderado	1 caso entre 1 y 5 años
5	Frecuente	Entre 1 y 10 caso por año
6	Constante	Mas de 10 casos por año

Tabla 4

Severidad de eventos para matriz de riesgo.

Valor	Nivel	Casos por año
1	Insignificante	Menos de \$ 1.000.000
2	Marginal	Entre \$ 1.000.000 y 10.000.000
3	Grave	Entre \$ 10.000.000 y 100.000.000
4	Crítico	Entre \$ 100.000.000 y 300.000.000
5	Desastroso	Entre \$ 300.000.000 y 500.000.000
6	Catastrófico	Mayor \$ 500.000.000

Figura 13.

Matriz de riesgo de consecuencias económicas y operacionales.

Severidad \ Probabilidad	Insignificante	Marginal	Grave	Crítico	Desastroso	Catastrófico
Constante						
Frecuente			Motorreductor			
Moderado						
Ocasional						
Remoto						
Improbable						

Criterio	Aceptabilidad
Aceptable	
Tolerable	
Inaceptable	
Inadmisible	

5. Aplicación de RCA

Con los datos obtenidos de la evaluación de disponibilidad se identificó que los motorreductores del sistema de bobinado presentan índices similares de fallas. El desarrollo del RCA fue basado en la norma BS EN 62740:2015. Sin embargo, la metodología final fue una mezcla de CTM, MES & STEP y ECF con lo cual se desarrolló un documento con forma y contenido que aporta facilidad en la realización de los análisis y de manera gráfica refleja una rápida identificación de repuestas al lector. Los detalles del resultado del RCA y el documento propuesto para desarrollos de RCA son mostrados en los apéndices B y C.

Las causas raíz que presenta el RCA en estudio fueron:

5.1. Causas raíz físicas

Falla / Acciones de Elementos / Componentes

- **Falla del Reductor.** Se observaron fallas en la corona por efectos de desgaste ocasionados por ausencia de lubricación, selección incorrecta del grado de viscosidad del lubricante utilizado para la aplicación, desalineamiento de los brazos sujetadores de los rollos y la instalación inadecuada incumpliendo las dispuestas por el fabricante.
- **Falla del Motor.** Velocidad de operación del motor por debajo del límite del 50% de la velocidad nominal, recomendado como criterio de diseño general para garantizar la correcta autoventilación del motor.

5.2. Causas raíz Humanas

Desempeño o comportamiento de las personas

- **Desensambles de piezas del equipo sin reportar.** Para atenciones de emergencias se toman piezas de otros equipos similares y no se generan reportes por parte de producción o mantenimiento, generando ausencia de trazabilidad.
- **Análisis de parámetros técnicos de repotenciación enfocados en producción.** Durante el análisis del proyecto de repotenciación de las líneas no se contemplaron facilidades de mantenimiento y condiciones de diseño para operar.

5.3. Causas raíz latentes

Organizacionales

- **Desconocimiento del estándar de operación y de reporte de fallas por parte del operador de producción y del operador de mantenimiento.** Ausencia de capacitaciones y socializaciones sobre el estándar de operación y reporte de fallas.
- **Análisis de parámetros técnicos de repotenciación enfocados en producción.** Control de ingeniería inadecuado en el proyecto de repotenciación adicionando fallas potenciales en los equipos.

6. Implementación y Seguimiento de Mejoras

Las acciones correctivas y/o mejoras identificadas en el RCA para reducir los índices de falla y minimizar el impacto en la producción son detalladas en el apéndice B y se resumen en las Tablas 5, 6 y 7. En ellas se describen el tipo de causa raíz, el detalle de la causa raíz, el plan de acción, el responsable de la implementación de las acciones, la fecha límite propuesta y el estado de la implementación

Tabla 5

Plan de acción causas raíz físicas.

CAUSA RAÍZ FÍSICA					
#	Causa Raíz	Plan de acción	Responsable	Fecha	Estado
PA1	Falla del Reductor	Estandarizar la disposición de montaje con el aspa del motor hacia abajo y nivel de aceite recomendado.	- Ingeniero de Mantenimiento - Analista de Mantenimiento	01/03/2024	En curso
		Cambiar el grado ISO del lubricante de 320 a 460.	- Ingeniero de Mantenimiento	01/03/2024	Abierto
		Estandarizar reductores con mirilla de nivel y punto de reposición de aceite.	- Ingeniero de Mantenimiento	01/03/2022	Abierto
		Mejorar la alineación de los brazos de sujeción.	- Ingeniero de Mantenimiento - Supervisor de Mantenimiento - Analista de Mantenimiento	20/05/2024	Abierto
		Instalación de los brazos de torsión en los reductores.	- Supervisor de Mantenimiento - Analista de Mantenimiento	20/02/2024	Abierto
PA2	Falla del Motor	Instalación de ventilación forzada adicional	- Ingeniero de Mantenimiento	20/05/2024	Abierto

Tabla 6*Plan de acción causas raíz humanas.*

CAUSA RAÍZ HUMANA					
#	Causa Raíz	Plan de acción	Responsable	Fecha	Estado
PA3	Desensambles de piezas del equipo sin reportar	Socialización y capacitación sobre validaciones y reporte de estado de maquinaria al inicio de turno y generación de avisos de avería.	- Supervisor de Producción - Supervisor de Mantenimiento	01/03/2024	En curso
		Socialización y capacitación sobre notificaciones de trabajos y novedades en la ejecución del mantenimiento.	- Supervisor de Mantenimiento - Analista de Mantenimiento	01/03/2024	Abierto
PA4	Desconocimiento del estándar de operación y de reporte de fallas por parte del Operador de Producción y del Operador de mantenimiento	Socialización y capacitación sobre validaciones y reporte de estado de maquinaria al inicio de turno y generación de avisos de avería.	- Supervisor de Producción - Supervisor de Mantenimiento	01/03/2024	Abierto
		Socialización y capacitación sobre el estándar de producción de las líneas.	- Supervisor de Producción	01/03/2024	Abierto
PA5	Análisis de parámetros técnicos de repotenciación enfocados en producción	Socialización de los hallazgos y las limitaciones para el mantenimiento de los equipos para tenerlo en cuenta en los procedimientos de análisis de proyectos futuros.	- Jefe de Planta	01/03/2024	Abierto

Tabla 7

Plan de acción causas raíz latentes.

CAUSA RAÍZ LATENTE					
#	Causa Raíz	Plan de acción	Responsable	Fecha	Estado
PA6	Desconocimiento del estándar de operación y de reporte de fallas por parte del Operador de Producción y del Operador de mantenimiento	Aplicación de técnicas de TPM: Gestión visual y tarjetas TPM	-Ingeniero de Mantenimiento	01/06/2024	Abierto
PA7	Análisis de parámetros técnicos de repotenciación enfocados en producción	Conformar un comité interno y documentación asociada para la evaluación y control de los proyectos que incluya grupo interdisciplinario: producción, mantenimiento, calidad y HSE.	- Jefe de Planta	01/03/2024	Abierto

Adicionalmente se detallan las lecciones aprendidas, las cuales se dividen en:

Éxitos

- El tiempo de reacción y las maniobras por parte de mantenimiento para controlar la situación y reponer la capacidad de las líneas y disminuir el impacto de la desviación es destacable. Las actividades de mantenimiento se concluyeron en la ventana planificada.

Dificultades

- La taxonomía definida para las líneas de conversión dificulta la trazabilidad de eventos de cada activo que la componen, desviando la gestión del mantenimiento y el seguimiento de costos. Los motorreductores no se encuentran creado como activos.

- La generación y/o ausencia de avisos de mantenimiento que generaran alertas de falla que se podrían atender con la línea en servicio, disminuyendo la probabilidad de paro de las líneas de conversión.

Oportunidades

- Mejoras en la generación de avisos de mantenimiento, intervenciones a los activos y notificaciones de trabajo para la trazabilidad de la ejecución que permita un análisis de indicadores de mantenimiento como MTBF, MTTR.

- Realización de charlas de trabajo y motivacionales al personal técnico generando indicaciones, recomendaciones de seguridad y explicando las implicaciones técnicas y económicas por fallos en correcciones o aparición de fallas nuevas (retrabajos y posibles desviaciones).

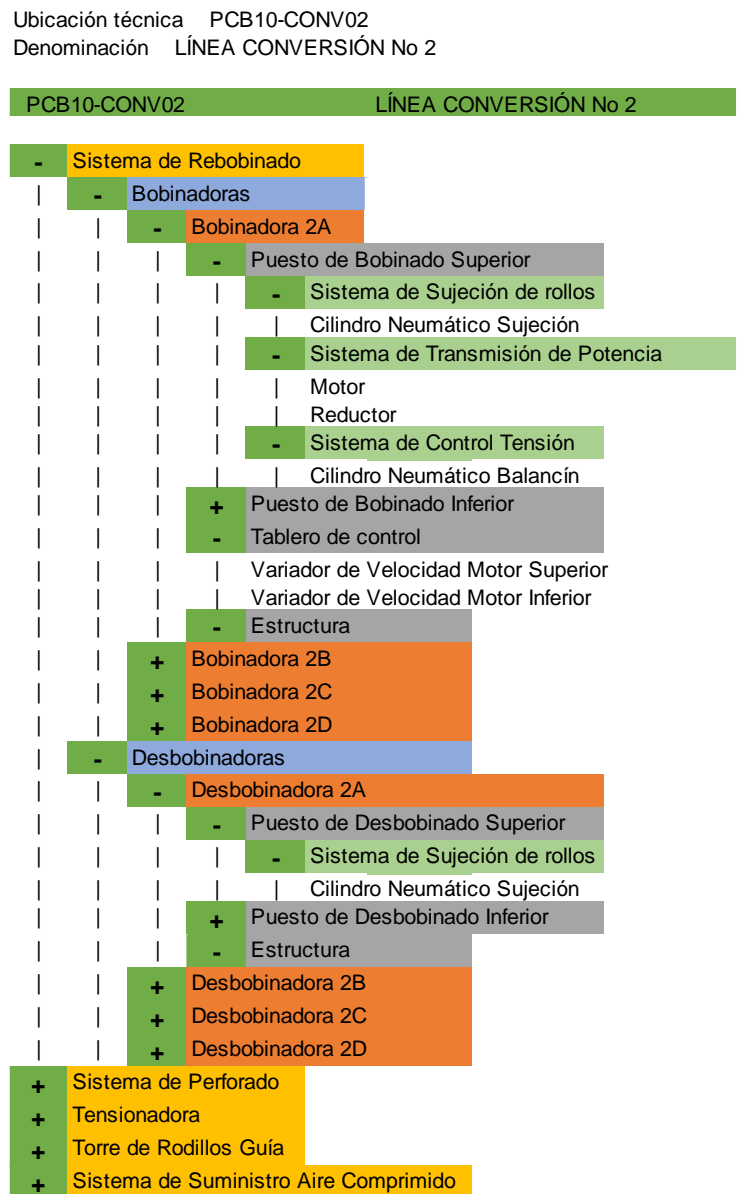
- Aplicación de técnicas de TPM: Gestión visual y tarjetas TPM. Disminuiría la brecha de conocimiento de los estándares de la gestión O&M para disminuir paros de línea y acumulaciones de fallas

- Mejorar la gestión del mantenimiento a través de la mejora en la taxonomía con ingreso de ítems mantenibles no creados y actualización y optimización de los planes de mantenimiento. Permitirá generar adecuadamente trazabilidad de intervenciones y controles de costos de mantenimiento. En la Figura 14 se presenta de forma simplificada la taxonomía propuesta para el

sistema de rebobinado, aplicable para la LC2 y LC4. La estructura jerárquica de equipos es igual para el conjunto de las bobinadoras, así como para el conjunto de las desbobinadoras, por lo cual se desarrolla solo para una en cada caso.

Figura 14.

Propuesta de nueva taxonomía de equipos de las líneas de conversión



- Establecer una guía formal y un equipo de evaluación interdisciplinar de proyectos de gran impacto.
- Gestión de conocimiento de la metodología y aplicación de RCA para el equipo de mantenimiento de Polyban International S.A.S.

Con los datos del RCA presentados a las directivas de la empresa son aprobadas las acciones correctivas y las mejoras propuestas detalladas en el análisis que tienen implicación directa en la mejora de taxonomía, optimización de los planes de mantenimiento, la creación de instructivos y capacitación de personal impactando significativamente en la disponibilidad y gestión del mantenimiento de los equipos. Se estima que, tan solo en los motorreductores, estas mejoras generarán ahorros anuales de aproximadamente 26 millones de pesos en los costos directos de mantenimiento. Así mismo, se espera que estas medidas incrementen el rendimiento de las líneas de conversión por encima del 87,5%, esto es 12,5% más en comparación con el registro actual del 75%. Lo anterior posibilitaría un aumento de 14% en el promedio de la demanda anual lo que representaría aumento de ventas de \$ 3.422.835.636.

Los planes de mantenimiento propuestos a los equipos de la nueva taxonomía se resumen en la Tabla 8. Se presentan de forma simplificada y generalizada como una plantilla base, la cual se replicará por cada uno de los ítems mantenibles de las 2 líneas. Es posible observar las diferencias respecto a los planes de mantenimientos actuales detallados en la Tabla 9.

Tabla 8

Plan de mantenimiento propuesto para la nueva taxonomía de equipos.

Sistema	Equipo	Tarea	Frecuencia	Tipo de mantenimiento	Personal
Sistema de Rebobinado	-Sistema de Bobinadoras -Sistema de Desbobinadoras	Inspeccionar bobinadoras y desbobinadoras en búsqueda de elementos faltantes y equipos indisponibles, llenar formato bitácora de inspección y entregarlo diligenciado al supervisor, Realizar los avisos correspondientes por cada equipo.	Diario	Preventivo	1 operador de Producción
Sistema sujeción de rollos	Cilindro neumático de sujeción	Verificar estado de rodamientos de las manzanas, Verificar desgaste de manzanas. Revisar la unidad de mantenimiento (estado del filtro de aire, regulador, lubricador, manómetro), Revisar fugas de aire y estado de mangueras. Ajustar tornillos de brazos de sujeción y alinear correctamente con la estructura.	Mensual	Preventivo	1 operador de MANTENIMIENTO Mecánico
-Bobinadoras A, B, C, D -Desbobinadoras A, B, C, D	Estructuras	Realizar limpieza general, Ajuste de todos los rodillos, reajustar tornillos de fijación de reductores, brazo de torsión y tableros de mando.	Mensual	Preventivo	1 operador de MANTENIMIENTO Mecánico
Tableros de Control Bobinadoras A, B, C, D	Variador Inferior y Superior	Limpiar internamente tableros de control, Limpieza de variadores de velocidad y organización de cableado y ajuste de terminales eléctrico.	Trimestral	Preventivo	1 operador de MANTENIMIENTO Eléctrico

Sistema de Transmisión de Potencia Bobinadoras A, B, C, D	Reductores	Hacer limpieza superficial, revisar fugas de reductores, cambiar retenedores según condición, reponer aceite en reductores con fuga.	Mensual	Preventivo	1 operador de MANTENIMIENTO Mecánico
Sistema de Transmisión de Potencia Bobinadoras A, B, C, D	Motores	Hacer limpieza superficial, verificar con ultrasonido el estado de rodamientos, tomar temperatura puntos de medida del motor con termómetro laser y verificar ventilación, toma de valores de corriente mostradas en el variador de velocidad, llenar valores en formatos de seguimiento de condición.	Mensual	Preventivo	1 operador de MANTENIMIENTO Eléctrico
Sistema de Transmisión de Potencia Bobinadoras A, B, C, D	Motores	Medir aislamiento de motores, llevar registro en formato de seguimiento de condición	Semestral	Preventivo	1 operador de MANTENIMIENTO Eléctrico
Sistema de Transmisión de Potencia Bobinadoras A, B, C, D	Reductores	Cambiar aceite a reductores	5 años	Preventivo	1 operador de MANTENIMIENTO Mecánico

Tabla 9*Plan de mantenimiento actual.*

Sistema	Equipo	Tarea	Frecuencia	Tipo de mantenimiento	Personal
Sistema de Rebobinado	Bobinadoras A, B, C, D	Verificar limpieza general, estado de rodamientos de las manzanas y de todos los rodillos, ajuste de manzanas, ajuste de brazos y estado del riel guía, revisar la unidad de mantenimiento (estado del filtro de aire, regulador, lubricador, manómetro). Revisar fugas de aire y aceite, reajustar tornillos de fijación de reductores y tableros de control, verificar estado de manómetros, manijas y organización de cableado eléctrico.	Mensual	Preventivo	1 operador de MANTENIMIENTO Mecánico 1 operador de MANTENIMIENTO Eléctrico
Sistema de Rebobinado	Bobinadoras A, B, C, D	Revisar estado de ejes porta manzanas y manzanas, estado de rodillos y puntas de ejes, estado de rodamientos de reductores y motores. Lubricar rodamientos de rodillos guías, cambiar aceite y filtro a unidad de mantenimiento.	Trimestral	Preventivo	1 operador de MANTENIMIENTO Mecánico 1 operador de MANTENIMIENTO Eléctrico
Sistema de Rebobinado	Tablero Eléctrico Bobinadoras A, B, C, D	Limpiar internamente tableros de control	Trimestral	Preventivo	1 operador de MANTENIMIENTO Eléctrico
Sistema de Rebobinado	Motorreductores Bobinadoras A, B, C, D	Cambiar aceite a reductores	Anual	Preventivo	1 operador de MANTENIMIENTO Mecánico 1 operador de MANTENIMIENTO Eléctrico

La diferencia principal entre los planes de mantenimiento propuesto para la nueva taxonomía de equipos y los actuales radica en que los planes propuestos en la nueva taxonomía direccionan de manera precisa las intervenciones de mantenimiento y los costos asociados a los ítems mantenibles. Esto permite una gestión de mantenimiento adecuada y facilita futuros análisis de indicadores de mantenimiento, tales como MTBF y MTTR.

7. Conclusiones

- Con los análisis de Pareto efectuados, se determinó que los motorreductores son los equipos con mayor número de fallas y que presentan mayor impacto en los costos directos de mantenimiento en el sistema de bobinado, con una media de 8 fallas anuales y un costo directo de mantenimiento promedio anual de \$40.911.604, representando el 33,86% del total acumulado del análisis de Pareto por fallas y el 46,07% del análisis de Pareto de costos directo de mantenimiento.
- Se estableció que el OEE máximo alcanzable con los estándares mínimos de disponibilidad y calidad del 90% es del 81%. Esto indica que la capacidad máxima de las líneas de conversión es de 288 kg/h, lo que equivale a una capacidad de producción anual de 1.866.240 kg.
- Se identificó que el rendimiento mínimo necesario para cumplir con la demanda promedio anual de 1.399.680 kg es de 75%, lo que implica que se requiere como mínimo 12 de los 16 puestos de bobinado, lo cual representa una capacidad de 216 kg/h.
- Se estimó que el impacto en la producción en pesos colombianos por cada puesto de bobinado fuera de servicio debido a fallas de motorreductor asciende a \$307.317 por hora, con un estimado del 3% de no utilización debido a fallas del equipo de las 6480

- horas disponibles, el impacto anual en la producción sería de \$39.828.293 por motorreductor.
- Las acciones correctivas y mejoras propuestas a implementar desarrolladas en el RCA proyectan mejoras significativas en la disponibilidad y gestión del mantenimiento de los equipos. Se estima que estas mejoras generarán ahorros anuales de aproximadamente 26 millones de pesos en los costos directos de mantenimiento, solo en los motorreductores, así mismo, se espera que estas medidas incrementen el rendimiento de las líneas de conversión por encima del 87,5%, 12,5% más en comparación con el registro actual del 75%. Lo anterior posibilitaría un aumento de 14% en el promedio de la demanda anual lo que representaría aumento de ventas de \$ 3.422.835.636.
 - Se propone una nueva taxonomía de equipos en el sistema de rebobinado con la inclusión de ítems mantenibles no creados, así como la actualización, optimización y creación de planes de mantenimiento. Esto permitirá mejoras en la gestión de mantenimiento, en la trazabilidad de las intervenciones a los equipos y en el control de los costos directos de mantenimiento. Así mismo permitirá el cálculo y análisis de indicadores de mantenimiento como MTBF y MTTR más cercanos a la realidad.
 - Se propone implementación de técnicas de TPM: Gestión visual y tarjetas TPM, para disminuir la brecha de conocimiento de los estándares de la gestión O&M, los paros de línea y las acumulaciones de fallas.

- Se propone establecer una guía formal y un equipo de evaluación interdisciplinario de proyectos de gran impacto, en el que participe producción, mantenimiento, calidad y HSE para minimizar los impactos negativos que puedan generarse por la ejecución del proyecto.

- La aplicación de la metodología de RCA a la línea de perforado ha generado información valiosa para la empresa Polyban International S.A.S. Esta contribución se refleja en el desarrollo y ampliación del conocimiento en el grupo O&M, así como en la mejora continua de la organización. Este proceso de mejora continua implica futuras elaboraciones de procedimientos para disminución de errores humanos, implementación de técnicas de TPM como la gestión visual y tarjetas TPM, que establecerían un estándar claro para la gestión O&M. Esto resultaría en la disminución de los paros de línea y eliminación de malos actores, por último, pero no menos importante, mejoras en la taxonomía de equipos que permitirá establecer datos precisos de los activos para calcular indicadores de operación y producción que reflejen la realidad de la empresa y faciliten las tomas de decisiones sobre los activos.

Referencias Bibliográficas

- Alfonso, N., & Arias, L. (2023). *Análisis de las Exportaciones de las Empresas Bananeras de Colombia 2019-2022, en el Marco del Conflicto Rusia y Ucrania* [Universidad de Santander]. <https://repositorio.udes.edu.co/server/api/core/bitstreams/ac205d0f-f532-47bc-8e4f-feeb1e222413/content>
- Brungardt, M. P. (1995). La United Fruit Company en Colombia. *Innovar*, (5), 107–118. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/innovar/article/view/19092>
- Benjamin, S. J., Marathamuthu, M. S., & Murugaiah, U. (2015). The use of 5-WHYs technique to eliminate OEE's speed loss in a manufacturing firm. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 21(4), 419–435. <https://doi.org/10.1108/JQME-09-2013-0062>
- Ishikawa, K., & Ishikawa, K. (1982). *Guide to quality control* (Vol. 2). Asian Productivity Organization Tokyo.
- Blanco Duarte, L. M. (2014). *Propuesta De Mejoramiento A Través De Metodología De RCA Para Asegurar La Efectividad Del Sistema De Mantenimiento Utilizado Por Isa-Intercolumbia En Los Autotransformadores De Alta Potencia Del Cte Centro* [Trabajo de Grado]. Universidad Industrial de Santander.

BSI Standards Publication. (2015). BS EN 62740:2015, Root Cause Analysis (RCA).

https://kupdf.net/download/bs-en-62740-2015-root-cause-analysis_5af603b3e2b6f559078da777_pdf

González Almeida, F. L., & Cardenas Quintero, O. E. (2016). *Metodología RCA Para Identificar Causa Raíz De Las Fallas Generadas En Equipos Críticos De Halliburton S.A.* [Trabajo de Grado]. Universidad Industrial de Santander.

Ortiz Useche, A., Rodríguez Monroy, C., & Izquierdo, H. (2013). Gestión de mantenimiento en pymes industriales. *Revista Venezolana de Gerencia*, 18(61), 86-104.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29026161004>

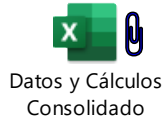
Olarte C. W., Botero A. M. & Cañon A. B. (2010). Importancia Del Mantenimiento Industrial Dentro De Los Procesos De Producción. *Scientia Et Technica*, XVI(44), 354-356.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84917316066>

Vergel Rosales, H. E., & Luque Solano, Y. N. (2012). Aplicación de la Metodología de Análisis de Causa Raíz (RCA) para la identificación del Mal Actor de las excavadoras Caterpillar 345c Y 345d en la empresa Drummond Ltd. [Trabajo de Grado, Universidad Industrial de Santander]. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2012/146776.pdf>

Apéndices

Apéndice A. Datos y cálculos consolidados



Apéndice B. RCA-Pérdida de la capacidad de las líneas de perforado LC2 y LC4 por fallos en los motorreductores en sistema de rebobinado.



Apéndice C. Documento o plantilla RCA propuesto.

