



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

**Plan de Mantenimiento Preventivo (RCM) para incrementar la
confiabilidad de la Línea Impresora Flexográfica en una empresa
papelera**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Eléctricista

AUTORES:

Capo Gutierrez, Daniel Pastor (orcid.org/0000-0002-2758-8479)

Chinguel Chinguel, Jhon Irfan (orcid.org/0000-0002-5247-7009)

ASESOR:

Ing. Mg. Dávila Hurtado, Fredy (orcid.org/0000-0001-8604-8811)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Sistemas y Planes de Mantenimiento

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo económico, empleo y emprendimiento

CHICLAYO – PERÚ

2024

Declaratoria de autenticidad del asesor



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, DAVILA HURTADO FREDY, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, asesor de Tesis titulada: "Plan de Mantenimiento Preventivo (RCM) para incrementar la confiabilidad de la Línea Impresora Flexográfica en una empresa papelera", cuyos autores son CAPO GUTIERREZ DANIEL PASTOR, CHINGUEL CHINGUEL JHON IRFAN, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 15.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

CHICLAYO, 24 de Julio del 2024

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
DAVILA HURTADO FREDY DNI: 16670066 ORCID: 0000-0001-8604-8811	Firmado electrónicamente por: FRDAVILAH el 02-08- 2024 18:18:05

Código documento Trilce: TRI - 0833505

Declaratoria de originalidad del autor/ autores



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Declaratoria de Originalidad de los Autores

Nosotros, CAPO GUTIERREZ DANIEL PASTOR, CHINGUEL CHINGUEL JHON IRFAN estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Plan de Mantenimiento Preventivo (RCM) para incrementar la confiabilidad de la Línea Impresora Flexográfica en una empresa papelería", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
DANIEL PASTOR CAPO GUTIERREZ DNI: 73107378 ORCID: 0000-0002-2758-8479	Firmado electrónicamente por: DCAPOG el 24-07-2024 18:48:44
JHON IRFAN CHINGUEL CHINGUEL DNI: 75537319 ORCID: 0000-0002-5247-7009	Firmado electrónicamente por: JCHINGUELCH16 el 24-07-2024 22:43:19

Código documento Trilce: TRI - 0833504

Dedicatoria

El presente proyecto de investigación, lo dedico a mis padres Lidia Gutierrez De la Cruz y Hilario Capo Baldeón, quienes me inculcaron a ser una persona de bien y supieron con su ejemplo transmitirme principios morales y valores como el respeto, de los que me siento muy orgulloso.

También se lo dedico a mi hermana Janett Capo Gutierrez e sobrina Darely Becerra Capo, por su apoyo incondicional.

Daniel P. Capo Gutierrez

La presente tesis está dedicada a Dios por brindarnos sabiduría, inteligencia, salud y acompañarnos en esta trayectoria de la vida.

A mis padres por siempre ser el ejemplo de esfuerzo dedicación y tenacidad. A mi esposa María Palacios, compañera incondicional e hija Bella Chinguel quien es motivo de mi esfuerzo y superación día a día.

Jhon I. Chinguel Chinguel

Agradecimiento

Agradezco al Ing. Max Yauri García por haberme brindado todo su apoyo y asesoramiento para poder realizar este trabajo de investigación, agradezco a la Universidad Cesar Vallejo por abrirme las puertas de su casa y recibirme como estudiante de la carrera profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica y a mi asesor Dr. Fredy Dávila Hurtado, por guiarme con sus consejos y experiencia durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

Daniel P. Capo Gutierrez

Gracias a Dios por su perfecta voluntad en mi vida, Él siempre ha sido fiel.

A la Universidad Cesar Vallejo, por la oportunidad realizar este trabajo de investigación.

A mi buen amigo Daniel Capo Gutierrez, por su apoyo para la realización de este proyecto.

Jhon I. Chinguel Chinguel

Índice de contenidos

Declaratoria de autenticidad del asesor	i
Declaratoria de originalidad del autor/ autores	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimiento	iv
Índice de contenidos	v
Índice de tablas	vi
Resumen	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	9
II. METODOLOGÍA	20
III. RESULTADOS.....	23
IV. DISCUSIÓN.....	63
V. CONCLUSIONES.....	67
VI. RECOMENDACIONES	68
REFERENCIAS	69
ANEXOS	

Índice de tablas

Tabla 1. Resumen de Indicadores de la línea impresora flexográfica	25
Tabla 2. Tiempo medio entre fallos de línea impresora flexográfica - Año 2023	26
Tabla 3. Tiempo medio de reparación de la línea impresora flexográfica – Año 2023	27
Tabla 4. Disponibilidad de la línea impresora flexográfica – Año 2023	28
Tabla 5. Confiabilidad de la línea impresora flexográfica – Año 2023	29
Tabla 6. Número de fallas del mes de agosto 2023 en los equipos de línea impresora flexográfica	30
Tabla 7. Análisis de criticidad de la línea impresora flexográfica en relación con la consecuencia de los eventos de fallos.	31
Tabla 8. Análisis de criticidad de la línea impresora flexográfica en relación con el riesgo	32
Tabla 9. Tabla Criticidad de Equipos de la línea impresora flexográfica - Resumen	33
Tabla 10. Actividades de mantenimiento preventivo del Módulo Introdutor	35
Tabla 11. Actividades de mantenimiento preventivo de la Flexo 01-04	36
Tabla 12. Actividades de mantenimiento preventivo de la troqueladora	37
Tabla 13. Actividades de mantenimiento preventivo de la Plegadora	38
Tabla 14. Actividades de mantenimiento preventivo del Receptor de paquetes.	39
Tabla 15. Actividades de mantenimiento preventivo mensuales de Módulo Introdutor.....	40
Tabla 16. Actividades de mantenimiento preventivo mensuales del Flexo	41
Tabla 17. Actividades de mantenimiento preventivo mensuales de la Troqueladora.....	42
Tabla 18. Actividades de mantenimiento preventivo mensuales de la Plegadora	43
Tabla 19. Actividades de mantenimiento preventivo mensuales del Receptor de paquetes	44
Tabla 20. Formato de actividades Semestrales de la línea impresora flexográfica.	45
Tabla 21. Formato de informe de registro de actividades de mantenimiento.	46
Tabla 22. Formato de registro técnico de motores	47
Tabla 23. Programa de capacitación del Módulo Introdutor	48
Tabla 24. Programa de capacitación del flexo	49
Tabla 25. Programa de capacitación de la Plegadora.....	49
Tabla 26. Resumen de los Indicadores de Mantenimiento (teórica) de la línea impresora flexográfica	51
Tabla 27. Tiempo medio entre fallos (teórica) de la línea impresora flexográfica	52
Tabla 28. Tiempo medio de reparación (teórica) de la línea impresora flexográfica	53
Tabla 29. Disponibilidad (teórica) de la línea impresora flexográfica	54
Tabla 30. Confiabilidad (teórica) de la línea impresora flexográfica.....	55
Tabla 31. Inversión en la contratación de personal para el desarrollo del proyecto.....	56
Tabla 32. Inversión en útiles de escritorio para el desarrollo del proyecto	56
Tabla 33. Inversión en equipos de oficina escritorio para el desarrollo del proyecto.....	57
Tabla 34. Inversión en materiales para el desarrollo del proyecto.....	58
Tabla 35. Inversión en capacitación al personal para el desarrollo del proyecto.....	59
Tabla 36. Inversión total para el plan de mantenimiento preventivo	59
Tabla 37. Ingresos proyectados para los próximos cinco años de la línea impresora flexográfica	60
Tabla 38. Costos previstos para los próximos cinco años de la línea impresora flexográfica	60
Tabla 39. Flujo de caja proyectado para los próximos 5 años durante el desarrollo del proyecto.	61

Resumen

La investigación contribuye al desarrollo sostenible enfocándose en la creación de infraestructura resiliente, la promoción de la industrialización inclusiva y sostenible y la estimulación de la innovación. El objetivo fue diseñar un plan de mantenimiento preventivo (RCM) para incrementar la confiabilidad de la línea de impresión flexográfica en una empresa papelera. Se utilizó una metodología cuantitativa, de tipo aplicado y diseño no experimental. Se emplearon técnicas de observación y análisis documental, con sus instrumentos ficha de observación de campo y hojas de registro. La población fueron todas las líneas de impresión flexográfica de la empresa a nivel nacional y la muestra una línea de impresión flexográfica de la empresa papelera ubicada en Sullana (Piura). El diagnóstico actual fue disponibilidad 85.64% y confiabilidad 23.77%. Se utilizó análisis de criticidad, determinando equipos de alta criticidad: módulo introductor, flexo 1, plegadora y los de mediana criticidad: flexo 4, troqueladora y el receptor de paquetes. Las actividades se diseñaron con un periodo mensual, trimestral, semestral y anual. Los nuevos índices teóricos son disponibilidad 93.31% y confiabilidad 85.58%. Finalmente, se realizó una evaluación económica donde se obtuvo una inversión de S/. 165 697,56, con un VAN de S/. 120 848,01 y una TIR de 35,70%.

Palabras clave: Disponibilidad, mantenimiento, máquina

Abstract

Research contributes to sustainable development by focusing on the creation of resilient infrastructure, the promotion of inclusive, sustainable industrialization, and the stimulation of innovation. The objective was to design a preventive maintenance plan (rcm) to increase the reliability of the flexographic printing line in a paper company. It used a quantitative methodology, applied type and non-experimental design. Observation and documentary analysis techniques were used, with their field observation sheet instruments and record sheets. The population was all of the company's flexographic printing lines nationwide and the sample was a flexographic printing line of the paper company located in Sullana (Piura). The current diagnosis was availability 85.64% and reliability 23.77%. Criticality analysis was used, determining high criticality equipment: introducer module, flexo 1, folding machine and those of medium criticality: flexo 4, die-cutter and the package receiver. The activities designed with a monthly, quarterly, semiannual and annual period. The new theoretical indices are availability 93.31% and reliability 85.58%. Finally, an economic evaluation where an investment of S/. 165 697.56, with NPV of S/. 120,848.01 and an IRR of 35.70%.

Keywords: Availability, Maintenance, Machine

I. INTRODUCCIÓN

Las industrias siempre han buscado una estrategia hecha para la prevención de fallas en sus equipos, las soluciones de los planes de mantenimiento preventivo tienen la finalidad de garantizar el máximo rendimiento de los equipos, y que gracias a ellos evitamos anomalías antes de que estas sucedan.

Se llevó a cabo un estudio en una empresa situada en Piura, que enfrentó un problema con una línea de impresora flexográfica encargada de imprimir sobre una variedad de materiales como papel, cartón corrugado y empaques flexibles. Este contratiempo generó una baja confiabilidad de la impresora, resultado de la falta de continuidad en su funcionamiento del año 2023. Estos fallos generaron retrasos en las órdenes de trabajo y en su entrega, principalmente porque solo se realizaban reparaciones correctivas en la máquina y no se contaba con un programa de mantenimiento preventivo. Esta situación afectaba negativamente a la empresa, destacando así la importancia de nuestro estudio para mejorar la confiabilidad de la línea de impresión flexográfica mediante la implementación de un plan de mantenimiento preventivo. Esto ayudará a evitar paradas inesperadas y, en consecuencia, a mejorar los procesos productivos.

La investigación puede aportar al propósito de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible al centrarse en la creación de infraestructuras resistentes, el impulso de la industrialización inclusiva, sostenible, y el estímulo de la innovación. Esto puede contribuir a incrementar la investigación científica y mejorar la capacidad tecnológica de los sectores industriales en todos los países, especialmente en las vías de desarrollo. Además, al promover la innovación y aumentar significativamente el número de personas dedicadas a la investigación y desarrollo por cada millón de habitantes, así como el gasto tanto público como privado en investigación y desarrollo, el estudio puede apoyar de manera efectiva el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

De acuerdo a lo expresado, se formuló el problema de investigación: ¿En cuánto incrementa la confiabilidad de la Línea Impresora Flexográfica mediante un plan de mantenimiento preventivo (RCM) en una empresa papelera?

Este trabajo de investigación se justifica debido que la ejecución de un Plan de Mantenimiento Preventivo (RCM) para la Línea Impresora Flexográfica en una empresa papelera es esencial para garantizar la continuidad y eficiencia de la producción. Este enfoque proactivo busca evitar costosos paros no planificados, optimizando el uso de recursos como mano de obra y repuestos. Además, al identificar y abordar anticipadamente posibles fallas, se mejora la confiabilidad operativa de la maquinaria, cumpliendo con los plazos de entregables e incrementando la clientela. Asimismo, se reducen los costos asociados con reparaciones urgentes y pérdida de producción, contribuyendo a la estabilidad financiera de la empresa. Por último, la implementación de este plan no solo protege la maquinaria, sino también a los trabajadores al promover un entorno laboral más seguro cumpliendo con las normativas, estándares de calidad y seguridad del sector papelero.

El objetivo general de esta investigación fue:

Diseñar un plan de Mantenimiento Preventivo (RCM) para incrementar la confiabilidad de la Línea Impresora Flexográfica en una empresa papelera. El mismo que se consiguió estableciendo los siguientes objetivos específicos:

- Analizar la situación actual del proceso de impresión Flexográfica en la empresa papelera, determinando la confiabilidad de sus equipos.
- Identificar los equipos críticos del proceso de impresión basado en la metodología de Análisis por criticidad.
- Determinar las actividades de mantenimiento preventivo para disminuir fallas, elaborando los formatos de control, registro y supervisión correspondientes.
- Determinar los indicadores de confiabilidad teórica según lo establecido en el diseño del proyecto.
- Elaborar un análisis económico para determinar la viabilidad del proyecto usando como indicadores VAN y TIR.

Respecto a los antecedentes se tiene los siguientes estudios internacionales:

En una investigación en el sector Industrial en Papua New Guinea (Ben, Mohamed, Muduli 2021), estudiaron el efecto del mantenimiento preventivo sobre la confiabilidad de las máquinas pertenecientes a una planta embotelladora, se analizaron 33 equipos durante 06 meses de datos de mantenimiento en tiempo real. Con base en los eventos de avería obtenidos para cada máquina, se calcularon los valores de tasa de fallas (λ), tiempo medio entre fallas (MTBF) y tiempo medio de reparación (MTTR) para cada equipo, identificando 03 equipos críticos, diseñando un plan de mantenimiento preventivo autónomo. Como resultado, la fiabilidad del empacador de botellas aumentó de 55,30% a 70,80%, mientras que el inspector de botellas vacías (EBI) de 89,20% a 92% y paletizador aumentó de 87,20% a 90,50%, respectivamente. Se concluyó que para incrementar la confiabilidad fue necesario implementar un plan de mantenimiento preventivo a las máquinas críticas, con el objetivo de aumentar notablemente la capacidad productiva de la empresa, alargar la vida útil de los equipos estudiados, analizar el impacto en su durabilidad, minimizar la cantidad de fallos y optimizar la confiabilidad de los equipos.

En investigaciones a nivel internacional, se destaca el trabajo de (Martinez Monseco, Planagumá Vilamitjana 2021) quienes, en el sector energético en España, se propusieron identificar con exactitud el estado de los activos mediante el uso de herramientas combinadas de optimización del mantenimiento. Se llevó a cabo un estudio con una muestra no probabilística que incluyó 109 centrales hidroeléctricas y 203 grupos hidroeléctricos de la empresa Enel Green Power en España. Para el análisis se emplearon un AMFE, un análisis de criticidad, un análisis de ciclo de vida y el RCM. Esta investigación priorizó las acciones sobre los sistemas críticos de los activos físicos y aplicó estrategias de mejora en el mantenimiento, lo cual resultó en un aumento de los ingresos. Concluyeron que este método puede ser una base para mejorar los activos y aumentar las ganancias del negocio.

En investigaciones internacionales, encontramos a (Arteaga Bazurto, Gorozabel Chata 2021), quien en su estudio realizado en el sector industrial en Ecuador, se propuso implementar el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para los activos críticos de la Plaza Calderón. Para ello, se analizó una muestra no probabilística basada en el

registro de fallos de los equipos de la Plaza Calderón desde octubre de 2018 hasta septiembre de 2019. Los hallazgos de esta investigación indicaron que la disponibilidad de los equipos ha mejorado, pasando del 91,6% al 97%, y un aumento del MTBF de 92,3 horas a 475,2 horas, mejorando así la disponibilidad operativa de las vitrinas panorámicas de refrigeración. Se concluyó que el Plan RCM fue efectivo en reducir el índice de fallos de los activos críticos de la Plaza Calderón.

En los estudios internacionales, se encontró a (Alves dos Santos et al. 2021), en su estudio generado en Brasil, buscó examinar la confiabilidad del equipo de procesamiento de plástico, estudiando una muestra no probabilística de recopilación de datos sobre observaciones de fallas (TTF), en horas, entre el período comprendido de enero (2018) hasta abril (2019), de una máquina extrusora de una empresa de embalaje en Río Grande del Norte de Brasil, totalizando 57 observaciones. Para el estudio se aplicó un Análisis Weibull a través de un software estadístico. En esta investigación se confirmó las condiciones actuales de operatividad de la máquina, que el 50% de las fallas ocurren en la hora 100 de tiempo de operación. Se concluyó implementar un mantenimiento preventivo sistemático basado en ciclos de 100 h.

Asimismo, se tiene trabajos realizados a nivel nacional:

Respecto a este nivel, tenemos a (Uribe 2020), quien en su estudio ejecutado en el sector textil del Departamento de Lima, buscó aplicar un RCM a la máquina remalladora de una empresa textil, por ello se estudió una muestra conformada por los registros de fallos de la máquina remalladora en el periodo de julio a diciembre 2019. Para el estudio se aplicó un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM. Los resultados obtenidos de manera descriptiva fue una disponibilidad que alcanzó el 92%, un 18% más que la disponibilidad inicial. Se concluye que un plan de mantenimiento desarrollado con ayuda del RCM asegura la disponibilidad de la máquina y demuestra la importancia en el mantenimiento y la planificación.

Asimismo, (Daniel, Litzabeth 2020) quien, en su investigación realizada en el ámbito de la industria papelera del Departamento de Lima, buscó determinar en qué medida el mantenimiento enfocado en la confiabilidad mejora la eficacia total de las impresoras

flexográficas de una compañía del sector papelerero, empleando una muestra de estudio calculada mediante un análisis de criticidad. Se aplicó el análisis de criticidad basado en la teoría del riesgo. En esta investigación sus resultados se identificó la aplicación de RCM a equipos de alta (TCY I, TEXO y WARD I) y media criticidad (TCY II y LANGSTON) aumenta de OEE de 10,556%. Se concluyó que el mantenimiento enfocado en la confiabilidad mejora la eficacia general del sistema al implementarlo en equipos críticos.

Por otra parte, (Bances Enriquez, Llontop Paredes 2021), en su investigación se enfocaron en el sector industrial del Departamento de Lambayeque, donde en una planta metalmeccánica propusieron un plan de mantenimiento preventivo para aumentar la disponibilidad de equipos en Nave Armado. Se analizó una muestra no probabilística por conveniencia del área incluye todas las maquinarias y equipos mecánico-eléctricos. Se realizo planes de mantenimiento preventivo mediante actividades programadas con una frecuencia de mensual, trimestral, semestral y anual. Los resultados de la ejecución del plan preventivo lograron mejorar disponibilidad de los equipos, pasando del 85.9 % al 92.8 %, la propuesta del plan obtuvo VAN de \$ 6963 y TIR del 35.15 %. Se concluyó que el plan es rentable, aumentando la disponibilidad por ende la confiabilidad del equipo.

En el mismo contexto también, se encontró a (Arce Chávez 2022), quien en su estudio realizada en el departamento de Cajamarca, se creó un plan de mantenimiento para mejorar la confiabilidad de un camión minero Caterpillar 793F, por ello se estudió una muestra poblacional que fue las fallas más comunes en la baja confiabilidad del camión. Se empleó el tiempo medio hasta la reparación (MTTR), tiempo medio entre fallos (MTBF). En esta investigación se obtuvo un nuevo índice de confiabilidad teórica con pasando de 90,04% a 97.64%, además proyecto tiene VAN de S/. 97 843.6 y una TIR mensual de 5%. Se concluyó que para obtener una mayor confiabilidad en los equipos es necesario la implementación de un plan de mantenimiento preventivo, así mismo se demostró que su estudio fue viable económicamente.

Por último, encontramos a (Valdiviezo Cornejo 2023), en su investigación ejecutada en el sector industrial del Departamento de Piura, buscó mejorar la producción de alcachofa de la línea piloto proponiendo un plan RCM, por lo tanto, empleó como muestra los

registros de tiempos de junio del 2021 hasta junio del 2022. Para el estudio se aplicó el mantenimiento cerrado basado en la confiabilidad (RCM). En esta investigación se logró aumentar la disponibilidad 93% a 97% de la línea de producción, el MTBF aumentó de 1351 a 3,658 min/falla y el MTTR disminuyó 66 a 61 min/falla. Se concluyó el RCM con ayuda de incrementar la confiabilidad de equipos permitiendo la eficacia de la operabilidad de los procesos.

En cuanto a las bases teóricas del estudio, se define lo siguiente:

El mantenimiento, que son todas las actividades destinadas a mantener el proyecto o restaurarlo a una condición en la que pueda realizar la función requerida. Estas actividades incluyen una combinación adecuada de actividades técnicas y de gestión (Supriyanto, Kurniati, Supriyanto 2021) ; entre los tipos de mantenimientos se encuentra el mantenimiento preventivo, que se comprende por la antelación de alguna anomalía presentada en las máquinas logrando asegurar la operatividad de las mismas, de tal forma que se puede adelantar a la deficiencia venidera en los elementos de las máquinas (Chen et al. 2024); este es el mantenimiento realizado de acuerdo con un cronograma básico, generalmente actividades programadas regularmente, como inspección y reparación, reemplazo, limpieza, lubricación, ajuste y alineación. Además, los beneficios del mantenimiento preventivo incluyen reducir la probabilidad de fallas del equipo y extender la vida útil del equipo (Pei et al. 2023). Otro tipo de mantenimiento es el mantenimiento correctivo el cual se utiliza un conjunto de acciones diseñadas para reparar o solucionar las fallas o defectos detectados en las máquinas, las cuales son reportadas al área de mantenimiento por los propios operarios (De Oliveira et al. 2023).

En cuanto al mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) es un enfoque sistemático para la selección de estrategias de mantenimiento relevantes y adecuadas con el objetivo final de lograr la gestión agregada del ciclo de vida planificando las tareas de mantenimiento. Actualmente RCM se ubica en las metodologías de mantenimiento con mayor éxito en todo el mundo debido a que puede ser aplicada en cualquier tipo de industrias (Yang et al. 2020). Así también el RCM es un método para seleccionar las tareas de mantenimiento que ayuden a garantizar la confiabilidad del sistema, de igual

forma su uso se emplea como metodología para poder encontrar tareas de mantenimiento adecuadas para cada componente minimizando el periodo de tiempo inoperable de la máquina (Supriyanto, Kurniati, Supriyanto 2021). El proceso RCM se realizan 7 preguntas que responde lo siguiente: Estándares de funcionamiento, fallas funcionales, modos de falla, efectos de falla, consecuencias de falla, tareas proactivas, y acciones predeterminadas, convirtiéndose una metodología que se apoya en la disponibilidad y confiabilidad de la máquina y seguridad. (Arenhart et al. 2020)

El promedio de tiempo entre fallos (MTBF) es un indicador técnico que mide el tiempo promedio durante el cual un equipo puede funcionar sin interrupciones (Al-Duais et al. 2022).

El tiempo medio de reparación (MTTR), es un indicador que evalúa el tiempo medio requerido para restaurar un componente a una condición operativa adecuada después de una falla (Pengfei, Weiping, Yongping 2021).

La disponibilidad es la capacidad de operar correctamente en el momento necesario tras el inicio de su funcionamiento, utilizándose en un entorno estable. Es un porcentaje que indica el tiempo en el cual un activo estuvo accesible para un proceso operativo, siempre cumpliendo con parámetros de calidad y seguridad previamente establecidos (Koohsari et al. 2022).

En cuanto a la confiabilidad es la capacidad del sistema para lograr una tarea bajo ciertas condiciones y dentro de un intervalo de tiempo determinado. Si el sistema puede realizar una determinada tarea durante un período de tiempo más largo, es más confiable. Por ende, podemos identificar las diversas condiciones y modos de operación esperados, así como el uso y no uso de los sistemas, subsistemas, equipos, componentes, etc., son muy importantes en cada fase específica de un diseño. Para la confiabilidad se requiere conocer el tiempo medio entre fallos, el cual nos ayuda a conocer la tasa de fallas λ (Ben, Mohamed, Muduli 2021). No obstante, es una característica de un equipo o máquina, expresada como la probabilidad de realizar sus reglas respecto a sus condiciones en un periodo de tiempo determinado. Viendo de manera cualitativa, también se puede definir como la capacidad del dispositivo para

mantener la funcionalidad. Cuantitativamente, indica la probabilidad de que no se produzca un corte en un intervalo de tiempo determinado (Sa'ad, Nyoungue, Hajej 2021). Por otra parte, la confiabilidad consiste en analizar la frecuencia de errores en un determinado período de tiempo; si no hay errores, el dispositivo es completamente fiable; si la tasa de fallos es muy baja, la fiabilidad del dispositivo es aceptable; pero si la tasa de falla es muy alta, el dispositivo no es confiable (Qin, Li 2020).

Análisis de criticidad, es una metodología para categorizar equipos y sistemas, tomando en cuenta su impacto total, con el fin de facilitar la toma de decisiones. Este análisis permite identificar las áreas que requieren especial atención durante el mantenimiento, en función del proceso que realiza el activo físico (Cutipa Cesinarro 2023).

Ecuación 1. Criticidad total por Riesgo

$$CTR = FF \times C$$

Donde:

CTR: Criticidad total por Riesgo (Análisis por Criticidad basado en la teoría del riesgo).

FF: Frecuencia de fallos (rango de fallos en un tiempo determinado (fallos/año.

C: Consecuencia de los eventos de fallos.

Ecuación 2. Frecuencia de fallos.

$$FF = \sum \text{Fallas en un tiempo determinado.}$$

Ecuación 3. Consecuencia de los eventos de fallos.

$$C = (IO \times FO) + CM + SHA + IC$$

Donde:

C: Consecuencia de los eventos de fallos.

IO: Impacto Operacional.

FO: Flexibilidad Operacional.

CM: Costo de Mantenimiento.

SAH: Impacto en la seguridad, higiene y ambiente.

IC: Impacto a la Calidad.

Ecuación 4. El tiempo medio entre fallos (MTBF)

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo total de operación}}{\textit{Nº de fallas}}$$

Ecuación 5. Tiempo medio de reparación (MTTR)

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo total para restaurar}}{\textit{Nº de fallas}}$$

Ecuación 6. Disponibilidad

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100$$

Donde:

D: Disponibilidad.

MTBF: Tiempo medio entre fallos.

MTTR: Tiempo medio de reparación.

Ecuación 7. Confiabilidad

$$C(t) = e^{-\lambda t}$$

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

Donde el λ es el inverso del MTBF, y el tiempo será determinado en $t=1$ mes.

Donde:

C(t): Confiabilidad.

λ : Tasa de fallas.

t: Tiempo (Seguir la unidad del MTBF).
e: 2.7182 (# de Euler).

Ecuación 8. VAN Y TIR

Valor Actual neto

$$VAN = -I0 + \frac{fc1}{(1+r)} + \frac{fc1}{(1+r)^2} + \dots + \frac{fcn}{(1+r)^n}$$

Donde:

VAN: Valor actual neto o valor presente neto.

I0: Desembolso inicial.

fc: Flujo de caja o valor neto activo.

r: Tasa de descuento.

n: Duración de inversión.

Tasa Interna de Retorno

$$VAN = -I0 + \frac{fc1}{(1+r)} + \frac{fc1}{(1+r)^2} + \dots + \frac{fcn}{(1+r)^n} = 0$$

TIR > COK la financiación es aceptable.

TIR = COK la financiación es indiferente.

TIR < COK la financiación es rechazada.

Actualmente las empresas industriales controlan y mantienen sus equipos debido a que tienen como objetivo principal brindar un producto tangible, por ello realizan mantenimientos preventivos de los cuales están diseñados para lograr varios beneficios como reducción de costos, tiempo y aumento de productividad (Pereira et al. 2023).

En América del Norte, en el país de México, se registran que más del 50% de las empresas del sector industrial manufacturero, sus maquinarias muestran una confiabilidad baja esto debido a la poca preocupación del personal en aplicar

metodologías de mejora o prevención, ya que muchas veces estos equipos sufren fallas técnicas por consecuencia del uso diario, falta de limpieza, etc. (Pillado Portillo, Castillo Pérez, De La Riva Rodríguez 2022).

Uno de los aspectos más importantes de administrar un negocio exitoso es garantizar que todos los equipos y maquinaria reciban el mantenimiento adecuado. Sin embargo, muchas empresas tienden a pasar por alto la importancia del mantenimiento preventivo, lo que genera una serie de problemas que pueden alterar las operaciones y obstaculizar la productividad (Putri, Taufik, Buana 2020).

Cuando una empresa industrial no implementa o descuida el mantenimiento preventivo, puede experimentar una serie de inconvenientes. En primer lugar, la falta de mantenimiento puede resultar en una disminución en la eficiencia y la productividad de los equipos, lo que se traduce en costos adicionales y una menor rentabilidad para la empresa (Alamri, Mo 2023).

Las empresas, actualmente, cuentan con planificación integrada entre las tres funciones principales de la gestión de planta: mantenimiento, programación de producción y calidad. Sabemos que durante el periodo de trabajo las máquinas están propensas a sufrir fallas mecánicas originando una disminución de su confiabilidad, la falta de mantenimiento hace que reduzca el tiempo de utilidad de los equipos aumentando el riesgo de averías y fallas inesperadas en los equipos, lo que puede provocar paradas de producción no planificadas y retrasos en la entrega de productos o servicios. (Tambe, Kulkarni 2022).

Es fundamental que las empresas reconozcan la importancia de implementar un programa de mantenimiento preventivo, la falta de la implementación puede ocasionar daños mayores en los equipos y maquinarias de la empresa. Si no se detectan y solucionan a tiempo los problemas menores, estos pueden evolucionar y generar daños más costosos de reparar o incluso requerir la sustitución completa del equipo, concluyendo con graves repercusiones tanto a nivel económico como operativo. (Alhamad, Alkhezi, Alhajri 2022).

II. METODOLOGÍA

Este estudio es de tipo aplicada porque busca aplicar conocimientos y métodos existentes para resolver problemas específicos y prácticos en el contexto operativo de una empresa papelera, con resultados que mejoran directamente la confiabilidad y eficiencia de una maquinaria crítica en la producción (Arias Gonzales, Covinos Gallardo 2021). De igual forma es de enfoque cuantitativo porque se basa en la recolección y análisis de datos numéricos para evaluar y mejorar la confiabilidad de la línea impresora flexográfica, utilizando métodos estadísticos y objetivos para obtener resultados precisos y replicables (Arias Gonzales, Covinos Gallardo 2021). Por último, este estudio es no experimental con enfoque transversal porque no implica la manipulación o intervención directa en la línea de producción de la empresa papelera para probar diferentes variables o condiciones. En cambio, se enfoca en diseñar un plan de Mantenimiento Preventivo utilizando la metodología RCM con el objetivo de incrementar la confiabilidad de la Línea Impresora Flexográfica. En lugar de realizar experimentos directos, se llevará a cabo un diseño teórico y planificado de un sistema de mantenimiento para incrementar la fiabilidad del equipo, sin modificar las condiciones operativas existentes en la empresa.

En esta investigación, se consideró como variable independiente el RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad). Según (Song, Zhang, Lind 2023), el RCM es un procedimiento empleado para establecer qué acciones deben tomarse para garantizar que cualquier elemento físico siga operando según lo exigido por sus usuarios en el entorno operativo actual. Las dimensiones de esta variable son la situación actual del equipo, la criticidad de los equipos y la planificación. Por otro lado, la variable dependiente es la confiabilidad, definida como un indicador de la gestión de mantenimiento. Según (Sa'ad, Nyoungue, Hajej 2021), la confiabilidad es la probabilidad de que un equipo realice su función específica dentro de un período de tiempo determinado y bajo condiciones de operación establecidas. Las dimensiones de esta variable son el tiempo medio entre fallas y el tiempo medio de reparación. Todo esto se evidencia en la matriz de operacionalización de variables el cual se evidencia en el ANEXO 1.

En este proyecto, la población está conformada por la totalidad de las líneas de impresoras flexográficas de la empresa a nivel nacional. En este estudio, la muestra está conformada por una línea de impresión flexográfica de la empresa papelera ubicada en Sullana, Piura, en el año 2023. Además; en la fase de investigación, se optó por utilizar un enfoque de muestreo no probabilístico, específicamente el muestreo intencional, con el objetivo de seleccionar participantes o muestras que se consideran más representativas o relevantes para el estudio en cuestión.

La unidad de análisis seleccionada para este estudio fue específicamente las máquinas pertenecientes a la línea de impresora Flexográfica. Estas máquinas, fundamentales dentro del proceso de impresión flexográfica, fueron objeto de un análisis exhaustivo con el fin de comprender su funcionamiento, identificar posibles áreas de mejora y evaluar su rendimiento en relación con los objetivos de producción y calidad establecidos. Al centrar la atención en estas unidades específicas, se pudo obtener una visión detallada y precisa de su desempeño, lo que facilitó la identificación de oportunidades de optimización y la toma de decisiones informadas para la mejora continua del proceso productivo.

Según (Tamayo Ly, Silva Siesquén 2020), la técnica es un enfoque directo que permite al sistema registrar de manera precisa y fiable el comportamiento de las variables en estudio, lo cual es fundamental para la investigación. En este trabajo de investigación se emplearon diversas técnicas para recopilar datos. En primer lugar, se utilizó la técnica de la observación, la cual proporciona información objetiva y detallada sobre las características de la unidad de estudio y las variables contempladas en este análisis. Esta técnica permitió obtener una visión directa y concreta de los aspectos relevantes del objeto de estudio. Además, se aplicó la técnica de análisis documental, que consiste en la recopilación de datos a partir de fuentes secundarias como boletines, libros, revistas, periódicos y folletos. Estas fuentes fueron fundamentales para obtener información complementaria y contextual sobre las variables requeridas para el estudio, enriqueciendo el análisis con una perspectiva más amplia y fundamentada.

Para la técnica de la observación se aplicó el instrumento de ficha de observación o de campo, mientras que para la técnica de análisis documental se utilizó la ficha de registro

de datos. La ficha de observación de campo se encargó de registrar los tiempos de paradas por mantenimiento; para la toma de tiempos se utilizaron recursos auxiliares como horómetros, el cuaderno de informe a cargo del técnico electromecánico de turno y una computadora para registrar y controlar toda la data observada. La ficha de registro de datos recopiló la información de los registros de producción y órdenes de trabajo de mantenimiento.

Para el análisis de los datos recogidos se empleó un enfoque multifacético. Se diseñaron tablas de datos utilizando el software Microsoft Excel, lo que permitió organizar la información de manera sistemática y facilitar su posterior procesamiento. Además, se llevó a cabo la tabulación de los registros correspondientes a las condiciones de operación de las diversas máquinas, con el fin de establecer un control detallado y analizar la criticidad de cada una de ellas. Este proceso resultó esencial para evaluar el funcionamiento de las máquinas y determinar posibles áreas de mejora en su desempeño.

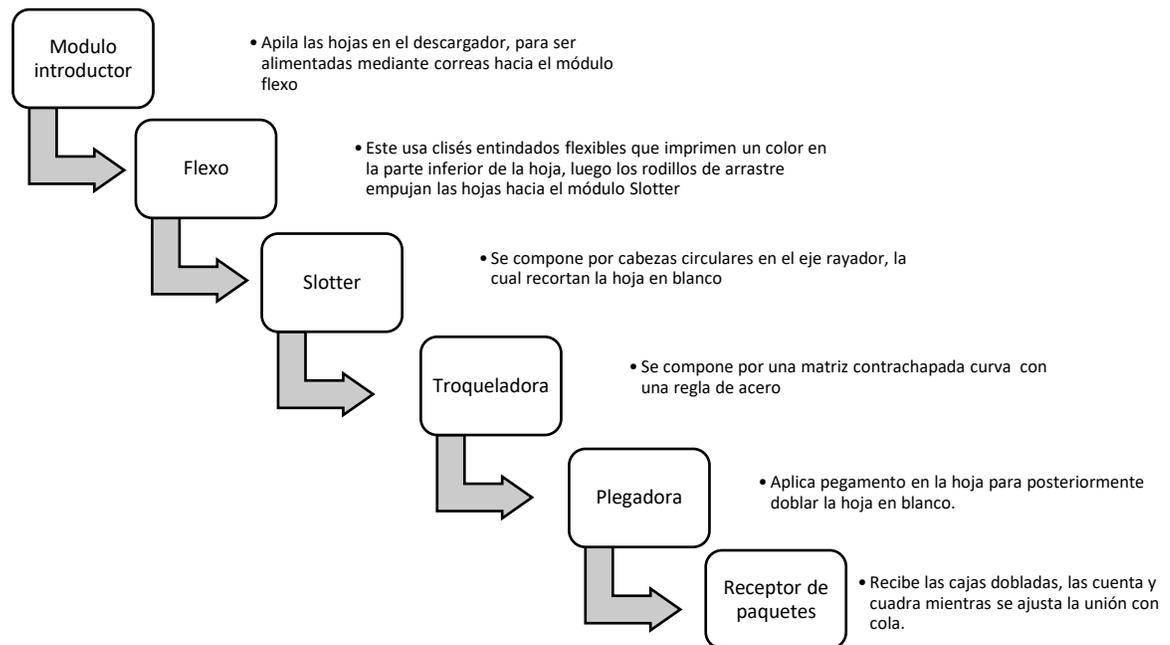
De acuerdo con los lineamientos establecidos por la Universidad César Vallejo, que regulan las prácticas idóneas y salvaguardan los principios éticos de este proyecto de investigación, velando por el bienestar y la autonomía de los participantes, los aspectos morales considerados son: Autonomía, benevolencia y honestidad. La Autonomía: El presente informe de investigación exhibe la aplicación del método científico. Asimismo, los científicos establecieron ciertos criterios de investigación, tomando en cuenta la realidad observada. Benevolencia: Los beneficios se centran principalmente en una propuesta de un plan de mantenimiento lo que genera una mejora en la confiabilidad, lo que resulta en mayores ganancias económicas. Honestidad: Los hallazgos se presentaron fielmente de acuerdo a lo observado en la empresa, conforme a los procedimientos llevados a cabo.

III. RESULTADOS

- O.1: Analizar la situación actual del proceso de impresión Flexográfica en la empresa papelera, determinando la confiabilidad de sus equipos.

La impresora flexográfica en la empresa papelera está compuesta por varios módulos, cada uno de los cuales realiza una o más operaciones en un flujo continuo. Esta máquina tiene la capacidad de realizar múltiples funciones esenciales para la fabricación de cajas y embalajes internos, tales como imprimir, cortar con matriz, cortar, rayar, doblar y pegar con cola. La mayoría de los controles y operaciones se gestionan desde el lado del operador de la máquina, mientras que en el lado de transmisión se encuentran los motores, líneas eléctricas, líneas de aire y equipos energizados. A continuación, se detallan las funciones específicas de cada módulo de la máquina:

Figura 1. Funciones de los módulos de la máquina



Este conjunto de módulos y sus respectivas funciones permiten que la impresora flexográfica opere de manera eficiente, asegurando la producción continua de cajas y embalajes de alta calidad.

No obstante, en la línea impresora flexográfica se han identificado diversas fallas en sus módulos, lo que requiere atención y mantenimiento específicos.

Se realizaron cálculos para determinar la situación actual respecto a los indicadores de mantenimiento respecto a la línea impresora flexográfica del año 2023, siguiendo las ecuaciones 4,5,6,7 respectivamente. En la Tabla 1, se presentaron un resumen de los indicadores de la investigación.

Tabla 1. Resumen de Indicadores de la línea impresora flexográfica

LÍNEA DE LA IMPRESORA FLEXOGRÁFICA - AÑO 2023	TIEMPO TOTAL DE OPERACIÓN (hr)	CANTIDAD DE FALLAS		(#) TOTAL DE FALLAS	CANTIDAD DE HORAS PERDIDAS		TIEMPO TOTAL PARA RESTAURAR	λ	MTBF (hr)	MTTR (hr)	D %	C(t), t=24, (%)
		(#) Fallas Eléctricas	(#) Fallas Mecánicas		Fallas Eléctricas	Fallas Mecánicas						
ENERO	631.91	11	22	33	31.24	56.85	88.09	0.052	19.15	2.67	87.77	28.56
FEBRERO	609.61	13	28	41	44.06	66.33	110.39	0.067	14.87	2.69	84.67	19.91
MARZO	610.32	12	17	29	43.07	66.61	109.68	0.048	21.05	3.78	84.77	31.97
ABRIL	613.49	16	21	37	44.19	62.32	106.51	0.060	16.58	2.88	85.21	23.52
MAYO	621.04	17	24	41	37.28	61.68	98.96	0.066	15.15	2.41	86.26	20.51
JUNIO	610.32	19	23	42	43.07	66.61	109.68	0.069	14.53	2.61	84.77	19.18
JULIO	620.56	12	27	39	42.59	56.85	99.44	0.063	15.91	2.55	86.19	22.13
AGOSTO	632.11	9	21	30	36.65	51.24	87.89	0.047	21.07	2.93	87.79	32.01
SEPTIEMBRE	609.47	15	31	46	46.17	64.36	110.53	0.075	13.25	2.40	84.65	16.34
OCTUBRE	607.17	14	18	32	46.66	66.17	112.83	0.053	18.97	3.53	84.33	28.23
NOVIEMBRE	612.72	13	29	42	42.59	64.69	107.28	0.069	14.59	2.55	85.10	19.30
DICIEMBRE	620.52	10	21	31	41.60	57.88	99.48	0.050	20.02	3.21	86.18	30.15
TOTAL	7399.24	161	282	443	499.17	741.59	1240.76	0.060	16.70	2.80	85.64%	23.77%

Fuente: empresa papelera.

Por lo tanto, se dio a conocer el MTBF, siguiendo la Ecuación 4; lo cual se evidencia en la Tabla 2. Esto con la finalidad de identificar la confiabilidad y disponibilidad de la línea impresora flexográfica.

Tabla 2. *Tiempo medio entre fallos de línea impresora flexográfica - Año 2023*

TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLOS (MTBF)				$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de operación}}{\text{Nº de fallas}}$	
PERÍODO 2023	TIEMPO TOTAL DE OPERACIÓN (hr)	CANTIDAD DE FALLAS		(#) TOTAL DE FALLAS	MTBF (hr)
		(#) Fallas Eléctricas	(#) Fallas Mecánicas		
ENERO	631.91	11	22	33	19.15
FEBRERO	609.61	13	28	41	14.87
MARZO	610.32	12	17	29	21.05
ABRIL	613.49	16	21	37	16.58
MAYO	621.04	17	24	41	15.15
JUNIO	610.32	19	23	42	14.53
JULIO	620.56	12	27	39	15.91
AGOSTO	632.11	9	21	30	21.07
SEPTIEMBRE	609.47	15	31	46	13.25
OCTUBRE	607.17	14	18	32	18.97
NOVIEMBRE	612.72	13	29	42	14.59
DICIEMBRE	620.52	10	21	31	20.02
TOTAL	7399.24	161	282	443	16.70

Fuente: empresa papelera.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de operación}}{\text{Nº de fallas}} = \frac{7399.24}{443} = 16.70 \text{ horas.}$$

En la Tabla 2, nos dio a conocer el MTBF de línea impresora flexográfica, respecto a su situación actual durante el año 2023 fue 16.70 horas. Así mismo se mostró variaciones significativas, los valores que oscilan entre el 13.25 y el 21.07 horas, demostrando fallas constantes durante el proceso, requiriendo una aplicación de un plan de mantenimiento preventivo, que al aplicarlo tendrá como consecuencia del aumento del MTBF en los equipos.

Así mismo, se dieron a conocer el MTTR, siguiendo la Ecuación 5; lo cual se evidencia en la Tabla 3. Esto con la finalidad de identificar la disponibilidad actual de la línea impresora flexográfica.

Tabla 3. *Tiempo medio de reparación de la línea impresora flexográfica – Año 2023*

TIEMPO PROMEDIO EN REPARACIÓN (MTTR)			$MTTR = \frac{\text{Tiempo total para restaurar}}{\text{Nº de fallas}}$		
PERÍODO 2023	CANTIDAD DE HORAS PERDIDAS		TIEMPO TOTAL PARA RESTAURAR	(#) TOTAL DE FALLAS	MTTR (hr)
	Fallas Eléctricas	Fallas Mecánicas			
ENERO	31.24	56.85	88.09	33.0	2.67
FEBRERO	44.06	66.33	110.39	41.0	2.69
MARZO	43.07	66.61	109.68	29.0	3.78
ABRIL	44.19	62.32	106.51	37.0	2.88
MAYO	37.28	61.68	98.96	41.0	2.41
JUNIO	43.07	66.61	109.68	42.0	2.61
JULIO	42.59	56.85	99.44	39.0	2.55
AGOSTO	36.65	51.24	87.89	30.0	2.93
SEPTIEMBRE	46.17	64.36	110.53	46.0	2.40
OCTUBRE	46.66	66.17	112.83	32.0	3.53
NOVIEMBRE	42.59	64.69	107.28	42.0	2.55
DICIEMBRE	41.60	57.88	99.48	31.0	3.21
TOTAL	499.17	741.59	1240.76	443	2.80

Fuente: empresa papelera.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total para restaurar}}{\text{Nº de fallas}} = \frac{1240.76}{433} = 2.80 \text{ horas.}$$

En la Tabla 3 nos dio a conocer el MTTR de línea impresora flexográfica respecto a su situación actual durante el año 2023, la cual fue un promedio de 2.80 horas, mostró variaciones significativas, con valores de 2.40 y 3.78 horas.

Así mismo, se dio a conocer la disponibilidad, siguiendo la Ecuación 6; lo cual se evidencia en la Tabla 4. Esto con la finalidad de determinar la situación actual de la línea impresora flexográfica con respecto a la disponibilidad en el año 2023.

Tabla 4. Disponibilidad de la línea impresora flexográfica – Año 2023

DISPONIBILIDAD			$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100\%$
PERÍODO 2023	MTBF (hr)	MTTR (hr)	D (%)
ENERO	19.15	2.67	87.77
FEBRERO	14.87	2.69	84.67
MARZO	21.05	3.78	84.77
ABRIL	16.58	2.88	85.21
MAYO	15.15	2.41	86.26
JUNIO	14.53	2.61	84.77
JULIO	15.91	2.55	86.19
AGOSTO	21.07	2.93	87.79
SEPTIEMBRE	13.25	2.40	84.65
OCTUBRE	18.97	3.53	84.33
NOVIEMBRE	14.59	2.55	85.10
DICIEMBRE	20.02	3.21	86.18
TOTAL	16.70	2.80	85.64 %

Fuente: elaboración propia.

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100 = \frac{16.70}{16.70 + 2.80} \times 100 = 85.64\%$$

En la Tabla 4 nos dio a conocer la disponibilidad de la línea impresora flexográfica en el año 2023, mostró variaciones significativas, con valores de 84.33% y 87.79%. Estos resultados indican el porcentaje de tiempo durante el cual la máquina estuvo operativa y disponible para su uso, además de estar en un rango por debajo del 90%, demostrando la falta de un plan de mantenimiento preventivo para reducir el tiempo de inactividad. Así mismo, se determinó la confiabilidad de la línea, siguiendo la Ecuación 7; que se evidencia en la Tabla 5. Esto con la finalidad de evaluar la situación actual de la máquina, respecto a su confiabilidad y tasa de fallas mensual.

Tabla 5. Confiabilidad de la línea impresora flexográfica – Año 2023

CONFIABILIDAD				$C(t) = e^{-\lambda t}$
PERÍODO 2023	NÚMERO DE EULER	MTBF (hr)	λ	C(t), t=24, (%)
ENERO	2.718	19.15	0.052	28.56
FEBRERO	2.718	14.87	0.067	19.91
MARZO	2.718	21.05	0.048	31.97
ABRIL	2.718	16.58	0.060	23.52
MAYO	2.718	15.15	0.066	20.51
JUNIO	2.718	14.53	0.069	19.18
JULIO	2.718	15.91	0.063	22.13
AGOSTO	2.718	21.07	0.047	32.01
SEPTIEMBRE	2.718	13.25	0.075	16.34
OCTUBRE	2.718	18.97	0.053	28.23
NOVIEMBRE	2.718	14.59	0.069	19.30
DICIEMBRE	2.718	20.02	0.050	30.15
TOTAL	2.718	16.70	0.060	23.77%

Fuente: elaboración propia.

$$Tasa\ de\ Fallas: \lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{16.70} = 0.060$$

$$Confiabilidad = e^{-\lambda t} = 2.718^{-0.060 \times 24h} = 23.77\%$$

Por último Tabla 5, se detalló la confiabilidad de la línea impresora flexográfica, respecto al año 2023, la cual fue 23.77% demostró la baja confiabilidad del sistema. Así mismo los valores que oscilan entre el 16.34% y el 32.01% durante el año 2023, por lo que se recomienda la aplicación de un plan de mantenimiento.

- O.2: Identificar los equipos críticos del proceso de impresión basado en la metodología de Análisis por criticidad.

Para identificar los equipos críticos del proceso de impresión flexográfica, se utilizó la metodología de Análisis por Criticidad basado en la teoría del riesgo. Este enfoque sistemático permite evaluar y clasificar los equipos según su impacto en la operación general y la producción, esto siguiendo la ecuación 1,2 y 3 y el Anexo 7 con la finalidad de calcular el nivel de riesgo y el grado de criticidad.

Para el desarrollo se tomó en cuenta el mes con la mayor cantidad de fallas, siendo el mes de septiembre del año 2023, en la Tabla 6 se detalló el número de fallas de cada equipo de la línea impresora flexográfica.

Tabla 6. *Número de fallas del mes de agosto 2023 en los equipos de línea impresora flexográfica*

SEPTIEMBRE - 2023	# FALLAS
MÓDULO INTRODUTOR	10
FLEXO 1	10
FLEXO 2	1
FLEXO 3	0
FLEXO 4	7
SLOTTER	0
TROQUELADORA	4
PLEGADORA	10
RECEPTOR DE PAQUETES	4
TOTAL	46

Fuente: empresa papelera.

En la Tabla 6, se dio a conocer que el mes de septiembre del año 2023, se tuvo una totalidad de 46 fallas en la línea impresora flexográfica, dicha tabla será empleada para el desarrollo de la Tabla 8 para determinar el análisis por criticidad.

Tabla 7. *Análisis de criticidad de la línea impresora flexográfica en relación con la consecuencia de los eventos de fallos.*

EQUIPOS DE LA LÍNEA IMPRESORA FLEXOGRÁFICA	FO	IO	SHA	IC	CM	C
MÓDULO INTRODUTOR	3	7	5	3	4	33
FLEXO 1	4	7	7	2	3	40
FLEXO 2	2	3	5	1	2	14
FLEXO 3	2	3	5	1	2	14
FLEXO 4	3	7	5	1	2	29
SLOTTER	1	3	5	1	1	10
TROQUELADORA	4	5	7	2	4	33
PLEGADORA	4	5	5	2	3	30
RECEPTOR DE PAQUETES	4	5	7	2	4	33

Fuente: elaboración propia.

$$C = (IO \times FO) + CM + SHA + IC$$

$$C = (7 \times 3) + 4 + 5 + 3 = 33$$

En la Tabla 7, nos mostró que especialmente Flexo 1, la plegadora, el módulo introductor, la troqueladora y el receptor de paquetes. Estos módulos representan los mayores riesgos potenciales en relación con la consecuencia de los eventos de fallos de la línea de impresión flexográfica, evitando la operación eficiente. Por otro lado, los equipos con baja consecuencia, como Flexo 2 - 3 y el Slotter, requieren menos atención, pero su monitoreo continuo sigue siendo crucial para mantener una operación sin problemas. Este enfoque sistemático asegura que los recursos de mantenimiento y supervisión se asignen de manera efectiva para minimizar el riesgo y maximizar la productividad.

Tabla 8. Análisis de criticidad de la línea impresora flexográfica en relación con el riesgo

EQUIPOS DE LA LINEA IMPRESORA FLEXOGRÁFICA	C	FF	CTR	
MÓDULO INTRODUTOR	33	4	132	Alta criticidad
FLEXO 1	40	4	160	Alta criticidad
FLEXO 2	14	1	14	Baja criticidad
FLEXO 3	14	1	14	Baja criticidad
FLEXO 4	<u>29</u>	<u>3</u>	87	Media criticidad
SLOTTER	10	1	10	Baja criticidad
TROQUELADORA	33	2	66	Media criticidad
PLEGADORA	30	4	120	Alta criticidad
RECEPTOR DE PAQUETES	33	2	66	Media criticidad

Fuente: elaboración propia.

$$CTR = FF \times C$$

$$CTR = 44 \times 3 = 132$$

Asimismo, la Tabla 8 detalla el análisis de criticidad de los equipos de la línea impresión flexográfica, muestra una variación significativa en el riesgo (CTR) asociado con cada módulo, basado en la combinación de consecuencia y frecuencia de fallas. Este análisis permite priorizar los esfuerzos de mantenimiento y supervisión para asegurar una operación eficiente y minimizar interrupciones.

Por último, en la Tabla 9 que nos revela que la Flexo 1, la plegadora y el módulo introductor son los equipos con mayor riesgo en la línea de impresión flexográfica. Estos equipos requieren una atención prioritaria para el mantenimiento y la supervisión para minimizar interrupciones y maximizar la productividad, estos módulos representan los mayores riesgos potenciales para la operación eficiente de la línea de impresión flexográfica. Los equipos de media criticidad, como Flexo 4, la troqueladora y el receptor de paquetes, también necesitan un enfoque regular de mantenimiento, aunque con menor urgencia. Los equipos de baja criticidad, aunque menos impactantes, deben seguir siendo monitoreados para asegurar que su rendimiento no afecte la operación

general. Este enfoque equilibrado asegura que los recursos se asignen de manera efectiva, priorizando los equipos más críticos y manteniendo una operación eficiente y confiable.

Tabla 9. *Tabla Criticidad de Equipos de la línea impresora flexográfica - Resumen*

FRECUENCIA	4			PLEGADORA	MÓDULO INTRODUCTOR / FLEJO 1		
	3			FLEJO 4 /			
	2	SLOTTER			TROQUELADORA / RECEPTOR DE PAQUETES		
	1		FLEJO II / FLEJO III				
	10	20	30	40	50	60	
CONSECUENCIA							

Fuente: elaboración propia.

En general, los resultados del análisis de criticidad destacan la necesidad de priorizar el mantenimiento y la supervisión de los equipos con alto riesgo.

- O.3: Determinar las actividades de mantenimiento preventivo para disminuir fallas, elaborando los formatos de control, registro y supervisión correspondientes.

El procedimiento anterior fue la base para elaborar un conjunto de actividades tomando en cuenta los equipos con alta y media criticidad, estas actividades fueron registradas y distribuidas en formatos correspondientes para su supervisión, control y archivo, en ellos se detalla las actividades a realizar, la frecuencia con la que se realiza y el personal que está a cargo.

Para tener un registro de las actividades de mantenimiento preventivo con una periodicidad mensual, trimestral, semestral y anual, como se visualiza en las tablas 10,11,12,13 y 14.

Tenemos las actividades preventivas durante un periodo mensual de los equipos alta y media criticidad, se muestra en la tabla 15,16,17,18, 19 las cuales están diseñadas para aumentar los indicadores de mantenimiento.

Así mismo tenemos las actividades realizadas con una periodicidad semestral de los equipos de alta y media criticidad pertenecientes a la línea de impresión flexográfica, se muestra en la tabla 20.

Por otro lado, tener un registro, control, histórico de las actividades de mantenimiento mencionadas, se hizo necesario la formulación, elaboración de formatos de registro de actividades que contengan informaciones relevantes de las mismas, se dio a conocer en la tabla 21, y 22

Por último, tenemos los formatos de capacitaciones realizadas para equipos de alta criticidad, se dio a conocer en las tablas 23,24 y 25.

Tabla 10. Actividades de mantenimiento preventivo del Módulo Introdutor

Mantenimiento de línea impresora flexográfica				
EQUIPO	COMPONENTE	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	PERS - HORAS	FREC.
Introdutor	Sensor de atasco	Calibración y pruebas de sensibilidad al sensor	1P - 1H	1 MESES
		Cambio de sensor por pérdida de sensibilidad	1P - 1H	12 MESES
	Tablero de fuerza	Limpieza y ajuste de componentes eléctricos	1P - 1H	1 MESES
		Medición de tensión, amperaje y puesta a tierra	1P - 1H	1 MESES
		Revisión de estado de componentes eléctricos	1P - 1H	6 MESES
		Cambio de circuito de fuerza (contactores)	1P - 3H	12 MESES
	Rodillo de presión de jebe	Verificar paralelismo o necesario mover excéntrica	2P - 2H	3 MESES
		Referenciar rodillo al punto cero	2P - 1H	6 MESES
		Revisión de desgaste del rodillo	1P - 1H	6 MESES
		Cambio de rodillo de jebe	2P - 4H	12 MESES
	Sistema de alimentación	Revisión de electroválvulas o fugas de aire	2P - 2H	3 MESES
		Revisión de desgaste de polea	2P - 2H	6 MESES
		Revisión de desgaste de banda	2P - 2H	6 MESES
		Cambio de polea y banda	2P - 4H	12 MESES
	Motor eléctrico de vacío	Limpieza de ventilación forzada, ajuste de soporte de base y lubricar los rodamientos	1P - 1H	1 MESES
		Mediciones de aislamiento, tensión y amperaje	1P - 1H	1 MESES
		Revisión de impulsor y verificar desbalance dinámico	1P - 1H	3 MESES
		Revisión con vibracheck estado de rodamientos	1P - 2H	6 MESES
		Cambio de motor de vacío	2P - 3H	12 MESES
	Escuadradores laterales	Revisión de electroválvulas o fugas de aire	1P - 1H	3 MESES
		Revisión de pistones neumáticos	1P - 1H	3 MESES
		Cambio de mangueras neumáticas y actuadores neumáticos	2P - 2H	6 MESES
	Motor de desplazamiento modulo	Limpieza de motor, ajuste de soporte de base y lubricar los rodamientos	1P - 1H	1 MESES
Mediciones de aislamiento, tensión y amperaje		1P - 1H	1 MESES	
Revisión de desgaste de zapatas		1P - 1H	3 MESES	
Revisión con vibracheck estado de rodamientos		1P - 2H	6 MESES	
Cambio de motor de desplazamiento		1P - 2H	12 MESES	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 11. Actividades de mantenimiento preventivo de la Flexo 01-04

Mantenimiento de línea impresora flexográfica				
EQUIPO	COMPONENTE	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	PERS - HORAS	FREC.
Flexo 01 - 04	Sensor de atasco	Calibración y pruebas de sensibilidad al sensor	1P - 1H	1 MESES
		Cambio de sensor por pérdida de sensibilidad	1P - 1H	12 MESES
	Tablero de fuerza	Limpieza y ajuste de componentes eléctricos	1P - 1H	1 MESES
		Medición de tensión, amperaje y puesta a tierra	1P - 1H	1 MESES
		Revisión de estado de componentes eléctricos	1P - 1H	6 MESES
		Cambio de circuito de fuerza (contactores)	1P - 2H	12 MESES
	Motor eléctrico de vacío	Limpieza de ventilación forzada, ajuste de soporte de base y lubricar los rodamientos	1P - 1H	1 MESES
		Mediciones de aislamiento, tensión y amperaje	1P - 1H	1 MESES
		Revisión de impulsor y verificar desbalance dinámico	1P - 1H	6 MESES
		Revisión con vibracheck estado de rodamientos	1P - 2H	6 MESES
		Cambio de motor de vacío	2P - 3H	12 MESES
	Bomba de tinta	Revisión de mangueras, limpieza de diafragmas de bomba	1P - 1H	1 MESES
		Revisión de conectores, limpieza de bandejas	1P - 1H	1 MESES
		Cambio de mangueras	1P - 1H	6 MESES
		Cambio de bombas de tinta	1P - 1H	6 MESES
	Rodillo de presión, registro y anilox	Verificar paralelismo o mover excéntrica	2P - 2H	3 MESES
		Referenciar rodillo al punto cero	2P - 2H	3 MESES
		Revisión del desgaste de rodillo presión	2P - 1H	6 MESES
		Revisión del desgaste de rodillo registro	2P - 1H	6 MESES
		Revisión del desgaste del rodillo anilox de jebe	2P - 1H	6 MESES
		Cambio de rodillo de jebe	2P - 4H	12 MESES
	Motores de presión, registro y anilox	Limpieza de motor, ajuste de soporte de base y lubricar los rodamientos	1P - 1H	1 MESES
		Mediciones de aislamiento, tensión y amperaje	1P - 1H	1 MESES
Revisión con vibracheck estado de rodamientos		1P - 1H	6 MESES	
Apertura de modulo	Calibración y pruebas de sensibilidad al sensor	1P - 1H	1 MESES	
	Cambio de sensor por pérdida de sensibilidad	1P - 1H	1 MESES	
	Revisión de electroválvulas, pistones y fugas de aire	1P - 1H	1 MESES	
	Cambio de mangueras neumáticas	1P - 2H	6 MESES	
Sensor de flujo	Calibración y pruebas de sensibilidad al sensor	1P - 1H	1 MESES	
	Cambio de sensor por pérdida de sensibilidad	1P - 1H	12 MESES	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 12. Actividades de mantenimiento preventivo de la troqueladora

Mantenimiento de línea impresora flexográfica				
EQUIPO	COMPONENTE	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	PERS - HORAS	FREC.
Troqueladora	Serrapid	Revisión de accionamiento de pistones, electroválvula	1P - 1H	1 MESES
		Cambio de pistones neumáticos	1P - 2H	6 MESES
	Tablero de fuerza	Limpieza y ajuste de componentes eléctricos	1P - 1H	1 MESES
		Medición de tensión, amperaje y puesta a tierra	1P -1H	1 MESES
		Revisión de estado de componentes eléctricos	1P - 1H	6 MESES
		Cambio de circuito de fuerza (contactores)	1P - 3H	12 MESES
	Rodillo troquelador	Revisión de paralelismo o mover excéntrica	2P - 2H	3 MESES
		Cambio de insertos	1P - 2H	3 MESES
		Calibración de registro	1P - 1H	6 MESES
	Motor de rodillo de presión	Limpieza de motor, ajuste de soporte de base y lubricar los rodamientos	1P - 1H	1 MESES
		Mediciones de aislamiento, tensión y amperaje	1P - 1H	1 MESES
		Revisión con vibracheck estado de rodamientos	1P - 1H	6 MESES
		Cambio de motor de rodillo de presión	2P - 3H	12 MESES
	Motor faja transportadora	Limpieza de motor, ajuste de soporte de base y lubricar los rodamientos	1P - 1H	1 MESES
		Mediciones de aislamiento, tensión y amperaje	1P - 1H	1 MESES
		Revisión de alineación de banda transportadora	1P - 1H	3 MESES
		Revisión con vibracheck estado de rodamientos	1P - 1H	3 MESES
		Cambio de faja transportadora	2P - 2H	6 MESES
		Cambio de motor de faja transportadora	2P - 3H	12 MESES
	Sensores de cierre modulo	Calibración y pruebas de sensibilidad al sensor	1P - 1H	1 MESES
Cambio de sensor por perdida de sensibilidad		1P - 1H	12 MESES	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 13. Actividades de mantenimiento preventivo de la Plegadora

Mantenimiento de línea impresora flexográfica				
EQUIPO	COMPONENTE	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	PERS - HORAS	FREC.
Plegadora	Sistema valco	Limpieza del inyector y verificar sensibilidad del sensor	1P - 1H	1 MESES
		Revisión de bomba de goma y mangueras	1P - 2H	3 MESES
		Cambio de mangueras y bomba	1P - 2H	6 MESES
		Cambio de inyector y sensor por pérdida de sensibilidad	1P - 1H	6 MESES
	Tablero de fuerza	Limpieza y ajuste de componentes eléctricos	1P - 1H	1 MESES
		Medición de tensión, amperaje y puesta a tierra	1P - 1H	1 MESES
		Revisión de estado de componentes eléctricos	1P - 1H	6 MESES
		Cambio de circuito de fuerza (contactores)	1P - 3H	12 MESES
	Sensor de atasco	Calibración y pruebas de sensibilidad al sensor	1P - 1H	1 MESES
		Cambio de sensor por pérdida de sensibilidad	1P - 1H	12 MESES
	Motor eléctrico de vacío	Limpieza de motor, ajuste de soporte de base y lubricar los rodamientos	1P - 1H	1 MESES
		Mediciones de aislamiento, tensión y amperaje	1P - 1H	1 MESES
		Revisión de desgaste de banda, polea	1P - 1H	3 MESES
		Revisión con vibracheck estado de rodamientos	1P - 1H	6 MESES
		Cambio de motor de vacío	2P - 4H	12 MESES
	Brazos folder	Revisión de paralelismo o mover excéntrica	2P - 2H	3 MESES
		Calibración de brazos folder al punto cero	2P - 1H	6 MESES
		Lubricar rodamientos	1P - 1H	1 MESES
		Cambio de rodamientos	1P - 2H	6 MESES
	Servomotores brazos folder	Limpieza de motor, ajuste de soporte de base y lubricar los rodamientos	1P - 1H	1 MESES
Mediciones de aislamiento, tensión y amperaje		1P - 1H	1 MESES	
Revisión con vibracheck estado de rodamientos		1P - 1H	3 MESES	
Cambio de servomotores		2P - 2H	6 MESES	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 14. Actividades de mantenimiento preventivo del Receptor de paquetes.

Mantenimiento de línea impresora flexográfica				
EQUIPO	COMPONENTE	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	PERS - HORAS	FREC.
Receptor de paquetes	Servomotor del Backstop	Limpieza de motor, ajuste de soporte de base y lubricar los rodamientos	1P - 1H	1 MESES
		Mediciones de aislamiento, tensión y amperaje	1P - 1H	1 MESES
		revisión de calibración y/o ajuste de limit switch inicio y final	1P - 1H	3 MESES
		revisión con vibracheck estado de rodamientos	1P - 1H	6 MESES
		Cambio de servomotor del backstop	2P - 3H	12 MESES
	Tablero de fuerza	Limpieza y ajuste de componentes eléctricos	1P - 1H	1 MESES
		Medición de tensión, amperaje y puesta a tierra	1P - 1H	1 MESES
		revisión de estado de componentes eléctricos	1P - 1H	6 MESES
		Cambio de circuito de fuerza (contactores)	1P - 3H	12 MESES
	Motor faja transportadora	Limpieza de motor, ajuste de soporte de base y lubricar los rodamientos	1P - 1H	1 MESES
		Mediciones de aislamiento, tensión y amperaje	1P - 1H	1 MESES
		revisión de alineación de banda transportadora	1P - 1H	3 MESES
		revisión con vibracheck estado de rodamientos	1P - 1H	6 MESES
		Cambio de motor de faja transportadora	2P - 3H	12 MESES
	Servomotor del tenedor horizontal	Limpieza de motor, ajuste de soporte de base y lubricar los rodamientos	1P - 1H	1 MESES
		Mediciones de aislamiento, tensión y amperaje	1P - 1H	1 MESES
		revisión de calibración y/o ajuste de limit switch inicio y final	1P - 1H	3 MESES
		revisión con vibracheck estado de rodamientos	1P - 1H	6 MESES
	Servomotor del tenedor vertical	Cambio de servomotor del tenedor horizontal	2P - 3H	12 MESES
		Limpieza de motor, ajuste de soporte de base y lubricar los rodamientos	1P - 1H	1 MESES
		Mediciones de aislamiento, tensión y amperaje	1P - 1H	1 MESES
		revisión de calibración y/o ajuste de limit switch inicio y final	1P - 1H	3 MESES
		revisión con vibracheck estado de rodamientos	1P - 1H	6 MESES
	Servomotor del elevador	Cambio de servomotor del tenedor vertical	2P - 3H	12 MESES
		Limpieza de motor, ajuste de soporte de base y lubricar los rodamientos	1P - 1H	1 MESES
		Mediciones de aislamiento, tensión y amperaje	1P - 1H	1 MESES
		revisión de calibración y/o ajuste de limit switch inicio y final	1P - 1H	3 MESES
		revisión con vibracheck estado de rodamientos	1P - 1H	6 MESES
Sensor de atasco	Cambio de servomotor del elevador	2P - 3H	12 MESES	
	Limpieza de motor, ajuste de soporte de base y lubricar los rodamientos	1P - 1H	1 MESES	
	Mediciones de aislamiento, tensión y amperaje	1P - 1H	1 MESES	
	revisión de calibración y/o ajuste de limit switch inicio y final	1P - 1H	3 MESES	
Sensor de atasco	revisión con vibracheck estado de rodamientos	1P - 1H	6 MESES	
	Cambio de sensor por pérdida de sensibilidad	2P - 3H	12 MESES	
		Calibración y pruebas de sensibilidad al sensor	1P - 1H	1 MESES
		Cambio de sensor por pérdida de sensibilidad	1P - 1H	12 MESES

Fuente: elaboración propia.

Tabla 15. Actividades de mantenimiento preventivo mensuales de Módulo Introductor

FORMATO DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO						
EQUIPO	PERIODICIDAD:		HORA DE INICIO	HORA DE TÉRMINO		
MÓDULO INTRODUCTOR	Mensual					
ACTIVIDADES	REALIZADO		CALIFICACIÓN		OBSERVACIONES	HERRAMIENTAS / MATERIALES UTILIZADOS
	SI	NO	CONFORME	NO CONFORME		
SENSOR DE ATASCO						
Limpieza del sensor						
Calibración de sensibilidad						
TABLERO DE FUERZA						
Limpieza de componentes eléctricos						
Ajuste de componentes eléctricos						
Medición de tensión, amperaje y puesta a tierra						
MOTOR ELECTRICO DE VACIO						
Limpieza de la ventilación forzada						
Ajuste de soporte de base						
Lubricar rodamientos						
Medición de aislamiento, tensión y amperaje						
MOTOR DE DESPLAZAMIENTO MODULO						
Limpieza de motor eléctrico						
Ajuste de soporte de base						
Medición de aislamiento, tensión y amperaje						
Lubricar rodamientos						
Recomendaciones:						
RESPONSABLE			SUPERVISOR		FECHA	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 16. Actividades de mantenimiento preventivo mensuales del Flexo

FORMATO DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO						
EQUIPO	PERIODICIDAD:		HORA DE INICIO	HORA DE TÉRMINO		
MODULO FLEXO 01 - 04	Mensual					
ACTIVIDADES	REALIZADO		CALIFICACIÓN		OBSERVACIONES	HERRAMIENTAS / MATERIALES UTILIZADOS
	SI	NO	CONFORME	NO CONFORME		
SENSOR DE ATASCO						
Limpieza del sensor						
Calibración de sensibilidad						
TABLERO DE FUERZA						
Limpieza de componentes eléctricos						
Ajuste de componentes eléctricos						
Medición de tensión, amperaje y puesta a tierra						
SENSOR DE FLUJO						
Limpieza de sensor						
Calibración de sensibilidad						
BOMBA DE TINTA						
Revisión de mangueras						
Limpieza de diafragmas de bomba						
Revisión de conectores						
Limpieza de bandejas						
MOTOR PRINCIPAL Y DE VACIO						
Limpieza de la ventilación forzada						
Medición de aislamiento, tensión y amperaje						
Ajuste de soporte de base						
Lubricar rodamientos						
MOTOR DE PRESION, REGISTRO Y ANILOX						
Limpieza de motor						
Ajuste de soporte de base						
Lubricar rodamientos						
Mediciones de aislamiento, tensión y amperaje						
APERTURA DE MODULO						
Limpieza de sensor						
Calibración de sensibilidad						
Recomendaciones:						
RESPONSABLE			SUPERVISOR		FECHA	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 17. Actividades de mantenimiento preventivo mensuales de la Troqueladora

FORMATO DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO						
EQUIPO	PERIODICIDAD:		HORA DE INICIO	HORA DE TÉRMINO		
MODULO TROQUELADORA	Mensual					
ACTIVIDADES	REALIZADO		CALIFICACIÓN		OBSERVACIONES	HERRAMIENTAS / MATERIALES UTILIZADOS
	SI	NO	CONFORME	NO CONFORME		
SERRAPID						
Revisión de accionamiento de pistones						
Revisión de accionamiento de electroválvulas						
TABLERO DE FUERZA						
Limpieza de componentes eléctricos						
Ajuste de componentes eléctricos						
Medición de tensión, amperaje y puesta a tierra						
MOTOR DE RODILLO DE PRESION						
Limpieza de motor						
Ajuste de soporte de base						
Lubricar rodamientos						
Medición de aislamiento, tensión y amperaje						
MOTOR FAJA TRANSPORTADORA						
Limpieza de motor						
Ajuste de soporte de base						
Lubricar rodamientos						
Medición de aislamiento, tensión y amperaje						
SENSORES DE CIERRE MODULO						
Limpieza de sensor						
Calibración de sensibilidad						
Recomendaciones:						
RESPONSABLE			SUPERVISOR		FECHA	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 18. Actividades de mantenimiento preventivo mensuales de la Plegadora

FORMATO DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO						
EQUIPO	PERIODICIDAD:		HORA DE INICIO	HORA DE TÉRMINO		
MODULO PLEGADORA	Mensual					
ACTIVIDADES	REALIZADO		CALIFICACIÓN		OBSERVACIONES	HERRAMIENTAS / MATERIALES UTILIZADOS
	SI	NO	CONFORME	NO CONFORME		
SENSOR DE ATASCO						
Limpieza del sensor						
Calibración de sensibilidad						
TABLERO DE FUERZA						
Limpieza de componentes eléctricos						
Ajuste de componentes eléctricos						
Medición de tensión, amperaje y puesta a tierra						
SISTEMA VALCO						
Limpieza del inyector						
Verificar sensibilidad del sensor						
BRAZOS FOLDER						
Lubricar rodamientos						
SERVOMOTORES BRAZOS FOLDER						
Limpieza de motor						
Ajuste de soporte de base						
Lubricar rodamientos						
Medición de aislamiento, tensión y amperaje						
Recomendaciones:						
RESPONSABLE			SUPERVISOR		FECHA	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 19. Actividades de mantenimiento preventivo mensuales del Receptor de paquetes

FORMATO DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO						
EQUIPO	PERIODICIDAD:		HORA DE INICIO	HORA DE TÉRMINO		
MODULO RECEPTOR DE PAQUETES	Mensual					
ACTIVIDADES	REALIZADO		CALIFICACIÓN		OBSERVACIONES	HERRAMIENTAS / MATERIALES UTILIZADOS
	SI	NO	CONFORME	NO CONFORME		
SENSOR DE ATASCO						
Limpieza del sensor						
Calibración de sensibilidad						
TABLERO DE FUERZA						
Limpieza de componentes eléctricos						
Ajuste de componentes eléctricos						
Medición de tensión, amperaje y puesta a tierra						
SERVOMOTOR DEL BACKSTOP						
Limpieza de motor						
Ajuste de soporte de base						
Lubricar rodamientos						
Medición de aislamiento, tensión y amperaje						
MOTOR FAJAS TRANSPORTADORA						
Limpieza de motor						
Ajuste de soporte de base						
Lubricar rodamientos						
Medición de aislamiento, tensión y amperaje						
SERVOMOTOR DEL TENEDOR HORIZONTAL						
Limpieza de motor						
Ajuste de soporte de base						
Lubricar rodamientos						
Medición de aislamiento, tensión y amperaje						
SERVOMOTOR DEL TENEDOR VERTICAL						
Limpieza de motor						
Ajuste de soporte de base						
Lubricar rodamientos						
Medición de aislamiento, tensión y amperaje						
SERVOMOTOR DEL ELEVADOR						
Limpieza de motor						
Ajuste de soporte de base						
Lubricar rodamientos						
Medición de aislamiento, tensión y amperaje						
Recomendaciones:						
RESPONSABLE			SUPERVISOR		FECHA	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 20. Formato de actividades Semestrales de la línea impresora flexográfica.

ACTIVIDADES DE MANT.PREVENTIVO DE LA LINEA IMPRESORA FLEXOGRAFICA									
LINEA IMPRESORA FLEXOGRAFICA					FECHA PROGRAMADA:				
PERIODICIDAD:		SEMESTRAL			FECHA DE REALIZACIÓN:				
LISTA DE ACTIVIDADES PROGRAMADAS Y HERRAMIENTAS									
EQUIPO	COMPONENTE	No. PERSONAS	Tiempo Ejec		PTO.TBJO	Tiempo Prog.	Descripción	REALIZADO (SI/NO)	HERRAMIENTAS / MATERIALES UTILIZADOS
			Min	Min					
INTRODUCTOR	MOTOR PRINCIPAL Y VACIO	2			E	60	Revisión con vibracheck estado de rodamientos		
INTRODUCTOR	MOTOR DE DESPLAZAMIENTO MODULO	1			E	60	Revisión con vibracheck estado de rodamientos		
INTRODUCTOR	TABLERO DE FUERZA	2			E	60	Revisión de estado de componentes eléctricos		
INTRODUCTOR	ESCUADRADORES LATERALES	2			M-E	120	Cambio de mangueras neumáticas y actuadores neumáticos		
INTRODUCTOR	SISTEMA DE ALIMENTACION	2			M	60	Revisión de desgaste de banda		
INTRODUCTOR	RODILLO DE PRESION DE JEFE	2			M	60	Referencia rodillo al punto cero Revisión de desgaste del rodillo		
FLEXO 1 - 4	MOTOR DE VACIO	2			E	60	Revisión con vibracheck estado de rodamientos		
FLEXO 1 - 4	RODILLO DE REGISTRO, PRESION Y ANILOX	2			M	60	Revisión del desgaste del rodillo de registro, presión y anilox		
FLEXO 1 - 4	MOTOR DE RODILLO REGISTRO, PRESION Y ANILOX	2			E	60	Revisión con vibracheck estado de rodamientos		
FLEXO 1 - 4	BOMBA DE TINTA	2			M	120	Cambio de mangueras Cambio de bombas de tinta		
FLEXO 1 - 4	TABLERO DE FUERZA	1			E	60	Revisión de estado de componentes eléctricos		
FLEXO 1 - 4	APERTURA DE MODULO	1			M	60	Cambio de mangueras		
TROQUELADORA	MOTOR DE RODILLO DE PRESION	2			M	60	Revisión con vibracheck estado de rodamientos		
TROQUELADORA	FAJA TRANSPORTADORA	2			M	60	Cambio de faja transportadora		
TROQUELADORA	RODILLO DE TROQUEL	1			E	60	Calibración de registro		
TROQUELADORA	SERRAPID	2			E	60	Cambio de pistones neumáticos		
PLEGADORA	SISTEMA VALCO	2			E	60	Cambio de mangueras y bomba Cambio de inyector y sensor por pérdida de sensibilidad		
PLEGADORA	MOTOR ELECTRICO DE VACIO	2			E	60	Revisión con vibracheck estado de rodamientos		
PLEGADORA	BRAZOS FOLDER	2			M-E	120	Calibración de brazos folder al punto cero Cambio de rodamientos		
PLEGADORA	SERVOMOTORES BRAZOS FOLDER	2			E	120	Cambio de servomotores		
RECEPTOR DE PAQUETES	SERVOMOTOR DEL BACKSTOP	2			E	60	Revisión con vibracheck estado de rodamientos		
RECEPTOR DE PAQUETES	MOTOR FAJA TRANSPORTADORA	2			E	60	Revisión con vibracheck estado de rodamientos		
RECEPTOR DE PAQUETES	SERVOMOTOR DEL TENEDOR HORIZONTAL	2			E	60	Revisión con vibracheck estado de rodamientos		
RECEPTOR DE PAQUETES	SERVOMOTOR DEL ELEVADOR	2			E	60	Revisión con vibracheck estado de rodamientos		
RECEPTOR DE PAQUETES	SERVOMOTOR DEL TENEDOR VERTICAL	2			E	60	Revisión con vibracheck estado de rodamientos		
OBSERVACIONES									
EQUIPO		OBSERVACIÓN				ACCION A TOMAR			TIEMPO ESTIMADO
RESPONSABLE		FIRMA	SUPERVISOR			FIRMA	INICIO MANT.		TERMINO MANT.

Fuente: elaboración propia.

Debido a que la línea impresora flexográfica la conforman máquinas que están en continuo movimiento, los mismos, que son desarrollados por motores eléctricos, que son dispositivos de alta relevancia, se debe tener un control específico. En la Tabla 22, se diseñó un formato de registro técnico de motores por encargado de la jefatura de mantenimiento para tener un mejor control.

Tabla 22. Formato de registro técnico de motores

INFORME TÉCNICO MOTORES		Empresa Papelera	
1° DATOS DE PLACA			
EQUIPO		N° SERIES	
MARCA		MODELO	
POTENCIA		VOLTAJE	
VELOCIDAD		AMPERAJE	
2° MEDICIÓN DEL AISLAMIENTO ANTES Y DESPUÉS DEL MANTENIMIENTO			
EQUIPO: MEGOMETRO FLUKE		TENSION DE PRUEBA 1000 VDC	
		ANTES	DESPUÉS
AISLAMIENTO BOBINAS VS MASA	BOB 1 - 4 VS MASA		
	BOB 2 - 5 VS MASA		
	BOB 3 - 6 VS MASA		
	BOB 7 - 10 VS MASA		
	BOB 8 - 11 VS MASA		
	BOB 9 - 12 VS MAS		
AISLAMIENTO ENTRE FASES CONEXIÓN 1 DELTA	BOB 1 - 4 - 7 - 10 VS 2 - 5 - 8 - 11		
	BOB 1 - 4 - 7 - 10 VS 3 - 6 - 9 - 12		
	BOB 2 - 5 - 8 - 11 - VS 3 - 6 - 9 - 12		
RESISTENCIA DE BOBINAS	BOB 1 - 4		
	BOB 2 - 5		
	BOB 3 - 6		
	BOB 7 - 10		
	BOB 8 - 11		
	BOB 9 - 12		
3° PRUEBAS EN VACÍO			
N° DE SALIDAS:		CONEXIÓN: 1 TRIANGULO	
		ANTES	DESPUÉS
VOLTAJE	R - S		
	R - T		
	S - T		
AMPERAJE	R		
	S		
	T		
VELOCIDAD	RPM		
4° INSPECCIÓN DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS			
COMPONENTES	BIEN	MAL	OBSERVACIÓN
AJUSTE DE PISTA EXTERIOR DE RODAMIENTO EN TAPA DELANTERA			
AJUSTE DE PISTA EXTERIOR DE RODAMIENTO EN TAPA POSTERIOR			
AJUSTE DE RODAMIENTO DELANTERO EN EJE DE ROTOR			
AJUSTE DE RODAMIENTO POSTERIOR EN EJE DE ROTOR			
* OBSERVACIONES			

Ejecutor del Mantenimiento		Supervisor de Mantenimiento o responsable del Equipo.	

Fuente: elaboración propia.

Se ha requerido instruir a personal técnico del turno y supervisor de mantenimiento, realizando capacitaciones como muestra las tablas 23, 24 y 25 programas para los equipos críticos de la línea impresora flexográfica, dichas capacitaciones estuvieron a cargo de una empresa tercera siguiendo los lineamientos impuestos por empresa papelera con el fin de desarrollar el conocimiento y criterio para toma de decisiones sobre cada equipo crítico frente a diversas situaciones que puedan suscitarse.

Tabla 23. Programa de capacitación del Módulo Introdutor

PLAN DE CAPACITACIONES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO						
LINEA IMPRESORA FLEXOGRÁFICA - EQUIPO MÓDULO INTRODUTOR						
TITULO	DESCRIPCIÓN	MODALIDAD	INSTRUCTOR	TÉCNICA	PERSONAL	TIEMPO
Capacitación en Mantenimiento	Entrenamiento en mantenimiento, solución de problemas y reparaciones comunes del Módulo Introdutor.	Presencial	Supervisor de mantenimiento	✓ Estudio de casos ✓ Expositiva	Operadores del Módulo Introdutor, Técnicos Electricista y Mecánico	3 horas
Capacitación en Interpretación	Interpretación de patrones, reconocer las condiciones de desgaste y recomendaciones de reparaciones o reemplazo según criterio y pautas del fabricante.	Presencial	Supervisor de mantenimiento	✓ Estudio de casos ✓ Expositiva	Operadores del Módulo Introdutor, Técnicos Electricista y Mecánico	3 horas
Capacitación en Prácticas Seguras	Prácticas Seguras del Módulo Introdutor, recibir entrenamiento teórico y práctico en los principios de operación y métodos de trabajo.	Presencial	Supervisor de mantenimiento	✓ Expositiva	Operadores del Módulo Introdutor, Técnicos Electricista y Mecánico	2 horas
Lineamientos técnicos para el mantenimiento del Módulo Introdutor	Información teórica, practica en inspección y mantenimiento de Modulo Introdutor.	Virtual	Empresa contratada	✓ Expositiva	Supervisor de mantenimiento, Técnicos Electricista y Mecánico	24 horas

Fuente: elaboración propia.

Tabla 24. Programa de capacitación del flexo

PLAN DE CAPACITACIONES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO						
LINEA IMPRESORA FLEXOGRÁFICA - EQUIPO FLEXO						
TITULO	DESCRIPCIÓN	MODALIDAD	INSTRUCTOR	TÉCNICA	PERSONAL	TIEMPO
Análisis y solución de averías habituales	Reconocer la serie de fenómenos que indican un mal funcionamiento del equipo, identificar sus causas y soluciones apropiadas.	Presencial	Supervisor de mantenimiento	✓ Estudio de casos ✓ Expositiva	Operadores del flexo, Técnicos Electricista y Mecánico	3 horas
Manejo seguro de equipos	La forma correcta de manipular el equipo y sus accesorios desde el inicio hasta el cierre de la jornada laboral.	Presencial	Supervisor de mantenimiento	✓ Expositiva	Operadores del flexo, Técnicos Electricista y Mecánico.	2 horas
Procedimientos de emergencia	Guía de cómo actuar frente a una parada de emergencia, y atender al equipo frente a un imprevisto propio	Presencial	Supervisor de mantenimiento	✓ Estudio de casos ✓ Expositiva	Operadores del flexo, Técnicos Electricista y Mecánico	3 horas
Análisis y Reparación del flexo	Conceptos generales, funcionamiento del flexo, elementos principales, método de detección de fallas	Virtual	Empresa contratada	✓ Expositiva	Supervisor de mantenimiento, Técnicos Electricista y Mecánico	24 horas

Fuente: elaboración propia.

Tabla 25. Programa de capacitación de la Plegadora

PLAN DE CAPACITACIONES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO						
LINEA IMPRESORA FLEXOGRÁFICA - EQUIPO PLEGADORA						
TITULO	DESCRIPCIÓN	MODALIDAD	INSTRUCTOR	TÉCNICA	PERSONAL	TIEMPO
Análisis y solución de averías habituales	Reconocer la serie de fenómenos que indican un mal funcionamiento del equipo, identificar sus causas y soluciones apropiadas.	Presencial	Supervisor de mantenimiento	✓ Estudio de casos ✓ Expositiva	Operadores de la Plegadora, Técnicos Electricista y Mecánico	3 horas
Manejo seguro de equipos	La forma correcta de manipular el equipo y sus accesorios desde el inicio hasta el cierre de la jornada laboral.	Presencial	Supervisor de mantenimiento	✓ Expositiva	Operadores de la Plegadora, Técnicos Electricista y Mecánico	2 horas
Procedimientos de emergencia	Guía de cómo actuar frente a una parada de emergencia, y atender al equipo frente a un imprevisto propio	Presencial	Supervisor de mantenimiento	✓ Estudio de casos ✓ Expositiva	Operadores de a Plegadora, Técnicos Electricista y Mecánico	3 horas
Análisis y Reparación de la Plegadora	Conceptos generales, funcionamiento de la Plegadora, elementos principales, método de detección de fallas	Virtual	Empresa contratada	✓ Expositiva	Supervisor de mantenimiento, Técnicos Electricista y Mecánico	8 horas

Fuente: elaboración propia.

- O.4: Determinar los indicadores de confiabilidad teórica según lo establecido en el diseño del proyecto.

La confiabilidad calculada, es una confiabilidad ideal (teórica) en que el buen desempeño como la buena aplicación de mi plan de mantenimiento preventivo, donde se amplió el valor del tiempo medio entre fallas (MTBF) y se redujo el tiempo medio entre reparación (MTTR) por lo tanto, el número de fallas no deberían existir y las únicas paradas que deberían existir son los mantenimientos programados.

Se realizaron cálculos teóricos basados en la propuesta del mantenimiento preventivo programado (RCM), demostrando su fiabilidad, se halló los indicadores de mantenimiento respecto a la línea de impresora flexográfica.

A continuación, se presentó los resultados generales en la Tabla 26, que muestra un resumen de los indicadores de mantenimiento (Teóricos) obtenidos respecto al plan de mantenimiento preventivo, se mostró la mejora en comparación al año 2023 de la línea impresora flexográfica.

Tabla 26. Resumen de los Indicadores de Mantenimiento (teórica) de la línea impresora flexográfica

LÍNEA DE LA IMPRESORA FLEXOGRÁFICA - AÑO (---)	TIEMPO TOTAL DE OPERACIÓN (hr)	CANTIDAD DE PARADAS PROGRAMADAS		# TOTAL DE REPARACIONES	CANTIDAD DE HORAS DE MANTENIMIENTO		TIEMPO TOTAL DE MANTENIMIENTO	λ	MTBF (hr)	MTTR (hr)	D - %	C(t), t=24, (%)
		# Eléctricas	# Mecánicas		Eléctricas	Mecánicas						
ENERO	631.91	2	2	4	16.00	24.00	40.00	0.006	157.98	10.00	94.05	85.91
FEBRERO	609.61	2	2	4	16.00	24.00	40.00	0.007	152.40	10.00	93.84	85.43
MARZO	610.32	2	2	4	16.00	24.00	40.00	0.007	152.58	10.00	93.85	85.45
ABRIL	613.49	2	2	4	16.00	24.00	40.00	0.007	153.37	10.00	93.88	85.52
MAYO	621.04	2	2	4	16.00	24.00	40.00	0.006	155.26	10.00	93.95	85.68
JUNIO	610.32	2	2	4	16.00	24.00	40.00	0.007	152.58	10.00	93.85	85.45
JULIO	620.56	2	2	4	16.00	24.00	40.00	0.006	155.14	10.00	93.94	85.67
AGOSTO	632.11	2	2	4	16.00	24.00	40.00	0.006	158.03	10.00	94.05	85.91
SEPTIEMBRE	609.47	2	2	4	16.00	24.00	40.00	0.007	152.37	10.00	93.84	85.43
OCTUBRE	607.17	2	2	4	16.00	24.00	40.00	0.007	151.79	10.00	93.82	85.38
NOVIEMBRE	612.72	2	2	4	16.00	24.00	40.00	0.007	153.18	10.00	93.87	85.50
DICIEMBRE	620.52	2	2	4	16.00	24.00	40.00	0.006	155.13	10.00	93.94	85.67
TOTAL	7399.24	24	24	48	192.00	288.00	480.00	0.006	154.15	10.00	93.91%	85.58%

Fuente: Elaboración Propia.

Se dio a conocer el MTBF, siguiendo la Ecuación 4; se evidencia en la Tabla 27. Esto con la finalidad de identificar la confiabilidad y disponibilidad (Teórica) de la línea impresora flexográfica con el plan de mantenimiento preventivo propuesto.

Tabla 27. *Tiempo medio entre fallos (teórica) de la línea impresora flexográfica*

TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLOS (MTBF)				$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de operación}}{\text{número de reparaciones}}$	
AÑO (---)	TIEMPO TOTAL DE OPERACIÓN (hr)	CANTIDAD DE PARADAS PROGRAMADAS		# TOTAL DE REPARACIONES	MTBF (hr)
		# Eléctricas	# Mecánicas		
ENERO	631.91	2	2	4	157.98
FEBRERO	609.61	2	2	4	152.40
MARZO	610.32	2	2	4	152.58
ABRIL	613.49	2	2	4	153.37
MAYO	621.04	2	2	4	155.26
JUNIO	610.32	2	2	4	152.58
JULIO	620.56	2	2	4	155.14
AGOSTO	632.11	2	2	4	158.03
SEPTIEMBRE	609.47	2	2	4	152.37
OCTUBRE	607.17	2	2	4	151.79
NOVIEMBRE	612.72	2	2	4	153.18
DICIEMBRE	620.52	2	2	4	155.13
TOTAL	7399.24	24	24	48	154.15

Fuente: elaboración propia.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de operación}}{\text{Nº de Reparaciones}} = \frac{7399.24}{48} = 154.15 \text{ horas.}$$

En la Tabla 27, podemos inferir que el MTBF promedio es de 154.15 horas, se mostró variaciones significativas con valores que oscilan entre el 151.79 y el 158.03 horas, demostrando que debido al plan de mantenimiento preventivo propuesto se obtuvo la consecuencia del incremento del indicador teórico del MTBF en comparación del año 2023.

Así mismo, se dio a conocer el indicador del MTTR, siguiendo la Ecuación 5; lo cual se evidencia en la Tabla 28. Esto con la finalidad de identificar la disponibilidad (Teórica) de la línea impresora flexográfica con el plan de mantenimiento preventivo propuesto.

Tabla 28. *Tiempo medio de reparación (teórica) de la línea impresora flexográfica*

TIEMPO PROMEDIO EN REPARACIÓN (MTTR)				$MTTR = \frac{\text{tiempo total de mantenimiento}}{\text{número de reparaciones}}$	
AÑO (---)	CANTIDAD DE HORAS DE MANTENIMIENTO		TIEMPO TOTAL DE MANTENIMIENTO	# TOTAL DE REPARACIONES	MTTTR (hr)
	Eléctricas	Mecánicas			
ENERO	16.00	24.00	40.00	4.0	10.00
FEBRERO	16.00	24.00	40.00	4.0	10.00
MARZO	16.00	24.00	40.00	4.0	10.00
ABRIL	16.00	24.00	40.00	4.0	10.00
MAYO	16.00	24.00	40.00	4.0	10.00
JUNIO	16.00	24.00	40.00	4.0	10.00
JULIO	16.00	24.00	40.00	4.0	10.00
AGOSTO	16.00	24.00	40.00	4.0	10.00
SEPTIEMBRE	16.00	24.00	40.00	4.0	10.00
OCTUBRE	16.00	24.00	40.00	4.0	10.00
NOVIEMBRE	16.00	24.00	40.00	4.0	10.00
DICIEMBRE	16.00	24.00	40.00	4.0	10.00
TOTAL	192.00	288.00	480.00	48	10.00

Fuente: elaboración propia.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total del mantenimiento}}{\text{Nº de Reparaciones}} = \frac{480}{48} = 10 \text{ horas.}$$

En la Tabla 28, se halló el indicador del MTTR (teórico) de línea impresora flexográfica con el plan de mantenimiento preventivo propuesto, la cual fue un promedio de 10 horas programadas para la realización de actividades de mantenimiento preventivo, este indicador ayudó a determinar la disponibilidad (teórica).

Así mismo, se aplicó la Ecuación 6 dando a conocer la disponibilidad (teórica); lo cual se evidencia en la Tabla 29. Esto con la finalidad de comparar la disponibilidad con el año 2023.

Tabla 29. Disponibilidad (teórica) de la línea impresora flexográfica

DISPONIBILIDAD			$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100\%$
AÑO (---)	MTBF (hr)	MTTR (hr)	D- %
ENERO	157.98	10.00	94.05
FEBRERO	152.40	10.00	93.84
MARZO	152.58	10.00	93.85
ABRIL	153.37	10.00	93.88
MAYO	155.26	10.00	93.95
JUNIO	152.58	10.00	93.85
JULIO	155.14	10.00	93.94
AGOSTO	158.03	10.00	94.05
SEPTIEMBRE	152.37	10.00	93.84
OCTUBRE	151.79	10.00	93.82
NOVIEMBRE	153.18	10.00	93.87
DICIEMBRE	155.13	10.00	93.94
TOTAL	154.15	10.00	93.91

Fuente: elaboración propia.

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100 = \frac{154.15}{154.15 + 10.00} \times 100 = 93.91\%$$

Con el plan de mantenimiento preventivo propuesto, se determinaron los valores de disponibilidad (teóricos) de los equipos de la línea de impresora flexográfica en la Tabla 29, se logró visualizar el aumento del indicador en comparación del año 2023. Siendo evidente que incrementa la disponibilidad con un promedio de 93.91%, mostró valores que oscilan entre el 93.82% y el 94.05%, superando el rango de 90% de disponibilidad mensual, demostrando la fiabilidad del estudio.

Así mismo, se dio a conocer la confiabilidad, siguiendo la Ecuación 7; lo cual se evidencia en la Tabla 30. Esto con la finalidad de obtener la confiabilidad y tasa de fallas mensual (teóricas) con el mantenimiento preventivo propuesto.

Tabla 30. Confiabilidad (teórica) de la línea impresora flexográfica

CONFIABILIDAD				$C(t) = e^{-\lambda \cdot t}$
AÑO (---)	NÚMERO DE EULER	MTBF (hr)	λ	C(t), t=24, (%)
ENERO	2.718	157.98	0.006	85.91%
FEBRERO	2.718	152.40	0.007	85.43%
MARZO	2.718	152.58	0.007	85.45%
ABRIL	2.718	153.37	0.007	85.52%
MAYO	2.718	155.26	0.006	85.68%
JUNIO	2.718	152.58	0.007	85.45%
JULIO	2.718	155.14	0.006	85.67%
AGOSTO	2.718	158.03	0.006	85.91%
SEPTIEMBRE	2.718	152.37	0.007	85.43%
OCTUBRE	2.718	151.79	0.007	85.38%
NOVIEMBRE	2.718	153.18	0.007	85.50%
DICIEMBRE	2.718	155.13	0.006	85.67%
TOTAL	2.718	154.15	0.006	85.58%

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Tasa de fallas: } \lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{154.15} = 0.006$$

$$\text{Confiabilidad: } C(t) = e^{-\lambda t} = 2.718^{-0.006 \times 24h} = 85.58\%$$

En la Tabla 30, se ha hallado los valores de confiabilidad(teórico) de la línea impresora flexográfica con el mantenimiento preventivo. Se obtuvo un promedio de 85.58%. Se visualizó el aumento de la confiabilidad en comparación del año 2023.

- O.5: Elaborar un análisis económico para determinar la viabilidad del proyecto usando como indicadores VAN y TIR.

Para lograr determinar la viabilidad debemos realizar una inversión. A continuación, las tablas 31, 32, 33, 34 y 35 muestran los activos tangibles e intangibles y el personal necesario para llevar a cabo la implementación del proyecto.

Tabla 31. *Inversión en la contratación de personal para el desarrollo del proyecto.*

CONTRATACIÓN		Remuneración (S/. /MES)
1	Técnico electromecánico	2 000.00
1	Técnico electromecánico	2 000.00
1	Supervisor de Mantenimiento	3 630.00
TOTAL (S/. /MES)		7,630.00
TOTAL (S/. /AÑO)		S/. 91 560.00

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 31, se dio a conocer la inversión para contratar personal de mantenimiento requerido para la implementación del proyecto, el cual sería un monto de S/ 91 560.00 por año.

Tabla 32. *Inversión en útiles de escritorio para el desarrollo del proyecto*

ÚTILES DE ESCRITORIO			
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	Costo Unit (S/.)	Costo Total (S/.)
2	Pizarras acrílicas (unidad)	35.00	70.00
2	Lapiceros (caja)	5.00	10.00
2	Plumones (cajas)	10.00	20.00
3	Archivadores (unidad)	5.00	15.00
2	Motas (unidad)	4.50	9.00
1	Engrapador (unidad)	12.00	12.00
2	Grapas (caja)	6.00	. 12
4	Tinta de impresora (unidad)	20.00	90.00
2	Papel Bond A4 De 50gr Atlas (Millar)	26.00	54.00
TOTAL (S/.)			S/. 280.00

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 32, se observó la inversión en los útiles de escritorio requerido para implementar del proyecto, el monto sería de S/ 280.00

Tabla 33. *Inversión en equipos de oficina escritorio para el desarrollo del proyecto*

EQUIPOS DE OFICINA			
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	Costo Unit (S/.)	Costo Total (S/.)
1	Laptop HP 15,6" Intel Core i7 HD 4 GB 1 TB (unidad)	2499.00	2499.00
1	Impresora Epson - L4160 (unidad)	850.00	850.00
1	Cámara fotográfica (unidad)	250.00	250.00
1	Escritorio (unidad)	800.00	800.00
1	Mouse (unidad)	75.00	75.00
2	Memoria USB de128 Gb (unidad)	30.00	60.00
TOTAL (S/.)			S/. 4 534.00

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 33, se mostró la inversión en equipos de oficina requerido para implementar el plan de mantenimiento preventivo sería de S/ 4 534.00

Tabla 34. Inversión en materiales para el desarrollo del proyecto.

MATERIALES DE IMPLEMENTACIÓN				
Nombre	Cantidad	Medida	Valor unitario (S/)	Valor total (S/)
Repuestos para stock				S/. 41,568.86
Cable 10 AWG THW	4	unidad	717.82	2871.29
Bloque contacto botonera	8	unidad	105.08	840.67
Contactador LC1D259	2	unidad	543.56	543.56
Balasto luminoso	6	unidad	50.65	151.96
Termomagnética C60N	6	unidad	221.76	665.28
Guardamotor GV2ME14	2	unidad	272.92	272.92
Rodillos de alimentación	66	unidad	58.59	1933.47
Válvula solenoide	20	unidad	84.67	846.72
Conectores Dinse	120	juego	59.72	3583.44
Lámparas de señalización	16	unidad	189.00	1512.00
Llave termomagnética 63A	10	unidad	242.83	1214.14
Enchufe macho trifásico	66	unidad	128.44	4238.51
Cable de alimentación 70mm	66	metros	55.57	1833.68
Cable de masa 70mm	66	metros	55.57	1833.68
Tenaza tierra 500 ^a	100	unidad	109.24	5462.10
Transistores IGBT	10	unidad	235.49	1177.47
Placa de disparo	10	unidad	105.46	527.31
Placa de control	10	unidad	258.55	1292.76
Interruptor termomagnético 100A	8	unidad	485.54	1942.16
Interruptor diferencial 62A	4	unidad	372.14	744.28
Cambio de fusible	96	unidad	10.96	526.18
Relé de fuga a tierra	6	unidad	690.35	2071.06
Toma trifásica hembra 63A	80	unidad	125.27	5010.97
Toma monofásica hembra 16A	56	unidad	16.90	473.26
Consumibles				S/. 22,504.70
Limpia contacto	24	unidad	23.81	571.44
Afloja todo	24	unidad	18.14	435.36
Solvente dieléctrico	30	galón	146.29	4388.70
Brochas 2 pulgadas	24	unidad	12.85	308.40
Pernos varios	6	caja	371.57	2229.42
Grasa para lubricación	12	frasco	29.48	353.76
Terminales varios 16-6 AWG	6	caja	124.36	746.16
Terminales de presión 70mm	6	caja	290.3	1741.80
Cinta aislante	14	caja	482.33	6752.62
Cable 6 AWG THW	3	rollo	949.91	2849.73
Cable 8 AWG THW	3	rollo	471.37	1414.11
Trapo Wypall	20	kg	35.66	713.20
TOTAL				S/. 64 073.56

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 34, se mostró el monto de los materiales que se invertirían anualmente para llevar a cabo el proyecto sería de S/. 64 073.56.

Tabla 35. *Inversión en capacitación al personal para el desarrollo del proyecto*

GASTOS DE CAPACITACIÓN				
Cantidad de personas	Equipo	Horas del curso	Costo Unit (S/.)	Costo Total (S/.)
3	Modulo introductor	24	650	1 950.00
3	Flexo	24	450	1 350.00
3	Plegadora	8	650	1 950.00
TOTAL (S/.)				S/ 5 250.00

Fuente: elaboración propia.

La tabla 35 nos dio a conocer la inversión en capacitación del personal para llevar a cabo el proyecto sería de S/ 5 250.00.

Tabla 36. *Inversión total para el plan de mantenimiento preventivo*

INVERSIONES ACTIVOS	TOTAL (S/./AÑO)
Útiles de escritorio	280
Equipos de oficina	4534
Materiales de implementación	64073.562
Capacitaciones	5250
Contratación de personal	91,560.00
TOTAL (S/)	S/. 165 697.56

Fuente: elaboración propia.

Se mostró en la Tabla 36, la inversión total en activos requerida para la implementación del proyecto sería de S/ 165 697.56

Se examinaron los costos del mantenimiento antes y después para estimar los ingresos después de la implementación del plan de mantenimiento preventivo en la empresa papelera; la tabla 37 muestra los ingresos previstos en relación al beneficio que se obtendría como resultado de la disminución del costo del mantenimiento.

Tabla 37. *Ingresos proyectados para los próximos cinco años de la línea impresora flexográfica*

Ingresos proyectados para los siguientes cinco años			
Máquina	Costo del mantenimiento Antes	Costo del mantenimiento Después	Ingresos proyectado
Línea impresora flexográfica	S/526,468.96	S/289,995.40	S/236 473.56

Fuente: elaboración propia.

Para los siguientes cinco años después de la aplicación del plan de mantenimiento preventivo de la línea impresora flexográfica, los ingresos previstos se estiman en S/ 236 473.56, como se mostró en la tabla 37.

Para proyectar los costos, se consideró los gastos en capacitación, la contratación de personal y los materiales para la implementación del proyecto. La Tabla 38 se nos dio a conocer los costos proyectados.

Tabla 38. *Costos previstos para los próximos cinco años de la línea impresora flexográfica*

Rubro	Costos proyectados
Materiales de implementación	64,073.56
Gastos de contratación	91,560.00
Gastos de capacitación	5,250.00
Total	S/160 883.56

Fuente: elaboración propia.

La tabla 38, se mostró los costos previstos para los próximos cinco años después de la aplicación del plan de mantenimiento preventivo (RCM) para la línea de impresora flexográfica de la empresa papelera serían de S/S/. 160.883,56.

Tabla 39. Flujo de caja proyectado para los próximos 5 años durante el desarrollo del proyecto.

Flujo de caja proyectado para los siguientes 5 años de la línea impresora flexográfica						
AÑO	0	1	2	3	4	5
Inversión	-S/ 165,697.56					
Costos proyectados		S/160,883.56	S/160,883.56	S/160,883.56	S/160,883.56	S/160,883.56
Materiales de implementación		64,073.56	64,073.56	64,073.56	64,073.56	64,073.56
Gasto de contratación		91,560.00	91,560.00	91,560.00	91,560.00	91,560.00
Gasto de capacitación		5,250.00	5,250.00	5,250.00	5,250.00	5,250.00
ingresos proyectados		S/236,473.56	S/236,473.56	S/236,473.56	S/236,473.56	S/236,473.56
Flujo Neto de Efectivo	-S/ 165,697.56	S/75,590.00	S/75,590.00	S/75,590.00	S/75,590.00	S/75,590.00
VAN	S/ 120 848.01					
TIR	35.708%					

Fuente: elaboración propia.

El proyecto de plan de mantenimiento preventivo. se debió llevar a cabo con un monto total de inversión de S/. 165,697.56 soles, la cual deberá ser financiada en un periodo de 5 años. Por consiguiente, tenemos:

Monto del préstamo = S/. 165697.56 soles.

El plazo del préstamo = 5 años

Tasa efectiva anual (TEA) = 10 %

Se llevó a cabo una evaluación de si la compañía debería realizar la inversión, mediante el VAN Y TIR, se empleó la ecuación 8. Para poder dar inicio al para la implementación del proyecto, la empresa debe realizar una inversión de S/ 165,697.56 soles, con la cual se podrían generar el flujo neto de efectivo S/. 75,590.00 soles por año. Se encontró el valor actual neto (VAN); se ha considerado el costo de oportunidad del 10%.

$$VAN = -S/. 165,697.56 + \frac{75,590.00}{(1.1)} + \frac{75,590.00}{(1.1)^2} = S/. 120848.01$$

El VAN es mayor a uno después de las consideraciones anteriores. Como resultado, la inversión de la propuesta de mantenimiento fue aceptada, lo que significaba que habría una rentabilidad.

Se halló la tasa interna de retorno para verificar si es favorable la inversión.

$$VAN = -S/ 165,697.56 + \frac{75,590.00}{(1.35)} + \frac{75,590.00}{(1.35)^2} = S/. 2109.32$$

$$VAN = -S/ 165,697.56 + \frac{75,590.00}{(1.36)} + \frac{75,590.00}{(1.36)^2} = S/. -855.54$$

Interés de VA superior a 0.35 ----- 2109.32

Interés de VA inferior a 0.36 ----- -855.54

Se realizó la interpolación:

$$\frac{0.35 - TIR}{TIR - 0.36} = \frac{2109.32 - 0}{0 - (-855.54)} = 35.708\%$$

El resultado nos dio a conocer que, por ser superior al costo de oportunidad (COK), la inversión tendrá un retorno del 35.708%, lo cual indica que será beneficiosa. Por lo tanto, podemos decir que nuestro proyecto es factible.

IV. DISCUSIÓN

Mediante los resultados de los objetivos específicos que tiene esta investigación, se desarrollan las siguientes discusiones.

En el primer objetivo específico, se realizó el análisis de la actual situación en la cual se encuentra la línea impresión flexográfica durante el año 2023, el diagnóstico fue mediante indicadores de mantenimiento aplicados durante cada mes del año, primeramente se determina los indicadores de MTBF y MTTR con la finalidad de hallar la disponibilidad y confiabilidad pertenecientes a la máquina de estudio, obteniendo como resultado 85.64% y 23.77%, habiéndose determinado que durante el periodo 2023 la línea de impresión flexográfica tuvo una baja fiabilidad en sus equipos, esto debido a las paradas frecuentes por falla correctiva, lo que ocasiona pérdidas económicas, esto sucede debido que la máquina de estudio carece de un plan de mantenimiento preventivo. De tal manera se concluye que la propuesta del plan de mantenimiento preventivo es necesaria si se desea aumentar la fiabilidad de los equipos. Como resultados semejantes tenemos el estudio del autor (Ben, Mohamed, Muduli 2021) quien analizó 33 equipos pertenecientes a una planta de envasado de botellas, durante un periodo de seis meses logrando determinar el diagnóstico actual de sus equipos mediante indicadores de mantenimiento a diferencia de nuestro estudio que fue por cada mes del año, primeramente logró determinar los indicadores de MTBF y MTTR con la finalidad de hallar la confiabilidad exceptuando la disponibilidad, entre los equipos estudiados tenemos el paletizador que obtuvo la fiabilidad de 87,20%, la baja confiabilidad hallada de los equipos fue consecuencia de las paradas imprevistas en las máquinas.

El segundo objetivo específico, se desarrolla mediante el análisis de criticidad basado en la teoría del riesgo, determinada de la frecuencia por la consecuencia, en el cual se estudia los nueve equipos pertenecientes a la línea impresora flexográfica, se realizó un análisis con el fin de identificar el nivel de criticidad de cada equipo pertenecientes a la máquina de estudio, el cual resultó que tres equipos son de alta criticidad siendo Flexo

1, Plegadora y Módulo Introdutor, además se identifica los equipos de media criticidad siendo Flexo 4, Troqueladora y Receptor de paquetes, por último, se identifica los equipos de baja criticidad siendo Flexo 2, Flexo 3 y Slotter. En la misma línea de acción tenemos la investigación de (Daniel, Litzabeth 2020) quien trabajó en el mismo sector, en la investigación emplea el análisis de criticidad basado en la teoría del riesgo, el cual analizó ocho equipos pertenecientes a impresoras flexográficas, el cual identifica equipos de alta, media y baja criticidad, como resultado tres equipos críticos siendo WARD I, TCY I y TEXO, los de media criticidad siendo TCY II y LANGSTON, por ultimo equipos de baja criticidad siendo WARD II y WARD III. La metodología aplicada en ambos estudios ayuda a identificar los equipos que tienen mayor riesgo, por lo tanto, en ellos se basa el diseño de las actividades preventivas de mantenimiento con la finalidad de incrementar la confiabilidad. Así mismo tenemos al autor (Arteaga Bazurto, Gorozabel Chata 2021) quien coincide con nuestro proyecto debido que emplea el análisis por criticidad basado en el riesgo, un estudio de las máquinas críticas perteneciente a la Plaza Calderón en Ecuador, en el estudio se busca determinar los equipos críticos, se identifica un equipo de alta criticidad de los seis estudiados, en el equipo de alta criticidad se desea aplicar la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad con el fin de reducir la tasa de fallos y aumentar la disponibilidad.

El tercer objetivo específico, se realiza las actividades del mantenimiento preventivo, diseñadas para los equipos de alta y media criticidad de la línea impresora flexográfica, logrando realizar actividades con una frecuencia mensual, trimestral, semestral y anual, con el objetivo es ejecutar un programa de mantenimiento preventivo para optimizar y prevenir fallas correctivas, además de diseñar formato de control y registro para dichas actividades de mantenimiento, que nos ayudan a mejorar la fiabilidad de los equipos, si el plan de mantenimiento preventivo se ejecuta de manera oportuna incrementa los indicadores de confiabilidad y disponibilidad. Como resultados semejantes tenemos el estudio realizado por (Bances Enriquez, Llontop Paredes 2021), donde elabora una propuesta de un plan de mantenimiento preventivo basado en actividades periódicas con lo cual logra el incremento de la disponibilidad de los equipos pertenecientes a una planta metalmeccánica, de igual manera el autor diseña un plan de mantenimiento preventivo

con una frecuencia mensual, trimestral, semestral y anual, esto se justifica que las únicas paradas sean por el plan de mantenimiento preventivo, que permite el aumento de la confiabilidad en los equipos. Asimismo tenemos al autor (Arce Chávez 2022), quien busca diseñar un plan de mantenimiento para incrementar la fiabilidad de un camión 793F, que a diferencia de nuestra investigación diseña actividades que se realiza mediante el número de horas de trabajo de dicho equipo, las cuales son de carácter preventivo pero con una frecuencia de 250 horas, 500 horas, 1000 horas y 4000 horas , en consecuencia se logra el incremento de los indicadores de mantenimiento teóricos aumentando la confiabilidad del equipo.

El cuarto objetivo específico, se determina los análisis teóricos mediante los indicadores de mantenimiento, primeramente, se determina los indicadores MTBF y MTTR (teóricos) con la finalidad de hallar la disponibilidad y confiabilidad (teórica), la cual se obtiene un valor de 93.31% y 85.58% respectivamente, se demuestra que el incremento en la disponibilidad generalmente se traduce en un incremento en la confiabilidad por ende nuestros indicadores teóricos justifican que la implementación de un plan de mantenimiento preventivo va a conseguir una mejora en la máquina estudiada, evitando que sufran paradas repentinas, lo cual demuestra que nuestro estudio es fiable. Esto concuerda con el estudio realizado por el autor (Arce Chávez 2022), el mismo que demuestra que después de implementar un programa de mantenimiento preventivo, se logra determinar nuevos indicadores teóricos de mantenimiento, primeramente en su investigación se halla el MTBF y MTTR (teórico) con la finalidad de determinar el valor de la confiabilidad (teórica) del equipo estudiado, donde incrementa de 90,04% a 97.64%, esto concuerda que al igual que nuestro estudio, emplea los indicadores de mantenimiento, en consecuencia el MTBF aumenta con respecto a la situación actual, lo cual permite incrementar la confiabilidad (teoría) mediante la implementación de un programa de mantenimiento preventivo con actividades periódicas.

Finalmente, en el último objetivo específico de nuestro estudio, se determina si el proyecto es viable y rentable, para ello se realiza una proyección mediante una evaluación económica del plan de mantenimiento preventivo, primeramente, empezamos

teniendo en cuenta los montos de inversión, los costos proyectados y los ingresos proyectados adjuntando la información en el flujo de caja proyectado, evaluando el proyecto de inversión mediante el VAN y TIR, con la finalidad de analizar la viabilidad del plan de mantenimiento preventivo propuesto, donde se requiere una Inversión de S/.165 697.56 con una tasa de interés 10%, logrando obtener un VAN positivo de S/. 120 848.01 y una TIR de 35.70%, lo que demuestra que el estudio nos beneficia económicamente. Con resultados semejantes tenemos al autor (Arce Chávez 2022), quien en su estudio busca determinar si su proyecto era viable en función del tiempo y rentable aplicando VAN y TIR para ello se estima una Inversión de S/. 615 000, donde se obtiene un VAN de S/. 97 843.6 y una TIR mensual de 5 %, con lo cual se demuestra que el proyecto es viable económicamente. Asimismo, el estudio del autor (Bances Enriquez, Llontop Paredes 2021), quién aumentar la disponibilidad mediante la propuesta de un mantenimiento preventivo, para ello necesita saber si es económicamente viable, para proceder a aplicarlo, logrando determinar que se requiere una Inversión de \$ 20000, un valor presente neto (VAN) de \$ 6 963 y una tasa interna de retorno (TIR) del 35.15 %, con los resultados, se deduce que la inversión será favorable, por ello ya es posible empezar la aplicación del proyecto.

V. CONCLUSIONES

- 1) Se realizó el análisis de la actual situación en la cual en la que se encuentra la línea impresión flexográfica habiéndose determinado que las máquinas carecen de un mantenimiento preventivo registrándose una disponibilidad 85.64% y confiabilidad 23.77%, lo cual demostró la baja fiabilidad de los equipos.
- 2) Se realizó el análisis de criticidad basado en la teoría del riesgo aplicado en la línea impresora flexográfica, para poder determinar los equipos de alta criticidad siendo estos Flexo 1, Plegadora y Módulo Introdutor, además siendo equipos de media criticidad Flexo 4, Troqueladora y receptor de paquetes.
- 3) Se determinaron las actividades del mantenimiento preventivo para las máquinas de alta y media criticidad de la línea impresora flexográfica, se logró diseñar actividades mensuales, trimestrales, semestrales y anuales, así mismo se diseñó formato de control y registro para el seguimiento de las actividades.
- 4) Se determinó el análisis teórico de los indicadores de mantenimiento registrándose una disponibilidad (teórica) de 93.31% y una confiabilidad (teórica) de 85.58%, se demostró que el incremento en la disponibilidad generalmente se traduce en un incremento en la confiabilidad por ende nuestros indicadores demuestran que nuestro estudio es fiable.
- 5) Se demostró que el proyecto es viable y rentable mediante una evaluación económica, se requiere una Inversión de S/.165697.56, concluyendo con un VAN positivo de S/. 120848.01 y una TIR de 35.70%.

VI. RECOMENDACIONES

- 1) Emplear un sistema de gestión de mantenimiento que asegure herramientas, técnicas para mejorar la eficiencia y minimizar el impacto de fallas correctivas de equipos mejorando la disponibilidad por ende la confiabilidad.
- 2) Realizar las mediciones de manera continua o por periodos de los indicadores de disponibilidad y confiabilidad para siempre estar en mejora continua y lograr los objetivos del plan de mantenimiento.
- 3) Realizar capacitaciones continuas y personalizadas que enriquezcan la sapiencia del personal en beneficio del plan de mantenimiento.
- 4) Se recomienda para futuras investigaciones en esta área sería realizar RBM (Mantenimiento Basado en Riesgo), distribuyendo los recursos en forma más económica, logrando reparar o minimizar los riesgos en equipos.
- 5) La aplicación del Mantenimiento Predictivo (con el uso de la tecnología como el caso del Analizador de Vibraciones, el uso de la Termografía y el Análisis de Lubricación).

REFERENCIAS

ALAMRI, Theyab O. y MO, John P. T., 2023. Optimisation of Preventive Maintenance Regime Based on Failure Mode System Modelling Considering Reliability. *Arabian Journal for Science and Engineering*. Vol. 48, n.º 3, pp. 3455-3477. DOI 10.1007/s13369-022-07174-w.

AL-DUAIS, Fuad S. et al., 2022. Optimal Periods of Conducting Preventive Maintenance to Reduce Expected Downtime and Its Impact on Improving Reliability. HOŠOVSKÝ, Alexander (ed.), *Computational Intelligence and Neuroscience*. Vol. 2022, pp. 1-11. DOI 10.1155/2022/7105526.

ALHAMAD, Khaled, ALKHEZI, Yousuf y ALHAJRI, M. F., 2022. Nonlinear Integer Programming for Solving Preventive Maintenance Scheduling Problem for Cogeneration Plants with Production. *Sustainability*. Vol. 15, n.º 1, p. 239. DOI 10.3390/su15010239.

ALVES DOS SANTOS, Ana Flávia et al., 2021. Reliability analysis of a plastic processing equipment: a case study supported by statistical software. *Revista Exacta*. pp. 130-146. DOI <https://doi.org/10.5585/exactaep.2021.18032>.

ARCE CHÁVEZ, Roger Iván, 2022. *Diseño de un plan de mantenimiento para mejorar la confiabilidad del camión minero Caterpillar 793F de la empresa SEMANGRU EIRL – Cajamarca*. [en línea]. Cajamarca, Perú : Universidad César Vallejo. Recuperado a partir de : <https://hdl.handle.net/20.500.12692/98972>

ARENHART, Rodrigo Schons et al., 2020. CONTRIBUTION OF MAINTENANCE PLANS IN A UNIVERSITY LABORATORY. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*. Vol. 17, n.º 2, pp. 1-16. DOI 10.14488/BJOPM.2020.020.

ARIAS GONZALES, José Luis y COVINOS GALLARDO, Mitsuo, 2021. *Diseño Y Metodología de la Investigación* [en línea]. ENFOQUES CONSULTING EIRL. ISBN 978-612-48444-2-3. Recuperado a partir de : <https://www.researchgate.net/publication/352157132>

ARTEAGA BAZURTO, Luis Eduardo y GOROZABEL CHATA, Francis Benjamín, 2021. Implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad a maquinarias críticas de la plaza Calderón. *Universidad Técnica de Manabí* [en línea]. Vol. 10, n.º 1. Recuperado a partir de : <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8099718>

BANCES ENRIQUEZ, Gustavo Andre y LLONTOP PAREDES, Luis Gustavo, 2021. *Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para aumentar la disponibilidad de equipos en Nave Armado de una planta metalmecánica* [en línea]. Chiclayo, Perú : Universidad César Vallejo. Recuperado a partir de : <https://hdl.handle.net/20.500.12692/89003>

BEN, Jacob, MOHAMED, Aezeden O. y MUDULI, Kamalakanta, 2021. Effect of Preventive Maintenance on Machine Reliability in a Beverage Packaging Plant: *International Journal of System Dynamics Applications*. Vol. 10, n.º 3, pp. 50-66. DOI 10.4018/IJSDA.2021070104.

CHEN, Wei et al., 2024. Reliability-Based Model for Incomplete Preventive Replacement Maintenance of Photovoltaic Power Systems. *Energy Engineering*. Vol. 121, n.º 1, pp. 125-144. DOI 10.32604/ee.2023.042812.

CUTIPA CESINARRO, Franger Adonis, 2023. *Implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad de máquinas de telar industrial para mejorar la disponibilidad en la empresa Lutex Manufactura S.A.C.* [en línea]. Trujillo : Universidad César Vallejo. Recuperado a partir de : <https://hdl.handle.net/20.500.12692/115886>

DANIEL, Huachani Coripuna y LITZABETH, Rodríguez Quispe, Kathleen, 2020. *Aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para mejorar la efectividad total de las impresoras flexográficas de una empresa papelera - 2020* [en línea]. LIMA - PERÚ : Universidad César Vallejo. Recuperado a partir de : <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/73203>

DE OLIVEIRA, Ualison Rébula et al., 2023. Straightening machine preventive maintenance intervention plan based on AHP: a case study in a steel company in Brazil. *Operations Management Research*. Vol. 16, n.º 3, pp. 1577-1593. DOI 10.1007/s12063-

023-00368-x.

KOOHSARI, Ali et al., 2022. A Critical Investigation on the Reliability, Availability, and Maintainability of EPB Machines: A Case Study. *Applied Sciences*. Vol. 12, n.º 21, p. 11245. DOI 10.3390/app122111245.

MARTINEZ MONSECO, Francisco Javier y PLANAGUMÁ VILAMITJANA, Albert, 2021. Innovando desde la Gestión del mantenimiento. El Remantenimiento. Caso práctico Central Hidroeléctrica. [en línea]. Vol. 42, n.º 2. Recuperado a partir de : https://www.researchgate.net/publication/354354280_Innovando_desde_la_Gestion_de_l_mantenimiento_El_Remantenimiento_Caso_practico_Central_Hidroelectrica

PEI, Yanhu et al., 2023. Grouping Preventive Maintenance Strategy of Flexible Manufacturing Systems and Its Optimization Based on Reliability and Cost. *Machines*. Vol. 11, n.º 1, p. 74. DOI 10.3390/machines11010074.

PENGFEEI, Zeng, WEIPING, Shao y YONGPING, 2021. Study on preventive maintenance strategies of filling equipment based on reliability-centered maintenance. *Tehnicki vjesnik - Technical Gazette*. Vol. 28, n.º 2. DOI 10.17559/TV-20190404054849.

PEREIRA, Fabio Henrique et al., 2023. Imperfect Preventive Maintenance Optimization with Variable Age Reduction Factor and Independent Intervention Level. *Applied Sciences*. Vol. 13, n.º 18, p. 10210. DOI 10.3390/app131810210.

PILLADO PORTILLO, Martín, CASTILLO PÉREZ, Velia Herminia y DE LA RIVA RODRÍGUEZ, Jorge, 2022. Metodología de administración para el mantenimiento preventivo como base de la confiabilidad de las máquinas. *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*. Vol. 12, n.º 24. DOI 10.23913/ride.v12i24.1218.

PUTRI, Nilda Tri, TAUFIK y BUANA, Filly Satria, 2020. Preventive Maintenance Scheduling by Modularity Design Applied to Limestone Crusher Machine. *Procedia Manufacturing*. Vol. 43, pp. 682-687. DOI 10.1016/j.promfg.2020.02.123.

QIN, Jinlei y LI, Zheng, 2020. Reliability Modeling for Multistate System with Preventive

Maintenance under Customer Demand. *Complexity*. Vol. 2020, pp. 1-9. DOI 10.1155/2020/3165230.

SA'AD, Aisha, NYOUNGUE, Aimé C. y HAJEJ, Zied, 2021. Improved Preventive Maintenance Scheduling for a Photovoltaic Plant under Environmental Constraints. *Sustainability*. Vol. 13, n.º 18, p. 10472. DOI 10.3390/su131810472.

SONG, Mengchu, ZHANG, Xinxin y LIND, Morten, 2023. Automatic identification of maintenance significant items in reliability centered maintenance analysis by using functional modeling and reasoning. *Computers & Industrial Engineering*. Vol. 182, p. 109409. DOI 10.1016/j.cie.2023.109409.

SUPRIYANTO, H., KURNIATI, N. y SUPRIYANTO, M. F. R., 2021. Maintenance Performance Evaluation of an RCM Implementation: A Functional Oriented Case Study. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*. pp. 702-709. DOI 10.18178/ijmerr.10.12.702-709.

TAMAYO LY, Carla y SILVA SIESQUÉN, Irene, 2020. Técnicas e instrumentos de recolección de datos. *Universidad Católica Los Ángeles de Chimbote* [en línea]. 2020. Recuperado a partir de : https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w24860w/Tecnicas_InstrumentosS2.pdf

TAMBE, Pravin P. y KULKARNI, Makarand S., 2022. A reliability based integrated model of maintenance planning with quality control and production decision for improving operational performance. *Reliability Engineering & System Safety*. Vol. 226, p. 108681. DOI 10.1016/j.ress.2022.108681.

URIBE, Sophia Cristina, 2020. Aplicación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de la máquina remalladora de una empresa textil. *Ingeniería Industrial*. N.º 038, pp. 15-31. DOI 10.26439/ing.ind2020.n038.4812.

VALDIVIEZO CORNEJO, Martin Enrique, 2023. *Propuesta de plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la producción de alcachofa de la línea piloto en la empresa Viru S.A.* [en línea]. Piura : Universidad de Piura. Recuperado a partir de :

<https://hdl.handle.net/11042/6182>

YANG, Yuan-Jian et al., 2020. Applying Reliability Centered Maintenance (RCM) to Sampling Subsystem in Continuous Emission Monitoring System. *IEEE Access*. Vol. 8, pp. 55054-55062. DOI 10.1109/ACCESS.2020.2980630.

ANEXOS

ANEXO 1. Tabla de operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Escala de medición
V1: RCM (Mantenimiento centrado en la Confiabilidad)	Para (Song, Zhang, Lind 2023), Es un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual.	Es una de las metodologías de mantenimiento más utilizadas en gran parte de la industria. Para su desarrollo se tiene en cuenta la situación actual, criticidad de los equipos y la planificación.	Situación actual	% Disponibilidad actual de la línea impresora flexográfica.	Porcentual
			Criticidad de los equipos	Número Frecuencia de fallos. Número de Consecuencia de los eventos de fallos.	Razón
			Planificación	Número de actividades programas de mantenimiento preventivo basado rcm.	Razón
V2: Confiabilidad	Para (Sa'ad, Nyoungue, Hajej 2021), es un indicador de la gestión de mantenimiento. Es la probabilidad de que un equipo realice su función dada dentro de un período de tiempo determinado y bajo condiciones de operación.	Para mejorar la confiabilidad se determinan un conjunto de indicadores que evalúan el tiempo de mantenimiento (MTTR), la frecuencia de fallas (MTBF) y el más importante, la probabilidad que ocurra una falla (Confiabilidad Teórica).	Tiempo medio entre fallas	Tiempo total de mantenimiento. Tiempo de inactividad. Número de paradas.	Razón
			Tiempo medio de reparación	Tiempo total de mantenimiento. Número de reparaciones.	Razón
			Confiabilidad Teórica	Tiempo medio entre fallas en horas. Número de Euler. Tasa de fallas.	Porcentual

Anexo 7. Análisis por criticidad: Se realizó el análisis de criticidad basado en la teoría del riesgo:

Criterios utilizados:

A. Frecuencia

FRECUENCIA DE FALLA	
1	≤3 por mes
2	>3 y ≤ 6 por mes
3	>6 y ≤9 por mes
4	>9 y ≤12 por mes



B. Consecuencia

IMPACTO OPERACIONAL	
1	Pérdidas de producción menor al 5%
3	Pérdidas de producción entre el 5% y el 9%
5	Pérdidas de producción entre el 10% y el 24%
7	Pérdidas de producción entre el 25% y el 49%
10	Pérdidas de producción superiores al 50%

FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	
4	No se cuenta con unidades de reserva para cubrir la producción, tiempos de reparación y logística muy grandes.
3	Se cuenta con unidades de reserva con limitaciones de producción, tiempos de reparación y logística intermedios.
2	Se cuenta con unidades de reserva que logran cubrir de forma parcial el impacto de producción, tiempos de reparación y logística intermedios.
1	Se cuenta con unidades de reserva en línea, tiempos de reparación y logística pequeños.

COSTO DE MANTENIMIENTO	
1	Entre cero a 1000 soles
2	Entre 1000 soles a 3000 soles
3	Entre 2000 soles a 5000 soles
4	Entre 5000 soles a 7000 soles
5	Superior a 7000 soles

IMPACTO EN LA SEGURIDAD, HIGIENE Y AMBIENTE	
1	Sin consecuencia
2	Mínimas consecuencias personales / a la infraestructura / al medio ambiente
3	Pocas consecuencias personales / a la infraestructura / al medio ambiente
5	Moderadas consecuencias personales / a la infraestructura / al medio ambiente
7	Graves consecuencias personales / a la infraestructura / al medio ambiente, con algún compromiso a disposiciones legales
10	Muy graves consecuencias personales / a la infraestructura / al medio ambiente, con compromiso a disposiciones legales

IMPACTO EN CALIDAD	
1	No hay afectación en la calidad del producto
2	Afectación hasta un 1% de la calidad del producto
3	Afectación entre el 1.1% y el 2% de la calidad del producto
4	Afectación entre el 2.1% y el 3% de la calidad del producto
5	Afectación mayor al 3% de la calidad del producto