



POSGRADOS

Maestría en **PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES**

RPC-SO-30-NO.506-2019

Opción de Titulación:

Propuestas metodológicas y tecnológicas avanzadas

Tema:

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO
PREVENTIVO PARA EL ÁREA DE SELLADO
DE UNA EMPRESA DEDICADA A LA
FABRICACIÓN DE PRODUCTOS PLÁSTICOS

Autor(es)

CHRISTIAN XAVIER RODRIGUEZ CUNALATA

Director:

ING. ARMANDO FABRIZIO LÓPEZ VARGAS
PHD

GUAYAQUIL – Ecuador

[2023]

Autor(es):



[Christian Xavier Rodríguez Cunalata
Ingeniero Industrial
Candidato A Magíster en Producción y Operaciones Industriales
por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Guayaquil.
crodriguez5@est.ups.edu.ec]

Dirigido por:



[Ing. Armando Fabrizzio López Vargas PhD.
Ingeniero Mecánico
Dr. Ingeniería Industrial por la Universidad Nacional Mayor de San
Marcos
Director de Tesis
Universidad Politécnica Salesiana
alopez@ups.edu.ec]

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

**2023 © Universidad Politécnica Salesiana.
GUAYAQUIL– ECUADOR – SUDAMÉRICA
RODRÍGUEZ CUNALATA CHRISTIAN XAVIER**

“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EL ÁREA DE SELLADO DE UNA EMPRESA DEDICADA A LA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS PLÁSTICOS”

Dedicatoria

Este proyecto se lo quiero dedicar a mi familia, en especial a mis padres Sr. Rodolfo Rodríguez y Sra. María Elena Cunalata quienes han sido un apoyo incondicional en todas las instancias de mi vida, aun cuando caí y fracasé me supieron entender y estuvieron prestos a darme una segunda oportunidad para poder cumplir mis objetivos.

Hoy estoy concluyendo una meta más y se la dedico con mucho amor y cariño a mis queridos padres, a mis hermanos y a mis sobrinos para los cuales espero que les sirva de ejemplo este logro alcanzado y en el futuro puedan superarse y llegar más lejos.

Agradecimiento

Agradecimiento muy especial a Dios todopoderoso por darme la oportunidad de realizar esta maestría, a mis padres y familia por el apoyo incondicional, a los amigos que siempre me dieron el empuje y los ánimos necesarios para no desertar, a los compañeros con los cuales formamos grupos de trabajo durante el desarrollo de la maestría y libramos varias batallas académicas durante los módulos y a todos los profesores que con sus conocimientos y amplia experiencia nos supieron impartir sus destrezas para formarnos como futuros magísteres, finalmente a mi tutor de tesis Ing. Armando López por la paciencia y pre disposición que tuvo para sacar este proyecto adelante.

Christian Xavier Rodríguez Cunalata

Tabla de Contenido

1	DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.1	SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	3
1.2	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	8
1.2.1	Problema general.....	8
1.2.2	Problemas específicos	8
1.3	JUSTIFICACIÓN	8
1.4	OBJETIVOS	9
1.4.1	Objetivo general	9
1.4.2	Objetivos específicos.....	10
1.5	HIPÓTESIS	10
1.5.1	Hipótesis general	10
1.5.2	Hipótesis específicas	10
2	MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	11
2.1	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	11
2.1.1	Mantenimiento	11
2.1.2	Tipo de mantenimiento.....	12
2.1.3	Confiabilidad en el mantenimiento de la máquina.....	14
2.1.4	Mantenimiento preventivo total	16
2.1.5	Síntesis literaria	38
3	METODOLOGÍA.....	40
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN	40
3.2	ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN	40
3.3	DESCRIPCIÓN INICIAL	41
3.4	IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS EN EL ÁREA	41
3.5	DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	42
3.6	DATOS E INFORMACIÓN	43
3.7	CÁLCULO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	44
4	ANÁLISIS DE DATOS	48
4.1	DETERMINACIÓN DE DATOS CUANTITATIVOS EN LA PARALIZACIÓN DE MAQUINARIA	48

4.1.1	Descripción del producto y proceso	48
4.1.2	Proceso de Extrusión	49
4.1.3	Análisis de elementos significativos de mantenimiento	50
4.2	IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS TIPOS DE DAÑOS EN LOS COMPONENTES DE LA MÁQUINA.....	51
4.3	ANÁLISIS DE CAUSA Y EFECTO	54
4.3.1	Rodamientos de los rodillos safonadores	56
4.3.2	Banda del motor principal	57
4.3.3	Caja reductora del motor principal.....	58
4.3.4	Banda del motor principal	58
4.3.5	Piñones de nylon de los rodillos de arrastre	59
4.4	CAUSA DE LA FALLA.....	60
4.4.1	Rodamientos de los rodillos safonadores.....	60
4.4.2	Banda del motor principal	60
4.4.3	Caja reductora del motor principal.....	61
4.4.4	Piñones de nylon del rodillo de arrastre	61
4.4.5	Pernos de la mesa de las agujas.....	61
4.5	TIEMPO MEDIO ENTRE FALLOS.....	62
4.6	CÁLCULO DEL TIEMPO DE REPARACIÓN.....	71
4.7	COSTO ACTUAL DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO.....	74
4.8	PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	77
4.8.1	Requerimientos de mantenimiento.....	80
4.9	FASES DE MANTENIMIENTO	84
4.9.1	Diario (con máquinas encendidas)	84
4.9.2	Mantenimiento periódico (cada 2 o 3 semanas).....	86
4.9.3	Mantenimiento completo (semestral).....	88
4.10	PROCEDIMIENTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO	88
4.11	COSTOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	89
4.11.1	Gastos permanentes.....	90
4.11.2	Inventario de repuestos.....	90
4.12	ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE LA PROPUESTA Y AHORRO EN COSTOS	93
4.13	CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS Y VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS	94
5	CONCLUSIONES.....	99

6	RECOMENDACIONES	101
	BIBLIOGRAFÍA	102
	ANEXOS	106

Lista de tablas

Tabla 1. Nómina de mantenimiento	4
Tabla 2. Ventas anuales de la empresa 2022	6
Tabla 3. Efectividad general del equipo (EGE), elementos y pérdidas	36
Tabla 4. Valores EGE para diferentes tipos de industria.....	37
Tabla 5. Comparación de la duración de las pérdidas por paros	51
Tabla 6. Tiempo de producción paralizada	52
Tabla 7. Frecuencia de falla de los componentes	53
Tabla 8. Análisis de causa y efecto.....	55
Tabla 9. Valor RPN del componente fallido	56
Tabla 10. Tiempo entre fallos (días).....	63
Tabla 11. Cálculo de normalidad para los tiempos entre fallas.....	63
Tabla 12. Test de normalidad	69
Tabla 13. Media y desviación estándar de tiempos de falla	70
Tabla 14. Límites inferior y superior de los tiempos de falla.....	70
Tabla 15. Límite inferior y media de tiempos de falla por máquina	71
Tabla 16. Tiempo de reparación de máquina	73
Tabla 17. Tiempo total de fallas por tipo de falla.....	74
Tabla 18. Costos de repuestos y personal externo.....	75
Tabla 19. Cálculos de pérdida de producción por fallas.....	76
Tabla 20. Costo total por mantenimiento correctivo	77
Tabla 21. Plan de mantenimiento preventivo por máquina	77
Tabla 22. Cronograma de mantenimiento	79
Tabla 23. Mantenimiento diario con responsable.....	84
Tabla 24. Mantenimiento periódico.....	86
Tabla 25. Inventario inicial y trimestral requerido	90
Tabla 26. Costo de inventario.....	92
Tabla 27. Total gastos semestral de mantenimiento preventivo.....	92
Tabla 28. Detalle de costos de horas extras	93
Tabla 29. Inversiones requeridas	93
Tabla 30. Comparación de costos previo a la implementación y con implementación..	93
Tabla 31. Flujos esperados para 3 años	94
Tabla 32. Cumplimiento de objetivos.....	94

Tabla 33. Verificación de hipótesis 96

Lista de figuras

Figura 1. Datos económicos de la empresa (segundo semestre 2022)	7
Figura 2. Clasificación de estrategias de mantenimiento en producción industrial	11
Figura 3. Pilares de la planificación de mantenimiento preventivo	19
Figura 4. Diagrama de flujo del proceso de mantenimiento predictivo	27
Figura 5. Bobina montada en la máquina selladora.....	42
Figura 6. Bobina de película plástica.....	43
Figura 7. Extrusora	44
Figura 8. Flujo del proceso de sellado	49
Figura 9. Diagrama de Pareto del Componente Crítico.....	54
Figura 10. Gráficas de ajuste de normalidad de tiempos entre falla por máquina	67

Lista de anexos

Anexo 1. Empresa fabricante de productos plásticos	107
Anexo 2. Empresa fabricante de productos plásticos	107
Anexo 3. Área de sellado.....	108
Anexo 4. Componentes que generan las principales fallas en la maquinaria.....	109
Anexo 5. Matriz de Consistencia.....	112

**DISEÑO DE UN PLAN
DE MANTENIMIENTO
PREVENTIVO PARA EL
ÁREA DE SELLADO DE
UNA EMPRESA
DEDICADA A LA
FABRICACIÓN DE
PRODUCTOS PLÁSTICOS**

Autor:

CHRISTIAN XAVIER RODRÍGUEZ CUNALATA

Resumen

El presente estudio se ha realizado como un diseño de plan de mantenimiento preventivo para el área de sellado de una de las principales empresas fabricantes de productos plásticos de Guayaquil. El período de análisis es de enero a junio de 2022, equivale al primer semestre del año, considerando las reiteradas fallas de operatividad y productividad en las máquinas del área. La comparativa de la incidencia de afectación de la paralización de las máquinas se estima en costos semestrales de alrededor de \$40.000 de los cuales gran parte son pérdidas y que disminuyen los beneficios de la empresa. La metodología de investigación es cualitativa – cuantitativa, debido a que se cualificaron los datos obtenidos de la máquina, presentados por la empresa, y se cuantificaron los datos de incidencia de la paralización en la producción y operatividad. Los resultados presentados demostraron que existe hasta 142,4 horas de tiempo de reparación de máquinas, que equivale a una pérdida de producción de 18.400 kg. Semestral, lo cual equivale finalmente a un valor neto anual de pérdida de beneficios por US\$51.909. Los componentes críticos resultaron los pernos de la mesa de las agujas, piñones de nylon del rodillo de arrastre, caja reductora del motor principal, banda del motor principal y rodamientos de los rodillos safonadores. El diseño del plan de mantenimiento preventivo prevé un aumento de la confiabilidad de las máquinas, en todo el proceso operativo y productivo con lo cual, en base a un análisis de rentabilidad considerando una inversión de \$37.834 se obtendrá una rentabilidad (TIR) del 39% en un período de 2 años, maximizando los recursos y haciendo a la empresa más competitiva y productiva.

Palabras claves: Mantenimiento preventivo, industria, plástico, máquinas, producción.

Abstract

This study has been conducted as a preventive maintenance plan design for the sealing area of one of the main plastic product manufacturing companies in Guayaquil. The analysis period is from January to June 2022, which is the first semester of the year, considering the repeated operational and productivity failures of the machines in the area. The comparison of the incidence of the machines' shutdowns estimates a semi-annual cost of around \$40,000, of which a large part is losses that decrease the company's profits. The research methodology is qualitative-quantitative because the data obtained from the machine, presented by the company, was qualified, and the incidence data of the shutdown on production and operability was quantified. The results presented showed that there are up to 142.4 hours of machine repair time, which equates to a production loss of 18,400 kg per semester, ultimately resulting in a net annual profit loss of \$51,909. The critical components were the table bolts of the needles, nylon pinions of the feed roller, main motor reduction gearbox, main motor belt, and squeegee roller bearings. The preventive maintenance plan design foresees an increase in machine reliability throughout the operational and productive process, with which, based on a profitability analysis considering an investment of \$37,834, a return on investment (TIR) of 39% will be obtained over a period of 2 years, maximizing resources and making the company more competitive and productive.

Keywords: Maintenance preventive, industry, plastic, machines, production.

I. Introducción

El objetivo de este estudio es diseñar un plan de mantenimiento preventivo para el área de sellado de una empresa de fabricación de productos plásticos. El contexto actual que exige una constante innovación y mejora continua en las operaciones industriales, la competencia global ha obligado a las organizaciones a adoptar nuevas estrategias competitivas, entre ellas, la minimización de la pérdida de producción causada por averías que afectan directamente el tiempo de paralización de la maquinaria, un factor clave para la productividad industrial. Para lograr una línea de producción libre de averías y maximizar los tiempos de ejecución es esencial implementar un programa de mantenimiento confiable, que asegure que las reparaciones necesarias se realicen a tiempo y de manera completa.

Para el caso se aplican dos tipos de programas de mantenimiento: el mantenimiento por avería, que se ocupa de las máquinas o sistemas después de que se han averiado, y el mantenimiento preventivo, que tiene como objetivo reducir o evitar las averías realizando actividades de mantenimiento de manera periódica. El mantenimiento preventivo es fundamental para garantizar una producción eficiente y reducir los costos operativos. Sin embargo, el desarrollo de una estrategia de mantenimiento preventivo puede ser un desafío significativo para las plantas pequeñas y medianas, especialmente en la fabricación de productos plásticos, debido a sus limitaciones de recursos.

Para superar estos desafíos, es necesario adoptar un marco de pensamiento adecuado y desarrollar una estrategia de mantenimiento preventivo efectiva. Si se implementa correctamente, el mantenimiento preventivo puede aumentar la confiabilidad del sistema, mejorar el tiempo de actividad de la máquina, minimizar las averías del equipo y mejorar la eficiencia de la producción, todo a bajo costo operativo. En resumen, el mantenimiento preventivo es esencial para garantizar una producción eficiente y reducir los costos operativos en la fabricación de productos plásticos, y su implementación requiere un enfoque estratégico y una adecuada asignación de recursos.

El mantenimiento preventivo se divide en varias actividades, como limpieza, inspección, lubricación, ajuste y reemplazo de piezas desgastadas, que tienen como objetivo aumentar tanto la disponibilidad como la confiabilidad de todas las máquinas en la planta de producción. La confiabilidad se logra al reducir el riesgo de falla, lo que

permite que la máquina funcione correctamente durante un período específico en condiciones predeterminadas. La disponibilidad, por su parte, se aumenta al minimizar el tiempo de inactividad no planificado y los tiempos de cambio.

El plan de mantenimiento preventivo tiene como propósito detectar y prevenir fallas antes de que generen perturbaciones en la máquina y el sistema de producción. A medida que los dispositivos envejecen, su probabilidad de falla aumenta, por lo que es importante llevar a cabo un mantenimiento adecuado para evitar fallas catastróficas. El plan de mantenimiento preventivo depende de varios factores, incluido el nivel de tecnología, el tipo de procesos de producción y la antigüedad y condición del equipo.

La innovación tecnológica es fundamental para el crecimiento industrial y el desarrollo económico sostenido de cualquier empresa. Por lo tanto, es importante desarrollar estrategias de mantenimiento preventivo adecuadas para las industrias de todos los sectores, especialmente en el área de sellado de una empresa dedicada a la fabricación de plásticos. El objetivo es reducir los tiempos de paralización de maquinaria mediante el diseño de un plan de mantenimiento preventivo que permita detectar y reducir posibles fallos y paradas no programadas, garantizando así la disponibilidad y confiabilidad industrial. Una planificación y ejecución adecuada del mantenimiento preventivo puede reducir significativamente las averías totales y las pérdidas de tiempo de la planta, lo que aumenta la fiabilidad y disponibilidad del sistema de producción.

1 Determinación del problema

1.1 Situación problemática

Este estudio tiene como objetivo diseñar un plan de mantenimiento preventivo y evaluar su efecto en la confiabilidad de la maquinaria de una unidad de fabricación de productos plásticos, específicamente de empaques flexibles. Se busca contribuir al acervo del conocimiento en la producción industrial y desarrollo productivo. Además, se pretende identificar la importancia del mantenimiento preventivo y los desafíos relevantes a largo plazo, especialmente en economías en desarrollo como la ecuatoriana, donde los recursos son limitados y los métodos de trabajo menos organizados.

El presente documento se centra en una empresa de fabricación de productos plásticos, que comenzó sus operaciones en 1984 y ofrece una variedad de alternativas en la transformación de plásticos, siendo su principal producto los empaques flexibles, tales como bolsas de alta y baja densidad. En los últimos 10 años, la empresa ha experimentado un crecimiento sostenido y progresivo, mejorando continuamente sus procesos de fabricación y logrando una gran aceptación y participación en el mercado local. Asimismo, se preocupa por el bienestar de sus empleados y el cuidado del medio ambiente, fomentando un pensamiento ecológico.

La empresa cuenta con diversas áreas donde se llevan a cabo diferentes procesos, y el departamento de mantenimiento es responsable de dar soporte a todas las máquinas en cada una de ellas, incluyendo extrusión, sellado, peletizado, tubería y termoformado. Actualmente, el departamento está formado por 10 personas y se prevé que este estudio aumente su conocimiento y permita evaluar el programa de mantenimiento preventivo de la empresa, con el fin de determinar si el nivel de planificación, programación y ejecución de las actividades de mantenimiento está cumpliendo con los requisitos necesarios para reducir las averías de las máquinas y las pérdidas de tiempo en el área de sellado. Por lo tanto, a continuación se establece la definición operativa y funcional de la nómina de mantenimiento de la empresa para el área específica donde se llevará a cabo el estudio.

Tabla 1. *Nómina de mantenimiento*

<i>Nómina de mantenimiento</i>	<i>Detalle</i>
<i>Jefe de Mantenimiento</i>	1
<i>Analista de Mantenimiento</i>	1
<i>Jefe de Taller</i>	1
<i>Técnico de Electrónicos</i>	2
<i>Mecánicos/Ajustadores</i>	2
<i>Mecánicos/Ayudantes</i>	3
<i>Total, Plantilla Mantenimiento</i>	10

Fuente: (Empresa Industrial de Fabricación de Plásticos EIFP, 2022)

El escenario situacional prevé la recopilación de datos cuantitativos en tiempo real mediante el software de registro de datos de producción en línea del área de sellado y datos históricos de desglose del equipo de mantenimiento correspondientes al semestre julio – diciembre de 2022. A través de la recopilación y tabulación de estos datos, se analizan los procesos de fabricación de productos de plástico en la empresa. Como resultado de la inestabilidad económica, la empresa se ve en la necesidad de aumentar su eficiencia productiva.

Uno de los factores clave que respalda el proceso de producción es que la máquina siempre debe estar en buenas condiciones para cumplir con los objetivos de producción, lo que requiere de un mantenimiento programado. El mantenimiento tiene un papel importante en el apoyo a la operación del sistema sin problemas y puede minimizar los costos o pérdidas incurridos debido a las averías de la máquina. El mantenimiento puede ser de varios tipos, siendo los principales el mantenimiento preventivo y el correctivo.

Se estima que la ineficiencia en el mantenimiento preventivo es un factor importante que contribuye al desperdicio y las averías en la máquina debido a la falta de arreglos, la poca capacidad del personal y la falta de prioridad de trabajo, lo que impide una programación efectiva de la operación. Cualquier avería de la máquina durante el proceso de producción puede perturbar todo el proceso y dificultar el logro de los objetivos de producción. Por lo tanto, es fundamental contar con un programa de mantenimiento efectivo para maximizar los recursos disponibles y obtener mayores beneficios para la empresa.

Para mejorar la eficiencia del mantenimiento y maximizar la confiabilidad del equipo, se requerirá una técnica para el desarrollo del mantenimiento preventivo programado que se base en el principio de la confiabilidad del equipo y la estructura del desempeño a lograr. Esto debe ser consistente con la función del diseño y la calidad del establecimiento del mantenimiento preventivo efectivo para garantizar su implementación y mejorar la confiabilidad del equipo.

Actualmente, el sistema de mantenimiento existente en la empresa no ha sido bien organizado, lo que provoca fallas frecuentes en la máquina y tiempo de inactividad para su reparación. Esta investigación se centrará en el área de sellado de fundas plásticas, donde se lleva a cabo el proceso de cortado, sellado, troquelado y empaquetado. Los datos de pérdidas por paros durante el semestre julio – diciembre de 2022 demostraron que la empresa aplica un mal sistema de mantenimiento.

(Empresa Industrial de Fabricación de Plásticos EIFP, 2022).

Existen 5 componentes que contribuyen de manera significativa a las averías de la máquina, incluyendo los pernos de la mesa de las agujas, piñones de nylon del rodillo de arrastre, caja reductora del motor principal, banda del motor principal y rodamientos de los rodillos safonadores. Esta investigación se llevará a cabo para optimizar la producción en línea, especialmente para reducir el tiempo de inactividad de la máquina y aumentar su confiabilidad.

En base a los datos recopilados, se propone una estrategia de mantenimiento preventivo que se enfoca en los cinco componentes críticos de la máquina que contribuyen al máximo a las averías de la máquina. La estrategia de mantenimiento preventivo se basa en la planificación del intervalo de mantenimiento y en la identificación temprana de problemas en los componentes críticos. El objetivo de la estrategia de mantenimiento preventivo es aumentar la confiabilidad de la máquina y reducir el tiempo de inactividad de la máquina.

La implementación de la estrategia de mantenimiento preventivo propuesta debe ser llevada a cabo por un equipo dedicado de personal de mantenimiento que esté altamente capacitado y tenga experiencia en la implementación de programas de mantenimiento preventivo. Además, se requiere un sistema de gestión de mantenimiento informatizado

que permita el seguimiento del historial de mantenimiento y la planificación del mantenimiento.

En resumen, la empresa de fabricación de plásticos enfrenta problemas de eficiencia productiva debido a la falta de un programa de mantenimiento efectivo. La implementación de una estrategia de mantenimiento preventivo basada en la planificación del intervalo de mantenimiento y la identificación temprana de problemas en los componentes críticos de las máquinas puede aumentar la confiabilidad de las mismas y reducir el tiempo de inactividad. La implementación de esta estrategia requiere la participación de un equipo dedicado de personal de mantenimiento altamente capacitado y un sistema de gestión de mantenimiento informatizado para el seguimiento del historial de mantenimiento y la planificación del mantenimiento.

A continuación, se presentan los datos de las ventas actuales de la empresa en el año 2022:

Tabla 2. Ventas anuales de la empresa 2022

Medida	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Dina 4	\$ 149,874	\$ 212,740	\$ 248,868	\$ 154,726	\$ 86,616	\$ 192,002
Dina 5	\$ 114,973	\$ 133,734	\$ 194,624	\$ 112,474	\$ 138,173	\$ 141,827
Total	\$ 264,847	\$ 346,474	\$ 443,492	\$ 267,201	\$ 224,789	\$ 333,829

	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Dina 4	\$ 220,397	\$ 221,164	\$ 184,382	\$ 206,962	\$ 194,780	\$ 195,716
Dina 5	\$ 104,167	\$ 149,583	\$ 108,733	\$ 140,356	\$ 116,011	\$ 161,836
Total	\$ 324,564	\$ 370,747	\$ 293,115	\$ 347,319	\$ 310,791	\$ 357,552

Total 1er semestre	\$ 1,880,632
Total 2do semestre	\$ 2,004,087
Total 2022	\$ 3,884,719

Fuente: (Empresa Industrial de Fabricación de Plásticos EIFP, 2022)

Figura 1. Datos económicos de la empresa (segundo semestre 2022)



Fuente: (Empresa Industrial de Fabricación de Plásticos EIFP, 2022)

La paralización de una máquina ha provocado una disminución económica aún estimada en al menos 40.000 dólares en el último semestre y que son repetitivos de los últimos años. (2021, 2022). Es importante destacar que los ingresos de la empresa en 2020 también disminuyeron debido a la pandemia por Covid-19, lo que causó la suspensión temporal y parcial de las actividades de la empresa durante aproximadamente dos meses. Por lo tanto, la paralización actual ha afectado significativamente el desempeño económico de la empresa, especialmente durante el período de diciembre de 2021 a enero de 2022, donde el semestre completo se mantuvo en una situación similar debido a los problemas en las máquinas.

Es importante destacar que esta empresa es una organización líder en la industria y una de las más grandes del Ecuador, lo que subraya la necesidad de resolver las fallas actuales para impulsar el aumento de la producción a nivel local y nacional. Por lo tanto, es fundamental analizar los factores que contribuyen a los tiempos de inactividad elevados en el dispositivo crítico de la planta en el área de sellado durante el primer semestre del año 2022 (de enero a junio), recopilando datos sobre las fallas en los tiempos de ejecución de los procesos productivos departamentales. Con esta

información, se espera desarrollar contramedidas para evitar que se repitan las averías, mejorando así la confiabilidad general de la planta a través de un mantenimiento preventivo

1.2 Formulación del problema

El problema que se ha detectado se centra en los tiempos de paralización de las máquinas por reparaciones no programadas, existiendo problemas permanentes de paralización de máquina generando pérdidas de producción, así como daños al equipo, de esta manera, al no existir un plan de mantenimiento preventivo las reparaciones se las hacen de forma permanente, es decir que el 100% de los mantenimientos son correctivos. Como consecuencia de esto, los tiempos de reparación aumentan ya sea debido a que no hay un repuesto en stock o una pieza necesita ser reconstruida o fabricada lo que demora más la entrega de la máquina, esto influye directamente en el rendimiento operativo, ya que no cumple con la producción esperada con pérdidas relacionadas a esto.

1.2.1 Problema general

¿Es posible la reducción de los tiempos de paralización de maquinaria si se diseña un plan de mantenimiento preventivo para el área de sellado de una empresa de fabricación de productos plásticos?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo afecta a la producción los elevados tiempos de paralización de maquinaria en el área de sellado?
- ¿Cómo se reducirían los tiempos de paralización de maquinaria si se diseña un plan de mantenimiento preventivo para el área de sellado?
- ¿En base a los antecedentes de las máquinas, condiciones actuales, recomendaciones del fabricante y el análisis de los diferentes daños, es posible diseñar un plan de mantenimiento preventivo?

1.3 Justificación

El presente estudio se justifica debido a la importancia operativa que tiene el mantenimiento preventivo en el área de sellado para la fabricación de productos plásticos en el sector industrial donde la empresa desarrolla sus actividades. El área de sellado cuenta con máquinas que tienen un tiempo de trabajo que oscila entre los 10 y

15 años, compuestas de sistemas neumáticos, hidráulicos, partes y piezas mecánicas de engranajes, fricción, etc., que necesitan un mantenimiento adecuado para mantener el proceso productivo en el tiempo, a corto y mediano plazo, con incidencia directa en el mejoramiento continuo de la productividad a largo plazo para la industria.

La justificación del proyecto se estima considerando que, en la actualidad, la empresa no cuenta con un plan de mantenimiento preventivo, por lo tanto, el tipo de mantenimiento que se realiza es cien por ciento correctivos. Esto conlleva a que cada máquina del área sufra en determinados momentos daños graves que demandan varias horas y, en ocasiones, días para su reparación. Al manejar un mantenimiento correctivo, el personal de mantenimiento tiene que estar constantemente recurriendo a las máquinas para tratar de solventar los problemas presentados en la jornada de trabajo. Sin embargo, en ocasiones se requiere algún repuesto y el riesgo de que no haya stock en bodega representa una prolongación en el tiempo de entrega de la máquina. Asimismo, si la reparación implica la fabricación de una pieza ya sea por rotura o desgaste, se extienden los tiempos de inactividad, lo cual conlleva pérdidas para la empresa y un atraso funcional para el área de sellado.

En base a ello, surge la necesidad de diseñar un plan de mantenimiento preventivo con la finalidad de establecer inspecciones periódicas que permitan detectar posibles fallos de la máquina, evitando así paradas no programadas que afectan a la producción. Con el diseño del plan de mantenimiento preventivo, se pretende que el departamento de mantenimiento de la empresa pueda trabajar de manera organizada siguiendo un cronograma de trabajo que cuente con la información técnica de cada máquina, los trabajos realizados anteriormente y la frecuencia de futuras inspecciones. La meta es reducir los tiempos de paralización de maquinaria, mantener un stock promedio de repuestos para optimizar el tiempo de reparación de la máquina y evitar que las piezas mecánicas sufran un desgaste prematuro.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo para el área de sellado de una empresa dedicada a la fabricación de productos plásticos.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar a través de datos cuantitativos como influye la paralización de una máquina en la producción.
- Identificar y analizar los tipos de daños que influyen directamente en los altos tiempos de paralización de maquinaria.
- Diseñar el plan de mantenimiento preventivo considerando los antecedentes de reparaciones, recomendaciones del fabricante, análisis de los daños y las necesidades del área de sellado.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

El diseño de un plan de mantenimiento preventivo permitirá reducir el tiempo de paralización de maquinarias, optimizará la producción y aumentará la confiabilidad y la vida útil de las máquinas.

1.5.2 Hipótesis específicas

- Los tiempos de paralización de maquinaria son altos al no existir un plan de mantenimiento preventivo afectando la producción, el rendimiento y la confiabilidad de las máquinas.
- Con el análisis de datos cuantitativos, las condiciones y factores que intervienen en los tiempos de paralización de maquinaria podemos diseñar el plan de mantenimiento preventivo.
- Con el diseño de un plan de mantenimiento preventivo para las máquinas del área de sellado se podrá reducir los tiempos de paralización de maquinaria, aumentando la producción, el rendimiento y la confiabilidad.

2 Marco teórico referencial

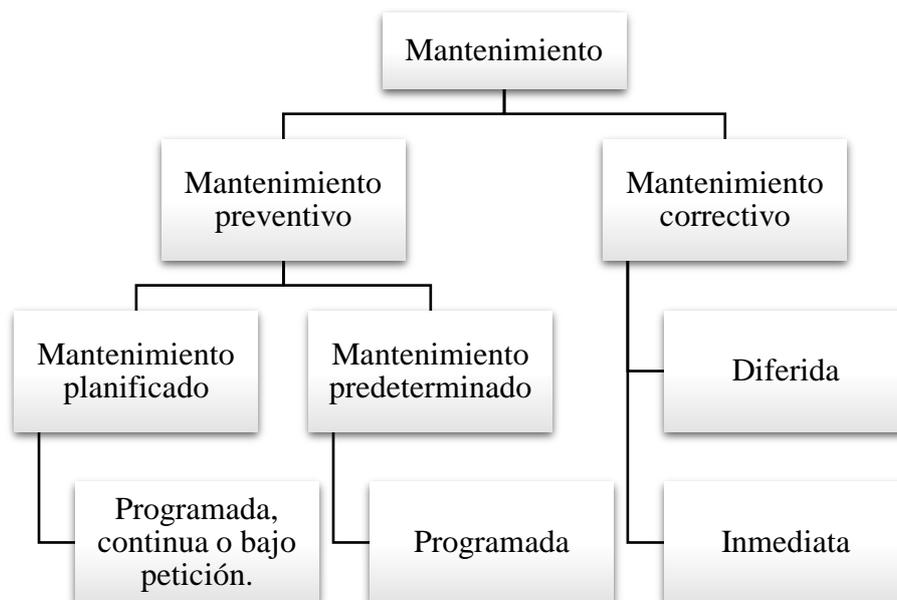
2.1 Fundamentación teórica

2.1.1 Mantenimiento

El mantenimiento se define como la combinación de acciones técnicas, administrativas y de gestión realizada durante el ciclo de vida de un elemento con el objetivo de mantenerlo o restaurarlo a un estado en el que pueda realizar su función requerida. En la fabricación, cualquier equipo utilizado en la planta requiere un mantenimiento y reparación adecuados para mejorar la seguridad y capacidad de producción (Núñez, 2017).

Por lo tanto, existen varias estrategias de mantenimiento disponibles que se dividen en dos grandes grupos: mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo. Las tareas de mantenimiento preventivo tienen como objetivo prevenir el tiempo de inactividad no programado y el daño prematuro del equipo, lo que reduciría la necesidad de realizar actividades correctivas o de reparación. Los dos grupos pueden subdividirse en:

Figura 2. Clasificación de estrategias de mantenimiento en producción industrial



Fuente: (Noguera & Fernández-Concha, 2018)

La definición de mantenimiento, según Olmos (2016), implica mantener y promover el uso adecuado de las instalaciones existentes, así como realizar las reparaciones, ajustes o reemplazos necesarios para obtener una condición de operación de producción de acuerdo con la planificación existente. Los principales objetivos del mantenimiento son:

- a) Mantener la capacidad de los equipos o instalaciones de producción para satisfacer las necesidades de acuerdo con los objetivos y planes de producción,
- b) reducir el uso y almacenamiento más allá de los límites y mantener el capital invertido en la empresa por un período específico según la política de la empresa,
- c) mantener la calidad del producto en el nivel esperado para satisfacer las necesidades del producto y evitar que la actividad de producción se vea perturbada,
- d) observar y evitar actividades de operación de máquinas y equipos que puedan comprometer la seguridad, y
- e) alcanzar el nivel de coste más bajo posible, realizando las actividades de mantenimiento de forma eficaz y eficiente.

2.1.2 Tipo de mantenimiento

Existen dos tipos de mantenimiento: el mantenimiento preventivo y el mantenimiento correctivo. El primero busca extender la vida útil del sistema o mejorar su confiabilidad. Las medidas preventivas pueden ir desde tareas leves, como la lubricación, pruebas y reemplazo planificado de componentes, hasta revisiones más largas en caso de fallas significativas. Este tipo de mantenimiento se planifica y programa con antelación (Cubides & Ávila, 2018). El mantenimiento correctivo, por otro lado, consiste en reparar un sistema o producto defectuoso o que no funciona para volver a su estado de funcionamiento original. Estas reparaciones generalmente se realizan en caso de fallas inesperadas y no planificadas.

2.1.2.1 Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo puede ser de dos tipos: basado en el tiempo o basado en condiciones. El mantenimiento basado en el tiempo es una estrategia proactiva que incluye limpieza, inspección, lubricación, ajuste y reemplazo de piezas en intervalos regulares. Estas tareas planificadas se realizan antes de que ocurra una falla (Ludeña & Reyes, 2020). Si se ejecuta correctamente, puede evitar fallas catastróficas y minimizar

el tiempo de inactividad. Sin embargo, si se ejecuta de manera deficiente, puede aumentar los costos de mantenimiento debido a fallas frecuentes y adquisición de repuestos.

El mantenimiento basado en condiciones se lleva a cabo en función de ciertas condiciones de la máquina y puede ser monitoreado continuamente o periódicamente. Los datos en tiempo real que indican el estado de la máquina se pueden adquirir mediante técnicas de monitoreo, como mediciones y análisis de vibraciones, análisis de aceite, termografía infrarroja, sistemas láser y ultrasonidos (Jiménez & Monroy, 2021). Esta estrategia es más rentable que el mantenimiento en caso de falla o el mantenimiento programado, ya que utiliza datos en tiempo real para predecir fallas.

El mantenimiento predeterminado se realiza por intervalos de tiempo o número de unidades de uso establecidos, sin una investigación previa de la condición. Las acciones se deciden en base a una regla predeterminada, generalmente involucrando un tiempo de uso (Muzo & Cepeda, 2021).

Por lo tanto, el mantenimiento preventivo debe ser basado en el tiempo o en el uso. En el mantenimiento basado en el tiempo, se realizan acciones preventivas en tiempos de calendario específicos, como una revisión trimestral. En el mantenimiento basado en el uso, las actividades programadas se basan en la cantidad de métricas de producción específicas, como las horas de funcionamiento o las piezas procesadas (Paredes, 2016).

2.1.2.2 Mantenimiento correctivo

La estrategia de mantenimiento correctivo se caracteriza por tener una inversión baja, pero un costo operativo elevado y una disponibilidad de equipo reducida. Dentro de esta estrategia, existen dos subgrupos: mantenimiento diferido e inmediato. En el mantenimiento diferido, la reparación se retrasa debido a ciertas reglas de mantenimiento, como la falta de repuestos, el ciclo presupuestario o las condiciones climáticas (Velázquez & Espinoza, 2016). Este retraso puede afectar negativamente la productividad industrial de la empresa y disminuir su competitividad en el mercado.

Además, el rendimiento de los componentes o del sistema puede deteriorarse rápidamente, lo que aumenta la frecuencia de las fallas en el sistema. Por otro lado, el mantenimiento inmediato implica realizar la reparación de forma inmediata después de detectar la falla, para evitar las consecuencias negativas de la misma.

2.1.3 Confiabilidad en el mantenimiento de la máquina

La ingeniería de confiabilidad es fundamental para mejorar la resistencia a fallas de los equipos y componentes. Se utilizan dos enfoques superpuestos para modelar la vida útil y el rendimiento de los elementos: el análisis de confiabilidad basado en evidencia, que se basa en métodos estadísticos y la recopilación de datos para predecir el comportamiento futuro de las cosas en función de ocurrencias pasadas de fallas o desempeños, y el análisis de confiabilidad impulsado por la física, que se basa en la física de la falla y se establece a través de una cantidad significativa de conocimiento y pruebas para comprender los comportamientos subyacentes de la falla (Quintana E. J., 2020).

La disponibilidad es la proporción de tiempo que una máquina o sistema está disponible fuera del tiempo en que debería ser posible, y se logra minimizando el tiempo de inactividad no planificado y los tiempos de cambio. La confiabilidad de un sistema es la probabilidad de que realice u opere las funciones requeridas sin fallar bajo una condición dada durante un período de operación previsto. Una menor confiabilidad significa mayores paradas no planificadas y reparaciones no programadas, lo que afecta directamente la disponibilidad (Fernández & Leroux, 2021).

Para medir la seguridad de un equipo, se utiliza el tiempo medio entre fallas o el tiempo medio hasta la falla, dependiendo si es un componente no reparable o reparable. El tiempo medio de reparación se utiliza para calcular la mantenibilidad de la máquina, que está estrechamente relacionada con la prevención del mantenimiento y va de la mano con la confiabilidad. La facilidad de mantenimiento y la seguridad se logran mediante el uso de componentes confiables, simplificando los reemplazos y facilitando las inspecciones. La mantenibilidad se expresa como la probabilidad de que un sistema se restablezca a las condiciones de funcionamiento dentro de un tiempo determinado cuando el mantenimiento se lleva a cabo de acuerdo con las recomendaciones (Barajas & Ortiz, 2017).

2.1.3.1 Efecto del mantenimiento preventivo en la fiabilidad de la máquina

La gestión del mantenimiento en la industria implica coordinar los esfuerzos de las personas para lograr las metas y objetivos de la empresa utilizando los recursos disponibles de manera eficiente y eficaz. La gestión de mantenimiento se encarga de tomar decisiones sobre las acciones de mantenimiento preventivo y correctivo y la

preparación e implementación de las tareas involucradas. Es un componente de la gestión general de una empresa, por lo que se requiere una comprensión completa de la gestión general para una comprensión completa de la gestión del mantenimiento (Valdes & Martín, 2019).

Los temas centrales de la gestión del mantenimiento para la producción industrial son:

- a. establecer objetivos y objetivos,
- b. atender a esos fines y objetos y
- c. tomar decisiones.

El objetivo principal es asegurar la gestión y el mantenimiento de los activos de la empresa para que su operatividad y rendimiento sean lo más altos posibles y los costos de mantenimiento sean lo más bajos posibles. Para lograr este objetivo, se ha producido la integración de la producción y el mantenimiento, promoviendo una planificación de mantenimiento preventivo que maximice la productividad industrial.

2.1.3.2 Programación de mejoramiento de equipos de la industria del plástico

La implementación del Mantenimiento Preventivo Total (MPT) en la industria de moldeo por inyección continua puede aumentar la Efectividad General del Equipo (EGE) y la productividad. Antes de implementarlo, la eficiencia general del equipo, la tasa de disponibilidad, la tasa de rendimiento y la tasa de calidad de la máquina de moldeo por inyección son elementos centrales de la operatividad (García & Herrera, 2017). La identificación y eliminación de las causas de los rechazos mejora el EGE y es necesario implementar excelencias de fabricación para producir un buen producto sin defectos, minimizar costos, buena calidad y maximizar las ganancias sin aumentar el precio de venta. El propósito del sistema de gestión de mantenimiento es aumentar la producción o hacer que el sistema sea eficiente, y al mismo tiempo elevar la moral de los empleados y la satisfacción laboral (Echeverri, 2016).

La máquina de moldeo por inyección es una máquina que fabrica productos de plástico mediante el proceso de moldeo por inyección, consta de dos partes principales, una denominada unidad de inyección y la otra es la unidad de sujeción. Los gránulos de material para la pieza se alimentan a través de una tolva en un barril calentado, se derriten usando bandas calentadoras y la acción de fricción de un barril de tornillo alternativo. Luego, el plástico se inyecta a través de una boquilla en una cavidad de

molde donde se enfría y se endurece a la configuración de la cavidad. La calidad del producto fabricado por la máquina de moldeo por inyección representa un elemento actual que no es consistente ni confiable, lo que provoca pérdidas para la empresa (Erráez, 2019).

Algunos defectos, como las burbujas de aire, la mancha negra, el cambio de color debido al sobrecalentamiento, el encogimiento, el exceso de flash, etc., afectan continuamente la productividad. Por lo tanto, es fundamental identificar la causa raíz de los defectos y establecer una política de mantenimiento para superar estos problemas en una industria de moldeo por inyección como parte del diseño del plan de mantenimiento preventivo en el área de sellado para la fabricación de productos plásticos (González, 2016).

En resumen, la implementación del MPT y la mejora de la eficiencia y eficacia del equipo, así como la identificación y eliminación de las causas de los rechazos y defectos, pueden aumentar la productividad y reducir las pérdidas en la fabricación de productos plásticos en la industria de moldeo por inyección continua.

2.1.4 Mantenimiento preventivo total

El Mantenimiento Preventivo Total (MPT) es un enfoque que integra los sistemas de producción y calidad a través de las máquinas, equipos y procesos para mantener todos los equipos en perfectas condiciones de funcionamiento y evitar averías y retrasos en el proceso de fabricación. Este enfoque se enfoca en no tolerar pequeñas paradas, marchas lentas o defectos durante la producción, y establecer una condición de trabajo segura mediante una política de planificación. En un estudio, se utilizan los pilares de Kaizen, mantenimiento planificado y educación y capacitación para reducir las pérdidas en el lugar de trabajo y aumentar la efectividad general del equipo (Cosgalla, Aguilar, & López, 2018).

El uso de máquinas de moldeo por inyección está aumentando en la producción de productos de plástico, lo que puede generar problemas si se producen productos defectuosos y afectar la productividad. Para aumentar la efectividad general del equipo, es necesario:

- a) identificar grandes pérdidas,
- b) identificar pérdidas significativas por análisis de Pareto,

- c) calcular la Eficiencia Global del Equipo,
- d) reducir pérdidas con técnicas analíticas como el mantenimiento planificado y contramedidas, y
- e) calcular la efectividad general de la máquina y compararla con el estándar internacional.

Por tanto, el Mantenimiento Preventivo Total (MPT) se presenta como una filosofía de mejora continua que busca la implementación de planes de mantenimiento preventivo y el trabajo en equipo para mantener la condición básica de un equipo y mejorar su vida útil (Cubides & Ávila, 2018). Su objetivo principal es proporcionar ventajas competitivas y prestigiosas a las organizaciones, promover productos de calidad y reducir el costo de la línea de producción.

La eficiencia general del equipo se puede obtener fácilmente y se puede utilizar para monitorear el progreso del mantenimiento después de implementar un mantenimiento preventivo con éxito. La productividad se puede aumentar mediante la reducción de defectos que se traduce en la minimización del desperdicio de materias primas. Por tanto, se enfatiza en aumentar la eficacia de las máquinas, especialmente en la operatividad de fabricación de productos plásticos.

Para eliminar las pérdidas en la metodología, se pueden utilizar varias herramientas como:

- a) análisis de mantenimiento preventivo,
- b) análisis de por qué,
- c) diagrama de causa y efecto,
- d) gráfico de Pareto
- e) programa de mantenimiento Kaizen.

Estas herramientas eliminan pérdidas importantes y el mantenimiento planificado reduce las paradas no planificadas. El análisis de por qué descubre las causas inherentes de un problema y ofrece una solución al problema, mientras que el análisis de Pareto ayuda a identificar diferentes defectos y clasificarlos según su importancia.

Para determinar las posibles causas raíz del rechazo, el diagrama de causa y efecto es una herramienta muy útil que ayuda a identificar, clasificar y mostrar las causas de un

problema específico o una característica de calidad en la fabricación de productos plásticos (Valdes & Martín, 2019). Esto permite establecer el escenario sobre los defectos en la forja y el moldeo por inyección para la fabricación de productos plásticos, en referencia directa a los problemas que se pueden suscitar en el mantenimiento y producción, con especial énfasis en la futura implementación del mantenimiento preventivo (Jiménez & Monroy, 2021).

2.1.4.1 Técnicas de Mantenimiento Preventivo (TMP)

Las Técnicas de Mantenimiento Preventivo (TMP) son una herramienta Lean que proporciona un enfoque completamente nuevo para el mantenimiento de equipos y maquinarias, y se utilizan para aumentar la eficiencia de las máquinas y procesos. Este programa de mantenimiento se basa en la metodología de base 5S y ocho pilares únicos para planificación, organización, monitoreo y control (Quintana & Molina, 2017).

El mantenimiento preventivo se divide en cinco niveles o pasos diferentes.

Primer nivel se enfoca en la limpieza y la inspección inicial, con el objetivo de aumentar la eficiencia de las máquinas y encontrar problemas que no se hayan identificado antes.

Segundo nivel, se eliminan todas las fuentes de contaminación, suciedad y aceite, reubicando o volviendo a montar lugares que sean difíciles de limpiar e inspeccionar para permitir un acceso adecuado.

Tercer nivel introduce estándares para limpieza, lubricación y mantenimiento y se enfoca en asegurarse de que se realice la limpieza de manera efectiva y en identificar las áreas problemáticas. Además, se documenta el proceso para fines de auditoría.

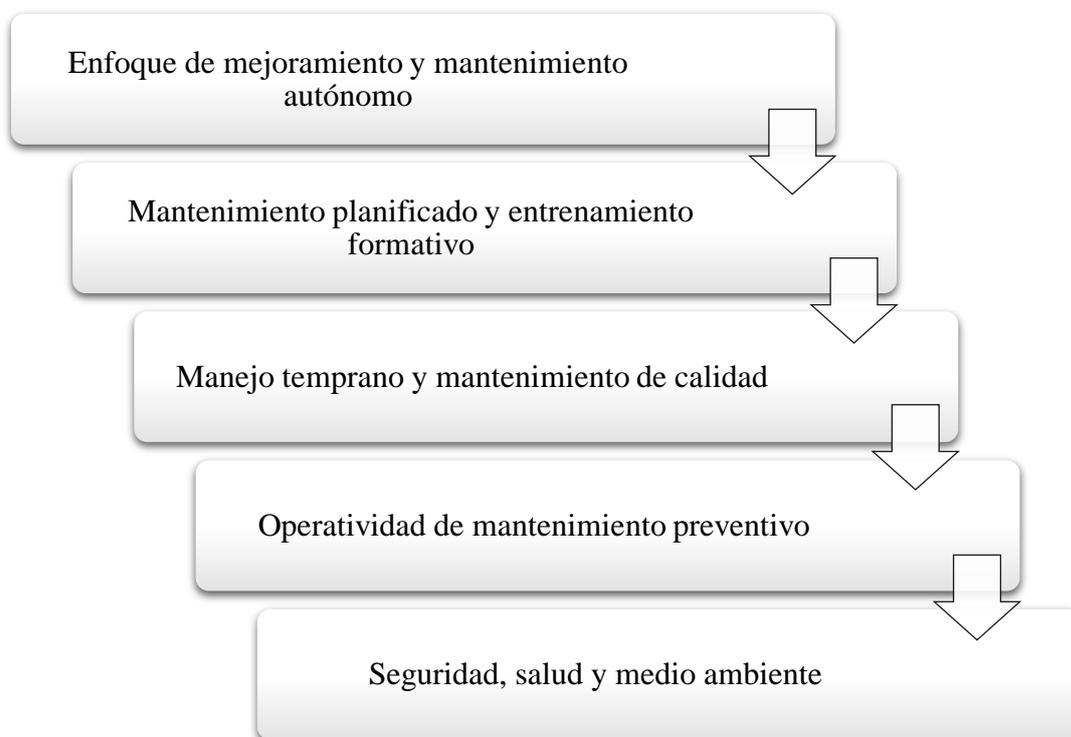
Cuarto nivel implica capacitar y asesorar al personal en las funciones y controles básicos de las máquinas que utilizan para que puedan realizar tareas de mantenimiento fáciles por sí mismos y conocer las funciones de la máquina con la que están trabajando.

Quinto nivel, el operador comienza a realizar la tarea básica de inspección y mantenimiento de forma autónoma, después de haber adquirido los estándares y

aprendizajes adquiridos en los niveles previos. En esta etapa, se toman fotografías de los resultados finales y se comparan con las fotografías tomadas en las etapas anteriores para documentar los logros del proyecto de planificación de mantenimiento preventivo.

Por lo tanto, el mantenimiento preventivo es fundamental para mantener las máquinas operativas en la fabricación de productos plásticos y debe ser considerado en la planificación de las tareas de operación.

Figura 3. Pilares de la planificación de mantenimiento preventivo



Fuente: (Noguera & Fernández-Concha, 2018)

Para implementar el programa de TMP en las actividades de mantenimiento de la planta, es crucial que toda la fuerza laboral esté convencida de que la gerencia de nivel superior está comprometida con el programa. El primer paso importante en este esfuerzo es asignar a un planificador u organizador del mantenimiento preventivo, quien es responsable de transmitir las ideas a la fuerza laboral a través de un programa de instrucción y educación (Pizarro & Garrido, 2020).

A partir de allí, es esencial realizar un trabajo intensivo para enseñar y convencer a la fuerza laboral de que el plan de mantenimiento preventivo no es simplemente otro

programa operativo, y que se necesita tiempo para implementarlo adecuadamente, posiblemente un año o más. El enfoque debe estar en desarrollar un plan de acción que permita a la empresa implementar continuamente el proceso de mantenimiento preventivo.

2.1.4.2 Implementación del Mantenimiento Preventivo Total

El programa TMP se puede implementar en cuatro fases principales, de la siguiente manera:

1. Fase 1 Preparación: en esta sección, la administración de la empresa al más alto nivel tiene la responsabilidad de anunciar la elección de introducir el Plan de Mantenimiento Preventivo y organizar un entorno aceptable. Se desarrolla un programa para: reducir las pérdidas de equipos, crear un programa de mantenimiento autónomo, mejorar el control interno y brindar capacitación y educación al personal (gerentes y operadores).
2. Fase 2 Implementación preliminar: los operadores están involucrados en las actividades de mantenimiento y también se proporcionan las principales habilidades y competencias a todos los trabajadores. Sin embargo, antes de que el empleado individual comience, los gerentes elaboran una idea para identificar las tareas iniciales y desarrollar procedimientos.
3. Fase 3: el enfoque principal aquí es mejorar la efectividad del equipo por medio de técnicas específicas. Durante esta parte, los operadores están involucrados en el programa de mantenimiento autónomo, lo que requiere mejorar sus niveles de habilidad.
4. Fase 4 Estabilización: en esta etapa, la organización debe continuar con el programa TMP mediante el uso del método de mejora continua. En este apartado se incorporan a la estrategia empresarial los objetivos de conservación o mantenimiento.

Por tanto, es fundamental la verificación de los resultados de forma continua y, además, la seguridad de que las habilidades de TMP se pueden alcanzar mediante la designación del desempeño del grupo (Ávalos, 2018). En cada sección del programa hay muchos pasos a desarrollar y roles a cumplir por parte de los gerentes superiores, gerentes de nivel medio, ingenieros, técnicos de mantenimiento y operadores, lo que hace que el método de implementación de la planificación y ejecución del mantenimiento

preventivo sea avanzado. Consecuentemente, en la forma de decidir las principales acciones a ser tomadas en un programa TMP, en cada segmento, el empleador necesita un compromiso empresarial comercial y un plan estratégico enfocado hacia una mejor planificación de los programas de mantenimiento que implica un menor esfuerzo desperdiciado.

2.1.4.3 Factores que hacen que la implementación del mantenimiento preventivo sea exitosa

Existen algunos factores de estructura que pueden influir en el éxito de la implementación de cualquier programa en una industria, especialmente para la fabricación de productos plásticos enfocado en este estudio. Por ejemplo, en el área de sellado, los principales factores críticos de éxito para la implementación de TMP se presentan a continuación:

2.1.4.3.1 Educación y capacitación

Sobre ello, no hay duda de que el personal altamente calificado es vital para el desempeño de cualquier organización (Erráez, 2019). En la gestión del mantenimiento, el éxito de la organización durante la implementación de programas de mantenimiento preventivo depende de las competencias del personal o empleados hacia la tarea, sobre ello se destacan, la capacitación y educación de todos los trabajadores o empleados en todos los niveles dentro de la organización que podría ser un tema clave para el éxito de la implementación de TMP.

En relación con el departamento de mantenimiento, las personas son el principal recurso necesario, por lo que gestionan, planifican, supervisan y ejecutan todas las prácticas de mantenimiento. Un programa educativo y de capacitación es crucial para transferir las tareas de mantenimiento a las operaciones y también la formación académica del personal corporativo o de la empresa puede o puede tener un efecto serio en la velocidad de implementación de planificación (Pulzara, 2021). La industria tiene el deber de vender o promover el aprendizaje continuo para que ayude a la implementación del plan de mantenimiento preventivo; entre las principales contribuciones de la calificación del personal se encuentran:

1. Mejoramiento de la productividad,
2. Cumplimiento de los requisitos de calidad,

3. Reducción de fallas, accidentes y lesiones,
4. Aparición de ideas de última generación en un esfuerzo por mejorar las actividades de forma continúa.

2.1.4.3.2 Trabajo en equipo

Es fundamental, considerando que los empleados o individuos dentro de la organización que están preparados para trabajar en grupos o equipos tienen las siguientes características: están comprometidos con su trabajo, demanda de información y nuevas oportunidades y están dispuestos a asumir riesgos en empresas innovadoras (Valdes & Martín, 2019). La etapa excesiva de colaboración entre los empleados y la unidad de trabajo dentro de una agencia u organización es el aspecto más importante para mejorar las prácticas de gestión y el desempeño operativo, especialmente en las aplicaciones de mejoramiento preventivo, debido a que todo el personal dentro de una organización, incluidos los operadores, empleados de renovación o mantenimiento, supervisores, programadores y la alta dirección, debe incluirse en un grupo, para promover su operatividad.

Por tanto, se enfatiza que los seres humanos, principalmente operadores, técnicos de conservación o mantenimiento, ingenieros, diseñadores y planificadores, todos deben trabajar en grupo con miras a maximizar la efectividad general de los equipos, a través de soluciones creativas para problemas operativos, especialmente en ámbitos centrales como el área de sellado en la fabricación de productos plásticos, que prevén una implementación consecutiva de metodologías de revisión de las máquinas, aplicables al plan de mantenimiento preventivo.

2.1.4.3.3 Planificación del mantenimiento preventivo

En la ejecución de sistemas de producción y operaciones industriales el nivel estratégico de la organización, la gerencia en el nivel superior es responsable de crear y preparar una atmósfera adecuada y un entorno listo para la implementación del plan de mantenimiento preventivo (Muzo & Cepeda, 2021). Una configuración estratégica puede ser una demanda básica y exige tanto un análisis externo como interno; el primer análisis consta de mercados, competidores, clientes, tendencias, oportunidades y amenazas; la segunda evaluación incorpora la evaluación de las fortalezas, puntos débiles y activos de la empresa comercial a través del mantenimiento de los equipos que pueda garantizar la operatividad a través del tiempo. Una comprensión del

mantenimiento como una decisión estratégica puede o puede eliminar cualquier potencial de deterioro de equipos, paradas y averías, fallas y también puede contribuir a extender o aumentar la moral de los grupos.

Si bien TMP es un método estratégico, el impacto principal en su implementación tiene lugar en la etapa de planta que requiere una sólida integración entre los sectores, por lo tanto, las prácticas de la operación industrial deben incorporarse al enfoque de la organización si desea obtener una meta de mantenimiento de magnificencia operativa en su proceso de producción (Paredes, 2016). Por ello, se debe incluir un plan para promover actividades de mantenimiento, disminuir las pérdidas de aparatos o equipos; crear una aplicación de mantenimiento autosuficiente; conservar un manejo o control de calidad excepcional; ampliar la renovación preventiva y predictiva además de mejorar las habilidades de mantenimiento a través de la escolarización o la formación dentro de la empresa, específicamente en el área de producción.

Aunque el mantenimiento preventivo ofrece una gran cantidad de ventajas para las operaciones de mantenimiento, no deja de tener sus desventajas. La principal desventaja es que aún es probable que ocurran fallas catastróficas, independientemente de la disminución en el riesgo de falla del equipo debido al mantenimiento preventivo. Como tal, una operación de mantenimiento aún debe poder responder a emergencias y no puede depender únicamente del mantenimiento preventivo, por ello, los programas extensos requieren una gran cantidad de recursos laborales y, a menudo, existe la probabilidad de realizar un mantenimiento excesivo que no tiene un impacto positivo en el equipo.

Por tanto, es extremadamente difícil determinar el nivel óptimo de mantenimiento preventivo y puede requerir años de acciones de mantenimiento y recopilación de datos antes de que se realice la recuperación (Olmos, 2016). Dado que sus impactos a menudo son menos visibles que otros tipos de trabajo, el mantenimiento preventivo es a menudo el primer trabajo que se omite ante emergencias u otros requisitos que pueden parecer más importantes. Si bien los impactos de tal decisión pueden no ser inmediatos, puede afectar drásticamente la efectividad general de un programa de mantenimiento preventivo.

Estos programas pueden variar mucho según el contexto en el que se implementen; sin embargo, hay una serie de características que se pueden utilizar para describir las diferencias entre los programas. Las acciones de mantenimiento preventivo pueden ser simples o de reemplazo, mientras que las acciones de reemplazo mejoran la confiabilidad de un activo mantenido a la de un sistema nuevo, las acciones simples solo mejoran la confiabilidad en un grado mínimo (Valdes & Martín, 2019).

Ya sean simples o de reemplazo, las acciones se pueden asignar a uno de los tres niveles de prioridad, con lo cual, las acciones críticas son aquellas que conducirán a la pérdida inmediata de la función de la instalación si no se completan a tiempo, las acciones requeridas son aquellas que se pueden posponer por un período corto sin mayor impacto en una instalación, y las acciones discrecionales son aquellas que se pueden aplazar indefinidamente sin mayores impactos en una instalación (Cubides & Ávila, 2018). Existen cinco razones principales para implementar un programa de mantenimiento preventivo, tales como:

1. Mantener las operaciones,
2. Prolongar la vida útil del equipo,
3. Identificar la degradación del equipo,
4. Prevenir la pérdida del equipo,
5. Cumplir con los estándares.

Estas razones están directamente relacionadas con las numerosas ventajas potenciales del mantenimiento preventivo, y la mayoría de los programas se establecerán para cumplir con una combinación de estos objetivos (Núñez, 2017). Al implementar un programa o plan de mantenimiento preventivo, el primer paso es identificar los equipos que se mantendrán; por lo cual, los activos de equipo y los sistemas con mucho tiempo de inactividad, alto mantenimiento o reparaciones repetitivas son candidatos ideales para el mantenimiento preventivo.

Posteriormente, el equipo debe ser evaluado para determinar su condición actual y luego clasificado para prioridad de mantenimiento entre todos los equipos candidatos. Los criterios para definir las prioridades de mantenimiento incluyen el impacto del equipo en la misión de la organización, los riesgos de seguridad, los costos de mantenimiento y los costos operativos y una vez establecidos los equipos y prioridades para el programa,

se deben definir las acciones de trabajo para cada actividad (Rosales, 2016). Tradicionalmente, cada acción de mantenimiento preventivo identificada debe consistir en una frecuencia establecida, una descripción de la tarea de mantenimiento, una lista de herramientas y equipos necesarios y consideraciones de seguridad.

Establecer acciones de mantenimiento preventivo puede ser una tarea abrumadora para el gerente de mantenimiento no capacitado; sin embargo, hay varias fuentes de información disponibles para ayudar con este proceso. La fuente más común de información de mantenimiento preventivo son las recomendaciones del fabricante o proveedor; en muchos casos, la garantía del fabricante depende de la implementación del plan de mantenimiento recomendado, sin embargo, los gerentes no deben usar ciegamente las recomendaciones del fabricante en su forma original porque es posible que no se alineen con las metas de la organización o que no estén optimizadas para ciertos entornos (Rodríguez, 2018). Otra fuente de información es el conocimiento tácito del personal de mantenimiento que se basa en la experiencia del artesano trabajando con el equipo y la infraestructura.

Una tercera fuente de información sobre mantenimiento preventivo proviene de la orientación de la industria, por tanto, si bien es posible que no haya una guía detallada disponible para un equipo específico, la información sobre las clases generales de equipos o elementos de equipos similares se puede modificar para adaptarse a los requisitos de una instalación específica (Mackenzie, 2022). Una cuarta fuente de información de mantenimiento preventivo son los resultados de las pruebas de análisis de impacto y/o análisis de fallas, mientras que el análisis de fallas se enfoca en las acciones necesarias para retrasar la falla del equipo, el análisis de impacto se enfoca en mitigar los efectos potenciales de la falla del equipo en la misión o los recursos de una organización.

Además de las recomendaciones de alcance y frecuencia de mantenimiento, las fuentes de mantenimiento preventivo también sugieren varias acciones y procedimientos. Un tipo de procedimientos de mantenimiento preventivo consiste en inspecciones y pruebas; estas acciones se pueden realizar utilizando sentidos humanos, medidores e instrumentos únicos; están destinados a verificar que el equipo esté funcionando de acuerdo con las especificaciones y una segunda categoría incluye ajustes y calibraciones. Estas acciones están destinadas a optimizar el funcionamiento del equipo

y corregir cualquier desviación del rendimiento estándar (Cosgalla, Aguilar, & López, 2018). Una tercera categoría consiste en reconstrucciones y reemplazos; y estas acciones incluyen el reemplazo periódico de piezas desgastadas o desechables, y están destinadas a restaurar el equipo a su condición óptima.

2.1.4.4 Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo se define como un proceso para determinar los requisitos de acción de mantenimiento de acuerdo con las inspecciones periódicas de los parámetros físicos, los mecanismos de degradación y los factores de estrés de un activo de equipo para corregir los problemas antes de que ocurra una falla. También conocido como mantenimiento basado en condiciones, esta estrategia se diferencia del mantenimiento preventivo en que las acciones de mantenimiento se realizan de acuerdo con la condición física del equipo, y no con una frecuencia establecida (Mejía, Peñate, & Santamaría, 2018). El mantenimiento predictivo funciona particularmente bien para los sistemas que son fáciles de monitorear y tienen características fácilmente identificables que pueden analizarse estadísticamente para determinar la vida útil restante del sistema.

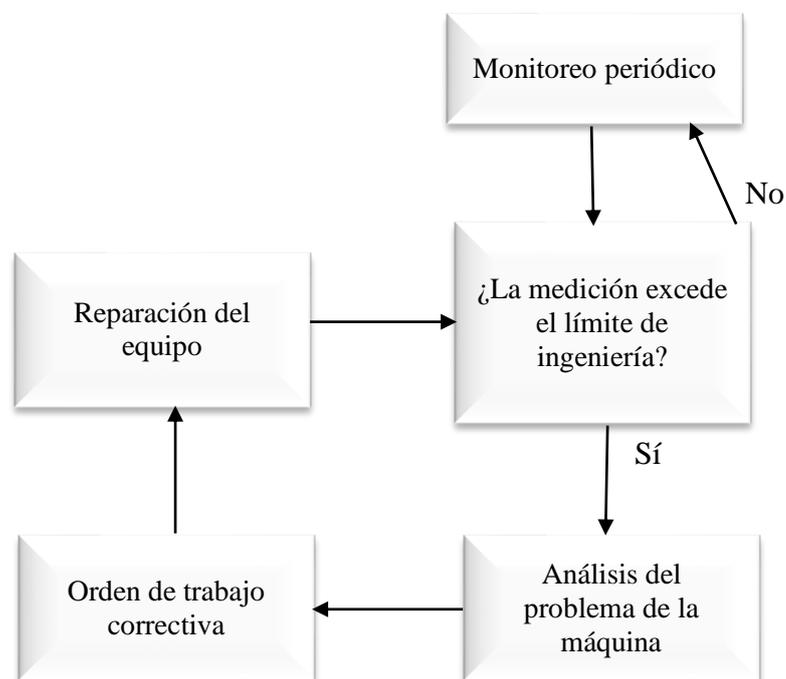
Las ventajas del mantenimiento predictivo son numerosas; las acciones de mantenimiento predictivo consisten principalmente en inspecciones simples que rara vez requieren mucha mano de obra y rara vez requieren tiempo de inactividad del equipo. Estos beneficios se correlacionan con la conservación de los recursos de mantenimiento y la minimización de los impactos en las operaciones de las instalaciones. Dado que el mantenimiento físico solo se realiza cuando las condiciones lo justifican, también se evitan acciones de mantenimiento innecesarias (Ramos, 2020). Esto, a su vez, permite que las operaciones de mantenimiento reduzcan los inventarios de materiales, optimicen la programación de órdenes de trabajo y las asignaciones de mano de obra, y mejoren la calidad del mantenimiento de los equipos.

Sin embargo, a pesar de sus ventajas, el mantenimiento predictivo no deja de tener algunas desventajas; al igual que con el mantenimiento preventivo, el mantenimiento predictivo reducirá drásticamente el riesgo de fallas catastróficas del equipo, pero no puede eliminar el riesgo. Además, el mantenimiento predictivo requiere una importante inversión inicial en términos de equipos de diagnóstico y capacitación del personal. Si bien el mantenimiento predictivo es aplicable a muchos tipos de equipos e

infraestructuras, las técnicas para calcular la vida útil restante pueden ser difíciles o poco confiables para algunos sistemas (Erráez, 2019). En consecuencia, a veces puede ser difícil para la gerencia darse cuenta del potencial de ahorro del mantenimiento predictivo.

El mantenimiento predictivo se basa en evaluaciones del estado de los equipos o la infraestructura; se puede aplicar a casi cualquier problema de equipo en el que se pueda medir un parámetro físico. Existen numerosos dispositivos de medición utilizados para el mantenimiento predictivo; algunos de los dispositivos más comunes incluyen manómetros y medidores de temperatura, detectores de fugas, analizadores de vibraciones y gases, y probadores de pinzas eléctricas (Velázquez & Espinoza, 2016). Por tanto, al establecer un programa de mantenimiento predictivo, es de vital importancia establecer límites de condición o tasas de cambio para tener un estándar por el cual comparar las mediciones, siempre que los límites se establezcan correctamente, habrá mucho tiempo para corregir cualquier problema y evitar daños en el equipo.

Figura 4. Diagrama de flujo del proceso de mantenimiento predictivo



Fuente: (Pulzara, 2021)

Los límites establecidos para muchos tipos de equipos son proporcionados por fabricantes, sociedades profesionales y/o grupos industriales. Una comprensión del ciclo de vida del equipo puede ser útil al establecer límites; la mayoría de los ciclos de vida

de los equipos se adhieren a un comportamiento estándar conocido como curva de bañera para mortalidad de equipos (Díaz-Cazañas & Martínez, 2016). Además, el proceso de mantenimiento predictivo es bastante simple; una vez que se establecen los límites de medición, el trabajo continuo de monitoreo y reparación fluye como se mostró en la figura 4.

2.1.4.5 Mantenimiento centrado en la confiabilidad

El mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC) es un proceso que dirige los esfuerzos de mantenimiento a los equipos y sistemas donde la confiabilidad es fundamental para garantizar el más alto nivel de efectividad de las instalaciones; utiliza un enfoque sistemático para evaluar las causas y los efectos de la falla del equipo, que luego se usa para comparar las necesidades del equipo con los recursos disponibles (Freire & Castro, 2019). Por tanto, es particularmente eficaz en situaciones en las que todo el equipo de una instalación no tiene la misma importancia para las operaciones o la seguridad, con lo cual, diferentes equipos tienen diferentes mecanismos de falla y probabilidades de falla, y la organización tiene recursos financieros o de mano de obra limitados.

Existen tres objetivos principales de MCC; el primer objetivo es mejorar la seguridad y la fiabilidad de los sistemas y la infraestructura, y esto se logra enfocándose en los sistemas que son más críticos para la misión y las operaciones de la organización. El siguiente objetivo es prevenir o mitigar las consecuencias de las fallas de los equipos, en lugar de prevenir las fallas reales, se enfoca en proteger todo el sistema (Pulido, 2018). El tercer objetivo es reducir los costos de mantenimiento; lo cual, se logra evitando o eliminando acciones de mantenimiento que no son estrictamente necesarias para el funcionamiento normal del sistema en la operatividad de ejecución industrial.

El mantenimiento centrado en la confiabilidad, tiene numerosas ventajas sobre otras estrategias de mantenimiento. En muchos casos, ha demostrado ser el programa de mantenimiento más eficiente, aunque no proporciona una estrategia de mantenimiento verdaderamente optimizada, ayuda a garantizar que los recursos se dirijan hacia donde pueden ser más eficientes y efectivos para la organización. Al igual que con otras estrategias, no puede eliminar el riesgo de falla del equipo; sin embargo, puede ayudar a reducir la probabilidad de falla. Además, cuando ocurren fallas inesperadas, ayuda a garantizar que se minimicen los impactos negativos (Herrador & Ramón, 2021). Al

eliminar las acciones de mantenimiento innecesarias, también ayuda a conservar los recursos de mantenimiento y mejorar la eficacia laboral.

A pesar de sus ventajas, presenta algunas desventajas que se relacionan principalmente con aspectos de implementación más que con la metodología en sí. Debido a que busca analizar los modos de falla en cada equipo, la principal desventaja es la gran cantidad de recursos, tiempo y energía necesarios para establecer un nuevo programa. Con numerosos análisis de fallas para cada sistema, la gran mayoría de los hallazgos no producen requisitos de mantenimiento; esto puede parecer una pérdida de tiempo y recursos, ya que el potencial de ahorro suele ser difícil de ver para la gerencia (Noguera & Fernández-Concha, 2018). Las organizaciones a menudo intentan realizar un análisis en todos los equipos y esperan resultados a corto plazo; sin embargo, este proceso se desarrolló originalmente para abordar una pequeña parte del equipo de una organización desde una perspectiva de largo alcance.

De manera similar, las métricas que se suelen utilizar para evaluar están dirigidas a los equipos y modos de falla; sin embargo, deben estar dirigidos a múltiples niveles en toda la organización. Un desafío particular es su enfoque en mantener el equipo en un estado funcional, en lugar de perfecto, que a menudo es difícil de aceptar para las organizaciones (Barajas & Ortiz, 2017). Por ello, al iniciar un programa MCC, el primer paso es desarrollar una lista de todos los equipos que potencialmente podrían incluirse en el programa, dado que puede llevar mucho tiempo y ser costoso, no es realista aplicarlo a cada elemento de la lista; por lo tanto, el equipo debe ser identificado como candidato a evaluar.

Existen dos medidas que ayudan con esta clasificación, tal como la criticidad, que mide la importancia de un equipo para el sistema general y estado, que representa la condición actual del activo. Una vez que se ha determinado que una pieza de equipo es candidata, se analiza para determinar el enfoque de mantenimiento adecuado (Valdes & Martín, 2019). De acuerdo con la filosofía MCC, el enfoque de mantenimiento dependerá de los modos de falla del equipo y los efectos de falla, por lo que, debe haber varios niveles de análisis de fallas para identificar tareas de mantenimiento efectivas y estrategias de mitigación. Estos niveles incluyen, entre otros:

- a. Fallas funcionales,

- b. Modos de falla,
- c. Efectos de falla,
- d. Consecuencias de falla,
- e. Acciones predeterminadas.

Este análisis de múltiples niveles busca descubrir cómo un sistema puede fallar, por qué falla, por qué es importante y qué se puede hacer para evitar que suceda. Con base en el análisis de fallas, se prioriza el equipo para la acción de mantenimiento; las acciones de mantenimiento de MCC pueden ser de naturaleza reactiva, preventiva o predictiva, y pueden basarse en las recomendaciones del fabricante, el historial de la máquina y el buen juicio de ingeniería, entre otras fuentes (Rodríguez, 2018). Si bien puede haber alguna variación entre las iniciativas según la organización, las herramientas de decisión y el contexto de la operación de mantenimiento, todos los esfuerzos tienen el mismo objetivo de optimizar las operaciones de mantenimiento como un elemento preventivo.

2.1.4.6 Prácticas de mantenimiento aplicadas

En la práctica, la mayoría de los programas de mantenimiento están compuestos y están influenciados por una combinación de las diversas estrategias y conceptos de gestión del mantenimiento discutidos previamente en esta revisión de la literatura. Los programas de mantenimiento pueden variar, ya que la composición de cada programa está dictada por el contexto operativo y las necesidades de la organización. Esta sección final de la revisión de la literatura analiza y compara varias prácticas de gestión de mantenimiento aplicadas a fin de brindar ideas para modernizar una estrategia de mantenimiento preventivo en casi cualquier contexto (Farro, 2019). La primera es una revisión de cuatro categorías de errores comunes: administración, mano de obra, confianza en los sistemas establecidos y desarrollo de una estrategia de mantenimiento.

Los temas de segundo a quinto incluyen planificación integral, apoyo organizacional, componentes del programa y métricas, respectivamente. A continuación, se presenta una discusión de varias mejores prácticas y reglas generales que han aparecido en la literatura, mientras que la última sección consta de recomendaciones para la implementación exitosa de cambios organizacionales en el contexto de las operaciones industriales (Díaz-Cazañas & Martínez, 2016). Todos estos temas son relevantes porque ofrecen información sobre la gestión eficaz del mantenimiento que debe tenerse en

cuenta al evaluar y modernizar una estrategia de mantenimiento preventivo en el sector de la industria que se interviene.

2.1.4.6.1 Errores comunes

Los gerentes de mantenimiento se enfrentan a una serie de obstáculos potenciales que pueden obstaculizar la eficiencia y la eficacia de una operación de mantenimiento. Aunque la mayoría de estos escollos por sí solos no llevarán a una organización al fracaso, se pueden obtener resultados positivos más fácilmente si se identifican y se evitan o corrigen (Barajas & Ortiz, 2017). Es probable que las organizaciones que no reconozcan estas debilidades experimenten un desempeño deficiente; sin embargo, el rendimiento deficiente rara vez dura mucho tiempo: las organizaciones solucionan sus problemas o cierran.

La primera categoría de errores comunes está asociada con la gestión, tanto a nivel organizacional como a nivel de operaciones de mantenimiento. La gestión organizacional rara vez comprende el costo de propiedad de los activos y el valor del mantenimiento, por lo que las operaciones de mantenimiento a menudo no obtienen un nivel adecuado de apoyo en términos de mano de obra y recursos (Rosales, 2016). Los gerentes de mantenimiento, si bien comprenden el valor del mantenimiento, rara vez tienen un conocimiento sólido de la condición de las instalaciones y la infraestructura que mantienen.

Como resultado, a menudo usan sus limitados recursos de mantenimiento de manera ineficiente; además, no pueden justificar la necesidad de más recursos a los líderes organizacionales que toman las decisiones presupuestarias (Quintana & Molina, 2017). Asimismo, una gran parte de las estrategias de mantenimiento se realizan de manera informal o fuera de un sistema controlado; por lo que, cuando los gerentes no pueden mantener la responsabilidad de sus operaciones de mantenimiento, les resulta significativamente más difícil planificar, organizar y controlar sus recursos.

Sin una fuerza laboral capaz, los mejores gerentes no pueden ser efectivos, por lo que la siguiente categoría de errores comunes está asociada con la fuerza laboral. En muchas situaciones, el personal de mantenimiento no tiene las habilidades necesarias para realizar correctamente las acciones requeridas (Pulzara, 2021). Esto se puede atribuir a muchas causas, que incluyen educación y capacitación inadecuadas, bajos estándares de

contratación y falta de competencia en habilidades en el trabajo. Otra causa del bajo desempeño de los trabajadores es la falta de disciplina o dirección para seguir los procedimientos establecidos.

Este problema también se puede atribuir a muchas causas, entre las que se incluyen la supervisión gerencial inadecuada, la falta de entusiasmo personal y una estructura de incentivos laborales deficiente (Mejía, Peñate, & Santamaría, 2018). Si bien los problemas de la fuerza laboral a menudo se atribuyen a los trabajadores individuales, los gerentes son igualmente responsables de contribuir a estas falencias operativas. Por tanto, la confianza en los sistemas o procedimientos establecidos constituye la tercera categoría de trampas comunes.

Los sistemas de gestión de mantenimiento computarizados pueden ser muy útiles para organizar, rastrear y programar el trabajo de mantenimiento; sin embargo, muchos usuarios creen que los sistemas pueden lograr más de lo que son capaces. Además, los usuarios rara vez entienden cómo operar estos sistemas correctamente, lo que da como resultados horarios y otras consecuencias que no son óptimas. Las operaciones de mantenimiento también pueden verse afectadas por la dependencia de procedimientos anteriores y la renuencia a probar nuevos enfoques de mantenimiento (Ávalos, 2018). Si bien las prácticas utilizadas por estas organizaciones pueden ser eficientes y confiables, es posible que, sin darse cuenta, impidan que la organización utilice nuevas prácticas que podrían proporcionar mayores beneficios.

2.1.4.6.2 Componentes del programa

Para cualquier programa de mantenimiento dado, hay muchos procesos, herramientas, conceptos y otros componentes que ayudan a impulsar la eficiencia y eficacia de la operación. El componente más importante del programa son las personas dentro de la organización, sin el personal adecuado, un programa de mantenimiento no puede alcanzar su máximo potencial. Dado que muchas fallas prevenibles del equipo se deben a que los trabajadores no comprenden los procedimientos básicos de mantenimiento, un programa de mantenimiento eficiente se basa en establecer un cierto nivel de conocimiento del trabajo y competencia en la tarea (Paredes, 2016). Si bien las prácticas de contratación pueden desempeñar un papel para garantizar la calidad de los trabajadores, una organización debe brindar capacitación de manera rutinaria para

mejorar las habilidades tanto de los trabajadores de mantenimiento como de la administración.

En todas las operaciones de mantenimiento, excepto en las más pequeñas, el segundo componente más importante del programa es un sistema eficiente de gestión de la información (Valdes & Martín, 2019). En los últimos años, la mayoría de las organizaciones de mantenimiento han recurrido a un sistema de gestión de mantenimiento basado en sistemas digitalizados para manejar la gran cantidad de datos involucrados en un programa de mantenimiento, sobre lo cual se prevé ayudar con la programación del trabajo, la optimización y el mantenimiento de registros; también proporciona un marco estructurado para ayudar a las decisiones de gestión.

Algunos componentes y herramientas adicionales del programa que pueden contribuir al éxito de un programa de mantenimiento incluyen un programa de mantenimiento y rendición de cuentas para herramientas y equipos, un inventario de piezas satisfactorio, un proceso eficiente de adquisición de materiales y una base de datos precisa de dibujos técnicos. Cada uno de estos componentes está destinado a eliminar situaciones que podrían impedir que el trabajo de mantenimiento se realice según lo programado. Para minimizar estas situaciones, también conocidas como obstáculos, los gerentes deben desarrollar nuevos procesos o incorporar nuevas herramientas según sea necesario (Velázquez & Espinoza, 2016). La evaluación y revisión de rutina de los componentes del programa es fundamental para lograr el máximo rendimiento del programa de mantenimiento.

2.1.4.6.3 Métrica

Las métricas son indicadores numéricos que miden el desempeño operativo de la organización de mantenimiento. Si las métricas miden los valores adecuados, pueden ser una herramienta de gestión muy valiosa; con ello, las indicaciones de bajo rendimiento pueden impulsar aumentos en el rendimiento de los trabajadores, cambios en la estrategia de mantenimiento o la justificación de recursos adicionales, mientras que las indicaciones de buen rendimiento pueden identificar las mejores prácticas o logros destacados de los trabajadores operativos (Pulido, 2018). Aunque pueden requerir una amplia recopilación de datos, las métricas son una forma sencilla de ayudar a la gerencia a tomar decisiones adecuadas para optimizar la eficacia y la eficiencia de las operaciones de mantenimiento.

Los gerentes creativos pueden desarrollar métricas para medir casi cualquier aspecto imaginable del mantenimiento; sin embargo, existen tres categorías comunes de métricas que se aplican a las operaciones de mantenimiento: indicadores generales, indicadores de mantenimiento de rutina e indicadores de rendimiento del equipo (Olmos, 2016). Los indicadores generales miden el desempeño de la organización de mantenimiento desde una perspectiva externa; analizan aspectos como el control presupuestario y el cumplimiento normativo.

Los indicadores de mantenimiento de rutina miden el desempeño de la organización de mantenimiento en términos de cumplimiento del cronograma y productividad; estas métricas miden aspectos como el tiempo promedio de finalización por orden de trabajo y el número de órdenes de trabajo incompletas (Noguera & Fernández-Concha, 2018). Los indicadores de desempeño del equipo son quizás las métricas más importantes porque miden la efectividad de la operación de mantenimiento en términos del impacto que tiene en el equipo; estas métricas analizan aspectos como el tiempo promedio entre fallas, el tiempo de inactividad del equipo debido al mantenimiento y la cantidad de fallas no planificadas del equipo.

2.1.4.7 Tiempos de paralización de maquinaria

El tiempo de inactividad de equipos o máquinas es una pérdida operativa en cualquier organización; el término tiempo de inactividad se utiliza para referirse a los períodos en los que un sistema no está disponible. El tiempo de inactividad o la duración de la interrupción se refiere a un período de tiempo en el que un sistema no proporciona o no realiza su función principal (Valdes & Martín, 2019). Esto suele ser el resultado de que el sistema no funcione debido a un evento no planificado o debido al mantenimiento de rutina.

Se puede definir el tiempo de inactividad, período durante el cual un equipo o máquina no funciona o no puede funcionar, pudiendo deberse a fallas técnicas, ajuste de máquinas, mantenimiento o falta de disponibilidad de insumos como materiales, mano de obra y energía. El tiempo de inactividad promedio generalmente se incluye en el precio de los bienes producidos, para recuperar su costo de los ingresos por ventas; es lo opuesto al tiempo de actividad y también se llama tiempo de espera. El porcentaje de tiempo de inactividad de todos los factores de tiempo de inactividad proporciona los factores críticos que se deben considerar para reducir este desperdicio (Pulzara, 2021).

El cálculo del tiempo de inactividad incluye la indisponibilidad de las máquinas debido a problemas planificados de mantenimiento, proceso y personal.

2.1.4.7.1 Formulación de la eficacia general del equipo (EGE)

Es la relación entre la salida real del equipo y su salida máxima teórica; los objetivos del mantenimiento preventivo son lograr el rendimiento ideal y la pérdida cero, lo que significa que no hay desperdicios ni defectos de producción, averías, accidentes, desperdicios en el proceso en funcionamiento o cambios. La cuantificación de estas acumulaciones de residuos en el tiempo y su comparación con el tiempo total disponible puede dar a la gestión de producción y mantenimiento una visión general del rendimiento real de la planta, con lo que, puede ayudarlos a enfocar la mejora en la pérdida más grande (Cubides & Ávila, 2018). Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{EGE} = \text{Disponibilidad} \times \text{Tasa de rendimiento} \times \text{Tasa de calidad}$$

Sobre ello, la relación de disponibilidad es la relación entre el tiempo de ejecución real y el tiempo programado (Núñez, 2017). El tiempo de ejecución real es la diferencia entre el tiempo de ejecución programado y la parada no planificada, tal como se muestra en la siguiente formulación para una mejor comprensión del proceso de disponibilidad en la determinación de datos cuantitativos y cómo esto influye en la paralización de la maquinaria:

$$\begin{aligned} \text{Disponibilidad (\%)} &= \frac{\text{Tiempo de funcionamiento real}}{\text{Tiempo de funcionamiento programado}} \times 100 \\ &= \frac{\text{Tiempo de funcionamiento programado} - \text{Paradas no planificadas}}{\text{Tiempo de funcionamiento programado}} \times 100 \end{aligned}$$

En la relación de rendimiento, este factor indica la relación entre la salida real y la salida prevista. En otras palabras, la pérdida de producción se produce por la subutilización de la maquinaria; se incurre en pérdidas cuando el equipo no funciona a toda velocidad debido a un funcionamiento irregular del equipo, atascos y desgaste del equipo.

$$\text{Tasa de rendimiento (\%)} = \frac{\text{Salida real}}{\text{Salida dirigida}} \times 100$$

La relación de calidad se basa en la cantidad de producción que se debe descargar o desechar, se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$Tasa\ de\ calidad\ (\%) = \frac{\text{Total de salidas} - \text{Defectos}}{\text{Total de salidas}} \times 100$$

$$= \frac{\text{Salidas adecuadas}}{\text{Total de salidas}} \times 100$$

Al analizar la eficacia general del equipo, muchas empresas pueden sorprenderse al descubrir que existe un espacio significativo para aumentar la producción de ciertos equipos. El seguimiento de EGE es útil para identificar las fuentes de los cuellos de botella, para tomar decisiones de gasto de capital y para monitorear la efectividad de los programas para aumentar la productividad de la máquina.

La fabricación adecuada generalmente prioriza la máxima utilización de personas en lugar de la máxima utilización de máquinas. Una de las razones es que las fábricas que producen varios productos no podrán usar todas las máquinas en todo momento, ya que los requisitos pueden diferir según el producto que se fabrique. La práctica de maximizar la eficacia general del equipo, implica adoptar un enfoque estructurado para minimizar las seis pérdidas principales que impactan sobre estos tres elementos. Estos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3. Efectividad general del equipo (EGE), elementos y pérdidas

Elementos de eficacia general del equipo	Fuentes de pérdida
<i>Disponibilidad</i>	Desglose
	Configuración y ajuste (incluido el cambio)
<i>Eficiencia en el desempeño</i>	Ralentí y parada menor
	Velocidad reducida

<i>Tasa de calidad</i>	Defectos de calidad y reelaboración
	Puesta en marcha

Fuente: (Lozano & Pesantez, 2021)

La primera de estas pérdidas, la avería, es la más evidente cuando se produce, por lo que, se deben aplicar esfuerzos inmediatos para solucionar el problema, pero la atención para resolver la causa también es esencial para evitar que vuelva a ocurrir. Una causa menos obvia pero igualmente probable de pérdida de disponibilidad son las pérdidas por configuración y ajuste (Erráez, 2019). Estos ocurren durante el período entre la fabricación de la última pieza buena de un lote y la primera pieza buena del siguiente; cuando la velocidad real de una máquina es inferior a su velocidad de diseño puede provocar pérdidas importantes.

La pérdida también ocurre por la producción de artículos defectuosos y esto puede deberse a incidencias esporádicas y también durante la puesta en marcha de un proceso hasta estabilizarlo, por ello, la efectividad del equipo es diferente entre los diferentes tipos de industria. La siguiente tabla muestra los valores para diferentes tipos de industrias, en donde se encuentra la de manufactura, para la fabricación de productos plásticos:

Tabla 4. Valores EGE para diferentes tipos de industria

Tipo de industria	EGE (Nivel superior)
<i>Manufactura, fabricación</i>	85%
<i>Proceso</i>	>90%
<i>Metalurgia</i>	75%
<i>Papel</i>	95%
<i>Cemento</i>	>80%

Fuente: (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2021)

Sobre estos datos, presentados por la CEPAL (2021), sobre la transformación del desarrollo industrial en América Latina, indican que la tasa promedio de efectividad general de los equipos en el desarrollo operativo industrial, especialmente en las industrias manufactureras es de alrededor del 60%. Según la tabla anterior, se considera que un EGE de clase mundial es del 85% o mejor, con lo cual, claramente, hay margen de mejora en la mayoría de las plantas de fabricación, y, en consecuencia, se debe considerar tales datos para promover planes de mantenimiento preventivo, considerando antecedentes de reparaciones, recomendaciones del fabricante, basado en el análisis de datos y necesidades del área específica en el proceso de fabricación.

2.1.5 Síntesis literaria

Esta revisión de la literatura proporcionó un análisis exhaustivo de la información relevante relacionada con la modernización de una estrategia de mantenimiento preventivo para las instalaciones y la infraestructura operativa en el diseño de un plan de mantenimiento preventivo. Se presentaron temas principales tales como gestión de mantenimiento, estrategias de mantenimiento más comunes, modelos de optimización de mantenimiento, modelado y análisis de decisiones, gestión de activos y comparación de prácticas de mantenimiento aplicadas. Una comprensión profunda de la información discutida en esta revisión de la literatura sirve como una base valiosa desde la cual realizar una evaluación y modernización de una estrategia de mantenimiento preventivo para el área de sellado en el proceso de fabricación de productos plásticos.

Esta investigación presentó en su etapa literaria un escenario general de mantenimiento preventivo de equipos en el proceso de fabricación, que prevé ser abordada específicamente en la metodología para la identificación y análisis de los tipos de daños que influyen directamente en los altos tiempos de paralización de maquinaria, y con ello, poder presentar un diseño del plan de mantenimiento preventivo, considerando los antecedentes de reparaciones, recomendaciones del fabricante, análisis de datos y las necesidades del área de sellado. Sobre tal escenario, se debe estimar que actualmente, es la competitividad más que las cuotas lo que determina la cuota de mercado y consecuentemente, es adecuado maximizar la operatividad productiva en la industria.

Por tanto, para ganar la mayor participación de mercado y mantenerse en el mercado competitivo actual, es necesario mejorar este sector. Como la sección de mantenimiento es una de las secciones más importantes entre las diferentes secciones de la fábrica de

productos plásticos, este estudio continúa con un enfoque en la mejora del mantenimiento de la máquina entre las diferentes secciones (metodología y propuesta). En este sentido, el concepto de programación de mantenimiento preventivo en el sistema de mantenimiento se aplica como un concepto diversificado en la sección de mantenimiento de máquinas para la fabricación de productos plásticos.

La mejora de cualquier organización de fabricación depende de varios aspectos, como la minimización de residuos, la mejora de la productividad, la gestión de la calidad, así como la eficiencia laboral, la utilización de recursos, etc. Este análisis de investigación se ha orientado sobre la base del análisis de la eficacia general del equipo (EGE) de la herramienta Lean; referente a ello, se prevé analizar el sistema de mantenimiento tradicional con un enorme costo de mantenimiento y pérdidas de producción, basados en la disponibilidad, tasa de calidad y tasa de rendimiento; entre estos tres factores, la tasa de rendimiento y la tasa de calidad para cada línea de fabricación son fundamentales en la revisión metodológica.

3 Metodología

3.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación es descriptiva y de campo, considerando que se describe el escenario de la empresa industrial, que fabrica productos plásticos, especialmente desde el área de sellado, ya que es en esta área donde se le da el corte longitudinal, sellado de fondo y troquelado a la funda según los requerimientos. En consecuencia, el propósito de la investigación descriptiva es determinar el componente que más falencias aporta a la máquina en los tiempos de producción y sobre los resultados, proponer un sistema de programación de mantenimiento preventivo para incrementar la fiabilidad operativa y productiva.

El método que se aplicará será el inductivo debido a que se utilizará en la construcción de las hipótesis leyes y demostraciones. En las distintas fases de observación se requerirá demostraciones de hipótesis que permitan sacar conclusiones lógicas para lo cual se realizan las pruebas respectivas.

3.2 Enfoque de investigación

El enfoque de investigación es cualitativo – cuantitativo, considerando que se cualifican los datos obtenidos de la máquina y se cuantifican a través de datos cuantitativos referentes a la influencia de la paralización de la máquina en la producción. Por tal razón, la investigación mixta se lleva a cabo procesando los datos del tiempo medio de reparación (MTTR) y el tiempo medio entre fallas (TBF) de acuerdo con la distribución de probabilidad y luego calcula la confiabilidad de cada componente antes y después de usar el sistema de mantenimiento preventivo.

A través del desarrollo del estudio, se prevé que los componentes logren un mejoramiento en la confiabilidad, como elemento previsible esperado para maximizar y beneficiar el proceso en la industria donde ejecuta actividades la empresa. Consecuentemente, se estima determinar los componentes que causan la mayor parte de la avería de la máquina; estableciendo el nuevo programa de mantenimiento para alcanzar la confiabilidad a proponer. Por ello, se espera dentro del enfoque cuantitativo que, el diseño del plan de mantenimiento preventivo de una solución a la problemática planteada, mejorando los tiempos de producción y minimizando o evitando los errores

de productividad a corto y mediano plazo en la empresa de fabricación de productos plásticos.

3.3 Descripción inicial

La descripción inicial es el comienzo de la observación, sobre ello, se inició tomando la referencia de datos de información proporcionada por la empresa, referente a los informes del gerente de la planta, al equipo de ingeniería y al resto del personal relacionado con el problema que enfrentaba la empresa que produce productos plásticos, lo cual se presentó como resultado en el informe económico 2021, 2022. Por lo tanto, la empresa debe mantener las máquinas de producción con el fin de mejorar la productividad; aunque tiene suficientes elementos de producción para satisfacer la demanda, no se puede lograr el objetivo de producción debido a las falencias en los tiempos de operatividad productiva en el área de sellado.

En las condiciones actuales, el sistema de mantenimiento es insuficiente puesto que el mismo se lo realiza cuando existen fallas en los equipos, lo que provoca la alta tasa de averías de la máquina y tiempos, incrementándose los costos debido a que las fallas generan mayor desgaste, mayor cantidad de repuestos, el soporte especializado y el tiempo se incrementa debido a no tener previsión de repuestos, soporte técnico, lo cual genera mayores pérdidas de producción. Esta investigación se enfocó en identificar y analizar el problema que más impacto tiene en las máquinas averiadas; sobre lo que, el problema en el sistema de mantenimiento debe reducir o eliminar estos tiempos improductivos aumentando la confiabilidad de las máquinas. Por lo tanto, se necesitan un análisis de situación actual y de tiempos esperados para establecer un mantenimiento preventivo en la empresa, que es abordado en esta etapa de la presente investigación.

3.4 Identificación de problemas en el área

Una vez determinados los problemas, se profundizará en la falencia específica en el área, identificando y analizando los tipos de daños que influyen directamente en los altos tiempos de paralización de la maquinaria. Para fabricar productos plásticos, la empresa tiene dos tipos de máquinas de producción, que son las máquinas de extrusión de polietileno y las máquinas de sellado.

La máquina de extrusión sirve para fundir los materiales plásticos, conducirlo a través de empuje mediante un tornillo sinfín hacia el molde y formar un globo para

posteriormente crear una película plástica que luego es embobinada, posteriormente la bobina de película plástica es llevada al área de sellado para el siguiente proceso, de sellado en el cual se toma la bobina de película plástica para darle forma, corte y tamaño según el requerimiento. En este proceso es donde se evidencian las diferentes falencias y errores de mantenimiento que han causado un descenso en la productividad, especialmente según los datos presentados por la empresa en el segundo semestre de 2022 (julio – diciembre) de la máquina selladora.

Figura 5. Bobina montada en la máquina selladora



Fuente: (Empresa Industrial de Fabricación de Plásticos EIFP, 2022)

3.5 Delimitación de la investigación

Esta investigación se limita a observar la problemática presentada en el área de sellado de la empresa; en concordancia con ello, el tiempo de desglose que se utilizó para este estudio en la determinación de datos que influyen en la paralización de las máquinas, se recopiló desde julio a diciembre de 2022. La recopilación de datos sirve para identificar y analizar los tipos de daños que influyen directamente en los altos tiempos de paralización de maquinaria, y también está respaldada por la información del equipo de ingeniería del departamento de mantenimiento y el área de supervisión a través de la información presentada por la empresa.

3.6 Datos e información

La recopilación de datos tiene como propósito analizar el problema con el rendimiento de confiabilidad de la máquina de sellado, por lo que, se han presentado los datos proporcionados por la empresa en los niveles de producción que debe existir en el área de sellado.

Figura 6. Bobina de película plástica



Fuente: (Empresa Industrial de Fabricación de Plásticos EIFP, 2022)

Los datos presentados son consecuentes con la información actual de producción de las maquinas selladoras, que deben producir de manera óptima las unidades por minuto, y que actualmente se encuentran produciendo de manera irregular las unidades por minuto. En el proceso de producción, la extrusora constituye el elemento complementario para la bobina de película plástica que ejecuta el proceso completo para la fabricación de productos plásticos.

Figura 7. Extrusora



Fuente: (Empresa Industrial de Fabricación de Plásticos EIFP, 2022)

Los datos recopilados por la empresa corresponden al segundo semestre del año 2022 razón por lo que, se estima según la información proporcionada, los elementos de producción y confiabilidad de la maquina son deficientes, por lo que, la implementación del plan de mantenimiento preventivo prevé resolver o solucionar dichas problemáticas a corto y mediano plazo.

3.7 Cálculo y análisis de datos

Un primer paso ha correspondido a organizar la información proporcionada por la empresa para determinar la cantidad de fallas que han tenido las 10 máquinas del área de sellado, con lo cual se pudo determinar el tiempo de paro de máquina organizado por tipo de falla. Una vez obtenidos los datos y los resultados de la observación, se puede continuar con el procesamiento y análisis de datos. Los pasos del análisis consisten en:

- a. Revisión del Elemento Significativo de Mantenimiento de máquina y componente críticos en el departamento de mantenimiento de la empresa.**

El primer paso realizado en el procesamiento de datos es analizar qué componente de la máquina del área de sellado, causa una gran cantidad de tiempo de inactividad. Esta selección se realiza mediante el uso de una de las siete herramientas que es el diagrama de Pareto y a partir de los resultados se conocerá el tiempo de inactividad de qué área se seguirá intentando analizar y se le dará una solución.

Después de identificar las prioridades de los componentes de la investigación, se discutió con el supervisor de área y el jefe de ingeniería del departamento, para hacer un análisis de modo de fallas y efectos (FMEA) para analizar las causas de los incidentes. Los parámetros utilizados en FMEA son los valores de escala de las variables de severidad, ocurrencia y detección para cada causa de falla.

b. Determinar TTR y TBF

El siguiente paso es determinar el tiempo de reparación (TTR) y el tiempo entre fallas (TBF) en cada componente. El tiempo de reparación se obtiene de la resta entre el tiempo de finalización de falla con el tiempo de inicio de falla y el tiempo entre fallas se obtiene de la duración del componente cuando el componente ya está reparado.

c. Determinar la distribución de probabilidad

Después del cálculo de TBF, se determinó la distribución de probabilidad para cada uno; por lo que, la distribución de probabilidad se realiza utilizando el *software* SPSS. Sobre ello, hay que levantar los datos de tiempo por máquina y obtener la media y desviación estándar.

El segundo paso es la prueba de bondad de ajuste. La prueba de bondad de ajuste para lo cual se ingresan los datos y se analiza las gráficas de ajuste, así como se realiza las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y la de Shapiro-Wilk considerando si la cantidad de datos es menor a 50 se utiliza la prueba de bondad de ajuste de Shapiro- Wilk, siendo este el caso y estableciendo la correspondiente prueba de hipótesis de normalidad.

Una vez determinada la distribución de probabilidad se obtendrá las medias de mantenimiento y desviación estándar y en base a esto se podrá determinar la programación de mantenimiento considerando los tiempos mínimos de falla para un nivel de confianza del 90%.

d. Calcular el costo de mantenimiento

Calcular el costo de mantenimiento y la confiabilidad de la máquina para la programación de mantenimiento preventivo. Sobre ello, hay varios datos necesarios para calcular el costo de mantenimiento que son:

- a. Capacidad de producción/hora
- b. Precio de ingresos por hora de producción
- c. Tiempo medio de reparación
- d. Costos actuales de reparación
- e. Costo de los componentes y técnicos externos

Después de recopilar esos datos, se determina el costo del mantenimiento correctivo y el mantenimiento preventivo. La fórmula para calcular el costo del mantenimiento correctivo se expresa en la siguiente ecuación:

- Costo de producción = Ingresos por hora x tiempo de paro de máquina (inactividad)
- Costo de repuestos = Repuestos utilizados en la reparación de máquinas en el período de estudio
- Costo de personal externo = Suma de costos totales de personal externo contratado para reparación en el período

e. Calcular reparación de componentes

El cálculo del intervalo de mantenimiento se utiliza para determinar el intervalo de mantenimiento preventivo propuesto. El intervalo de mantenimiento indica el intervalo de instalación del componente; la función de densidad de probabilidad, la función de riesgo acumulativo de distribución acumulativa y la confiabilidad se utilizarán para calcular el intervalo de reparación. Cada distribución tiene un parámetro diferente para calcular el intervalo de mantenimiento.

f. Comparación de horarios

Realizar la programación de mantenimiento preventivo actual y la comparación de la programación de mantenimiento preventivo propuesta

g. Comparativo de los costos de mantenimiento actual y el previsto

Considerando cada uno de los costos actuales y los previstos será posible determinar el ahorro o pérdida de implementar el mantenimiento preventivo.

4 Análisis de datos

4.1 Determinación de datos cuantitativos en la paralización de maquinaria

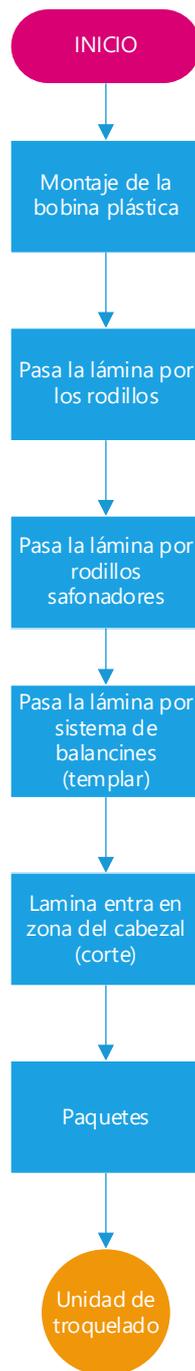
Este capítulo constará de todos los datos necesarios para lograr el objetivo de determinación de datos cuantitativos como elemento de influencia en la paralización de la máquina en la producción; por lo que, todos los datos se calculan y analizan utilizando el método que se ha definido.

4.1.1 Descripción del producto y proceso

La bobina de película plástica montada en la maquina selladora se puede definir como el elemento central para el proceso de sellado. Estas bobinas pueden ser de diferentes medidas: 49 pulgadas, 48 pulgadas, 42 pulgadas y 37,5 pulgadas, a partir de esto se cortan en medidas comercialmente conocidas como Dina ½, Dina 4, Dina 5 y Dina 6.

El proceso de sellado comienza con el montaje de la bobina plástica en el eje porta bobina de la maquina selladora, luego se pasa la lámina por una serie de rodillos de aluminio que sirven para quitar las arrugas que pueda tener el rollo, a continuación la lámina es pasada por unos rodillos de caucho también conocidos como rodillos safonadores que sirven para quitar el aire que viene dentro de la lámina, luego la lámina pasa por el sistema de balancines que sirven para templar la película, posterior a esto la lámina entra en la zona del cabezal donde a través de una cuchilla caliente se corta la funda a la medida solicitada y en la cantidad configurada para sacar los paquetes de fundas, finalmente los paquetes son transportados a la unidad de troquelado de la máquina donde se forman las mangas de la funda y se empaquetan. Estando listos los paquetes pasan a ser almacenados en sacos y en cantidades que pueden ir desde los 40, 60 y 120 paquetes dependiendo de la medida, de esta manera quedaría listo el bulto que luego pasa a ser almacenado en pallets para su posterior traslado al área de bodega de producto terminado.

Figura 8. Flujo del proceso de sellado



Fuente: (Empresa Industrial de Fabricación de Plásticos EIFP, 2022)

4.1.2 Proceso de Extrusión

El proceso de extrusión comienza con la mezcla de diferentes resinas, esta mezcla es ingresada a través de absorbedores o manualmente a una tolva la misma que dosifica la cantidad de mezcla a ingresar a los túneles, dichos túneles son calentados por medio de resistencias a una temperatura de 160°C, en esta etapa del proceso la resina es

plastificada a su vez que es empujada a través de un tornillo sinfín a la zona del cabezal, dentro del cabezal existen una serie orificios que le dan forma al polímero, de esta manera obtenemos una lámina o película que forma una especie de globo, finalmente la lámina pasa por una serie de rodillos que sirven denominados rodillos de tiro, los cuales se encargan de eliminar el exceso de aire de la lámina y de esta manera tener una bobina de película plástica más uniforme.

4.1.3 Análisis de elementos significativos de mantenimiento

Como se indica en los antecedentes del problema, es en el área de sellado 1 es donde se concentran las máquinas selladoras para dar corte y sello a las fundas plásticas en las medidas Dina 1/2, Dina 4, Dina 5 y Dina 6.

Por lo tanto, el rendimiento de las máquinas es importante y debe mantenerse bien para que el proceso de producción en esta área pueda funcionar sin problemas.

La empresa ha tomado conciencia de la importancia de la actividad de mantenimiento, evidenciada con la existencia de esta área de sellado. Además de ser responsable de apoyar la máquina de producción, el equipo de ingeniería también es responsable del mantenimiento, donde todos los técnicos trabajan en función de su turno. Todos los técnicos son responsables tanto de reparar la máquina averiada como de realizar acciones en base al mantenimiento programado. No todos los técnicos saben reparar las piezas de la máquina, debido a eso, se necesita mucho tiempo para reparar la máquina.

La identificación de elementos importantes para el mantenimiento se realiza mediante la recolección de información de la empresa, referente al equipo de ingeniería y también con datos históricos de pérdidas por paros. El sistema de mantenimiento deficiente se puede probar a partir de la tabla de pérdida de paros totales a continuación. Los datos de pérdidas de paros totales se recopilan durante julio hasta diciembre de 2022.

Tabla 5. Comparación de la duración de las pérdidas por paros

<i>Categoría</i>	<i>Tiempo</i>
Problemas de máquina (mantenimiento correctivo)	394.5 h.
Mantenimiento preventivo	0 h.

Fuente: (Empresa Industrial de Fabricación de Plásticos EIFP, 2022)

Según la tabla 5, se produjeron 390 horas de tiempo de inactividad de la máquina causado por una falla de la máquina, lo que equivale a perder la producción de 20.691 kg correspondiente a un valor estimado de \$29.897 específicamente en pérdidas de producción (Empresa Industrial de Fabricación de Plásticos EIFP, 2022). El análisis del componente crítico será más específico después de identificar los fallos que más contribuyen al tiempo de inactividad de la máquina. Los diferentes daños presentados son los componentes que contribuyen con el mayor tiempo de inactividad.

4.2 Identificación y análisis de los tipos de daños en los componentes de la máquina

Con base en los datos de pérdidas por paralización, el contribuyente central del tiempo de inactividad de la máquina es causado por la falla de la máquina. Para encontrar las principales causas que contribuyen al tiempo de inactividad se realiza a continuación un análisis de los tiempos de paralización organizados por tipo de daños producidos como sigue:

Tabla 6. *Tiempo de producción paralizada*

Tipo de falla	Cantidad de fallas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Total (h)
Rodamientos de los rodillos	11	13.1	6.6	8.1	8	13.3	8.3	8.8	11.6	6.2	10.9	1.9	96.8
Banda del motor principal	9	11.1	12.1	13.3	15.7	8.6	10.6	7.9	14.8	0			94.1
Caja reductora del motor	7	8.7	15.2	7.1	10.2	6.9	14.6	0					62.7
Piñones de nylon del rodillo	6	8.7	10.2	13.6	12.9	12.1	0						57.5
Pernos de la mesa	5	7.3	9.9	10.1	9.5	0							36.8
Cuchillas de sello lateral	3	7.1	6	0									13.1
Cilindros de aire del pisador	2	8.5	0										8.5
Bomba del sistema	1	13.7											13.7
Horquilla del brazo del cabezal	1	11.3											11.3
Total	45												394.5

En el anexo 4 se presentan las imágenes de los componentes que han causado las principales fallas en la maquinaria.

Esta información es clave para determinar cuáles son las causas que generan los problemas de detención de máquina en función del tiempo perdido de producción, sin embargo esta información es limitada, puesto que la paralización corresponde a un tiempo de inactividad debido al tiempo de paralización para iniciar la reparación y la reparación misma, información que se utilizará posteriormente para el análisis del tiempo de reparación.

El análisis del gráfico de Pareto se utiliza para determinar el componente crítico o daños críticos; se puede estimar que el componente que es crítico tiene la frecuencia de falla más alta en el gráfico de Pareto, pero principalmente se utilizará este análisis para determinar cuáles son los fallos que presentan un tiempo de paralización de máquina que supera el 80% de las pérdidas de producción, mismo que se presenta a continuación:

Tabla 7. Frecuencia de falla de los componentes

Fallo	Horas perdidas	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Banda del motor principal	96.8	24.5%	24.5%
Caja reductora del motor	94.1	23.9%	48.4%
Rodamientos de los rodillos	62.7	15.9%	64.3%
Pernos de la mesa	57.5	14.6%	78.9%
Piñones de nylon del rodillo	36.8	9.3%	88.2%
Cilindros de aire del pisador	13.1	3.3%	91.5%
Cuchillas de sello lateral	8.5	2.2%	93.7%
Bomba del sistema	13.7	3.5%	97.1%
Horquilla del brazo del cabezal	11.3	2.9%	100.0%
	394.5		

Fuente: (Empresa Industrial de Fabricación de Plásticos EIFP, 2022)

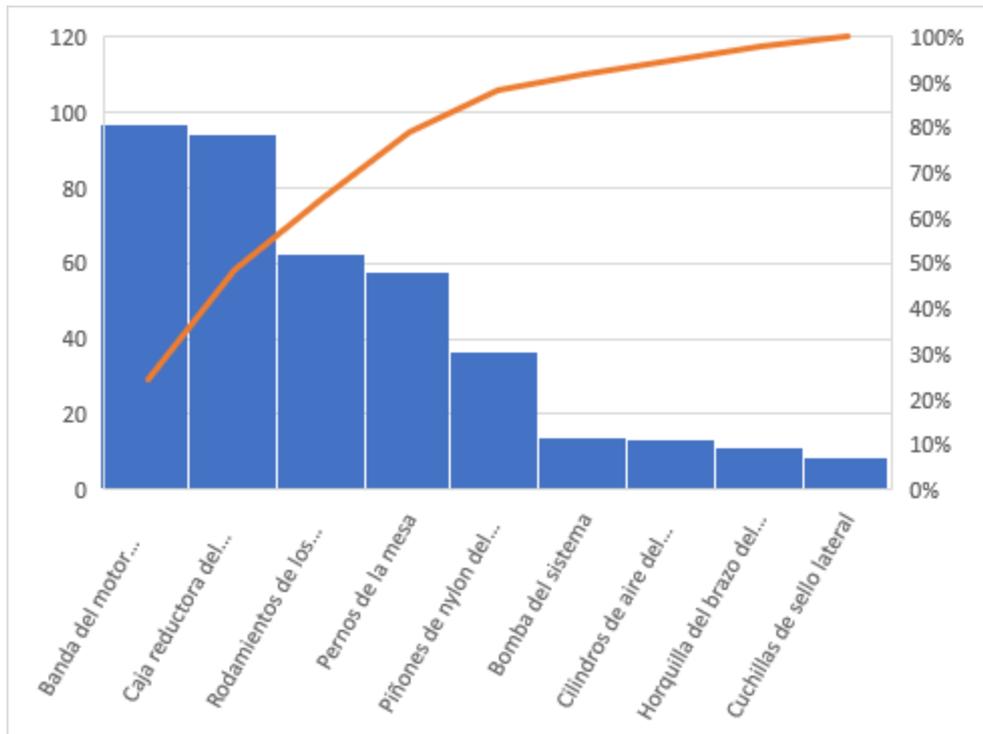
Elaborado por: El autor

En la tabla se observa los tiempos de paralización en función del tipo de falla encontrada clasificados de mayor a menor y determinado el porcentaje que corresponde al tiempo de falla, además para el correspondiente análisis de Pareto se estima el porcentaje acumulado.

Se puede observar que hasta el fallo número 5 se acumula más de un 80% del tiempo perdido en producción, exactamente se pierde el 88.2% del tiempo detenido de máquina.

La figura 9, permite complementar el análisis observándose que los primeros cinco componentes ocupan el mayor tiempo de paralización alcanzando más de un 80% del tiempo detenido. Los principales fallos para la paralización son la banda del motor principal, la caja reductora del motor, los rodamientos de los rodillos, los pernos de la mesa y los piñones de nylon del rodillo.

Figura 9. Diagrama de Pareto del Componente Crítico



Elaborado por: El autor

La figura 9 presenta el diagrama de Pareto que demostró que esos cinco componentes tienen un impacto directo en el rendimiento de la máquina y la banda del motor principal es el componente que causó mayor tiempo de avería de la máquina. El tiempo de inactividad total causado por esos componentes es de 347,9 horas. Dado que la falla de la máquina es causada por esos componentes, no se ejecutará todo el proceso que utiliza la máquina en todo el proceso conjunto para la fabricación de los productos plásticos. Por lo tanto, esos 5 componentes se eligen como un componente crítico.

4.3 Análisis de causa y efecto

En esta etapa, se analizan los componentes que son críticos; si hay una falla en el componente, se conocerá el alcance del efecto en la función general del sistema. Por lo

tanto, el enfoque estará principalmente en el componente con mayores fallas para un mantenimiento preventivo más efectivo; consecuentemente, la determinación del mantenimiento preventivo se realiza mediante el uso de herramientas de análisis de efecto y modo de falla. La siguiente tabla 8 representa el análisis de causa y efecto debido a la falla de un componente.

Tabla 8. *Análisis de causa y efecto*

Componente	Posible causa	Efectos potenciales
<i>Rodamientos de los rodillos safonadores</i>	Eje de los rodillos desbalanceados (cabeceo)	Rotura de los rodamientos y desgaste del eje del rodillo
	Rodillos muy apretados entre si	Rotura de las chumaceras
<i>Banda del motor principal</i>	Rodamientos en mal estado	Rotura de la banda que mueve el sistema del cabezal de corte
	Eje de transmisión con desgaste en zona de rodamientos	
<i>Caja reductora del motor principal</i>	Canal y cuña desgastada	Daño en los engranajes del piñón de bronce y desgaste del eje sinfín
	Rodamientos en mal estado	
	Retenedores en mal estado	
	Perdida de aceite	
<i>Piñones de nylon del rodillo de arrastre</i>	Rodillos muy apretados (superior e inferior)	Daño en los engranajes del piñón y desgaste progresivo del caucho.
	Rodamientos internos de los rodillos en mal estado	
<i>Pernos de la mesa del cabezal</i>	Bocines de los ejes guías con desgaste	Rotura de los pernos de agarre de la mesa
	Pines (pasadores) de las guías con desgaste	Rotura de las agujas

Elaborado por: El autor

El análisis de efecto y modo de falla es una herramienta utilizada para analizar la confiabilidad de un sistema y la causa de la falla para lograr los requisitos, el diseño y los procesos de confiabilidad y seguridad del sistema al proporcionar información

básica sobre la predicción, el diseño y el proceso de confiabilidad del sistema. Según el resultado del análisis, hay cinco componentes que tienen mucho potencial de ocurrir, luego se obtiene el número de prioridad de riesgos (RPN) de cada componente. El valor de RPN indica el nivel de prioridad del componente que se considera de alto riesgo, como guía para la acción correctiva.

Tabla 9. Valor RPN del componente fallido

<i>Componente</i>	<i>Grado de gravedad</i>	<i>Frecuencia de ocurrencia</i>	<i>Cambio de Detección</i>	<i>Número de prioridad de riesgo (RPN) Valor</i>
Rodamientos de los rodillos safonadores	8	6	4	192
Banda del motor principal	7	8	4	224
Caja reductora del motor principal	7	6	4	168
Piñones de nylon de los rodillos de arrastre	9	6	5	270
Pernos de la mesa del cabezal	6	6	5	180

Elaborado por: El autor

El número de prioridad de riesgo (RPN) de cada componente se obtiene del cálculo de Severidad x Ocurrencia x Detección. Con base en el análisis FMEA, los 5 componentes críticos que se obtuvieron indicarán la programación del mantenimiento preventivo. El cálculo del RPN se realiza mediante análisis de los datos otorgados por la empresa en el área de investigación y en el proceso completo de fabricación de productos plásticos. A continuación, se muestra la explicación del cálculo de RPN:

4.3.1 Rodamientos de los rodillos safonadores

- a. Grado de gravedad: 8

Descripción: El grado de severidad de este componente es alto de tal manera que interrumpirá las actividades de producción. Los rodillos safonadores se encargan de

eliminar aire de la lámina de plástico, el mal funcionamiento de este sistema implica que el paquete de fundas salga muy inflado y no pueda ser empacado de forma con facilidad.

b. Frecuencia de ocurrencia: 6

Descripción: La probabilidad de ocurrencia de este componente es muy baja. En el sistema de mantenimiento actual, la falla del componente todavía ocurre 4 veces en los últimos 6 meses.

c. Posibilidad de detección: 4

Descripción: la capacidad de mantenimiento existente tiene una probabilidad moderada de detectar el modo de falla de causa potencial.

RPN = Gravedad x Ocurrencia x Detección

RPN = 8 x 6 x 4

NPR = 192

4.3.2 Banda del motor principal

a. Grado de severidad: 7

Descripción: El grado de severidad de este componente es alto de tal manera que interrumpirá las actividades de producción. La banda de transmisión es la que mueve el cabezal de corte, su desgaste o rotura causaría que los rodillos de arrastre no puedan transportar el material y se enrede en el destacador (separador de fundas).

b. Frecuencia de ocurrencia: 8

Descripción: La probabilidad de ocurrencia de este componente es alta. En el sistema de mantenimiento actual, la falla del componente todavía ocurre 10 veces en 6 meses.

c. Posibilidad de detección: 4

Descripción: la capacidad de mantenimiento existente tiene una probabilidad moderadamente alta de detectar el modo de falla de causa potencial.

RPN = Gravedad x Ocurrencia x Detección

NPR = 7 x 8 x 4

NPR = 224

4.3.3 Caja reductora del motor principal

- a. Grado de severidad: 7

Descripción: El grado de severidad de la falla del componente es alto. La temperatura de motor y la caja aumentará, pero la máquina seguirá funcionando por un tiempo, pero a la larga romperá los retenedores, rodamientos y demás componentes del motoreductor.

- b. Frecuencia de ocurrencia: 6

Descripción: La probabilidad de ocurrencia de este componente es moderada. En el sistema de mantenimiento actual, la falla del componente todavía ocurre 5 veces en los últimos 6 meses.

- c. Posibilidad de detección: 4

Descripción: el mantenimiento actual tiene una capacidad moderadamente alta para detectar las causas de la falla de los componentes.

RPN = Gravedad x Ocurrencia x Detección

RPN = 7 x 6 x 4

NPR = 168

4.3.4 Banda del motor principal

- a. Grado de severidad: 9

Descripción: El grado de severidad alto de este componente es muy alto. La falla de este componente hace que la máquina interrumpa las actividades de producción.

- b. Frecuencia de ocurrencia: 6

Descripción: la probabilidad de falla del componente es moderada. En los últimos 6 meses, la bomba hidráulica falla 6 veces.

c. Posibilidad de detección: 5

Descripción: el mantenimiento actual tiene capacidad moderada para detectar las causas de la falla de los componentes.

$$\text{RPN} = \text{Gravedad} \times \text{Ocurrencia} \times \text{Detección}$$

$$\text{RPN} = 9 \times 6 \times 5$$

$$\text{NPR} = 270$$

4.3.5 Piñones de nylon de los rodillos de arrastre

a. Grado de severidad: 6

Descripción: El efecto causante de fallas en el rendimiento de la máquina es moderado. La máquina aún funciona, pero el rendimiento disminuirá al tener que bajar la velocidad.

b. Frecuencia de ocurrencia: 6

Descripción: La probabilidad de la causa de la falla del componente es moderado. En los últimos 6 meses, el elemento del filtro falla 5 veces.

c. Posibilidad de detección: 5

Descripción: el mantenimiento actual tiene poca capacidad para detectar las causas de la falla de los componentes. Los piñones de nylon que forman parte de los rodillos de arrastre son los encargados de hacerlos girar y efectúen el arrastre del material, la mala condición de estos puede incidir en el desempeño de la máquina y en la calidad del producto.

$$\text{RPN} = \text{Gravedad} \times \text{Ocurrencia} \times \text{Detección}$$

$$\text{RPN} = 6 \times 8 \times 6$$

$$\text{NPR} = 180$$

4.4 Causa de la falla

La causa de la falla se ha podido observar y se ha determinado que, existen cinco tipos de fallas principales para la máquina selladora que son: rodamientos de los rodillos safonadores, banda del motor principal, caja reductora del motor principal, piñones de nylon del rodillo de arrastre y pernos de la mesa de las agujas.

A continuación se presenta con mayor profundidad las causas para posteriormente establecer las potenciales soluciones a través del mantenimiento.

4.4.1 Rodamientos de los rodillos safonadores.

El sistema de rodillos safonadores consta de dos rodillos de caucho que tienen como función sacar todo el aire que pudiese haber dentro de la lámina de película plástica para un mejor cortado y sellado de la funda. La calibración de estos rodillos es de forma manual, el objetivo es mantener lo más parejo posible los rodillos ya que trabajan paralelamente y no debería haber luz entre ellos, una mala calibración traería como consecuencia más ajuste en un lado de los rodillos lo que provocaría un desgaste prematuro de la superficie del caucho y el desgaste de los rodamientos.

Algunas de las causas posibles para que suceda el desgaste o rotura de estos rodamientos son:

- a. Excesivo ajuste entre los rodillos safonadores.
- b. Chumaceras con desgaste en su interior.
- c. Desgaste de las poleas de transmisión.

4.4.2 Banda del motor principal

La banda de transmisión del motor principal es la encargada de poner en movimiento a varios sistemas y subsistemas de la máquina a través de sistemas de poleas que ejercen fuerza de fricción. El desgaste y la rotura de la misma por varios factores originaría la parada de la maquina obligadamente ya que el procedimiento para reemplazarla implica el desmontaje de varios componentes de la máquina.

Las principales causas de este daño son:

- a. Templadores muy ajustados.
- b. Poleas con desgaste en el cuñero y cuña.

- c. Banda de mala calidad.

4.4.3 Caja reductora del motor principal

El motor principal es el encargado de mover el cabezal de corte de la máquina, el motor está adherido a una caja reductora, esta a su vez por medio de una banda dentada mueve el cabezal en forma vertical.

El daño más recurrente en este componente es el desgaste o rotura de los componentes internos de la caja reductora (piñón de bronce, eje sinfín, rodamientos y retenedores).

Las principales causas de son:

- a. Pérdida de aceite por daño en los retenedores.
- b. Exceso de alimaya que afectan a los rodamientos.
- c. Desgaste de la canal y de la cuña.

4.4.4 Piñones de nylon del rodillo de arrastre

En el sistema del cabezal se encuentran ubicados los rodillos de arrastre, estos sirven para transportar la película plástica y que luego pueda ser cortada según el requerimiento, estos rodillos de arrastre se identifican como rodillo de arrastre inferior y rodillo de arrastre superior. Los problemas más frecuentes se dan el rodillo de arrastre superior, este lleva en un lado un piñón de nylon, el rodillo de arrastre inferior lleva en un lado un piñón metálico, estos rodillos al montarse juntan sus engranajes entre sí, estos a su vez son accionados por medio de una banda dentada que está sujeta a un servomotor, el mismo que les da la señal para realizar su trabajo de arrastre.

El principal daño que se da en este componente es el daño de los dientes del piñón de nylon. Las principales causas son:

- a. Rodillos de arrastre muy apretados entre sí.
- b. Rodamientos de los rodillos en mal estado.
- c. Punta del eje del rodillo de arrastre torcida.

4.4.5 Pernos de la mesa de las agujas

El sistema de agujas en la máquina selladora sirve para hacer una serie de orificios a cada funda del paquete y que esta permanezca en esa posición y no se vuele ya que se trabaja con presión de aire, la funda permanece insertada en las agujas hasta que se

complete la cantidad de fundas programadas por paquete (90 o 100 unidades), luego de esto las agujas bajan su posición para que los paquetes de fundas puedan ser llevados hasta la unidad de troquelado. Este sistema mecánico de agujas es accionado por una electroválvula la misma que envía la señal para que los pistones neumáticos hagan la función de subir y bajar las agujas.

El sistema de agujas consta de una barra metálica porta agujas, una plancha de aluminio con orificios donde entran y salen las agujas, 3 pistones neumáticos que se enroscan a 3 pines guías y estos a su vez agarran a la plancha de aluminio.

La plancha de aluminio es propensa a sufrir desgaste en sus orificios de agarre debido a las vibraciones de la máquina y al constante golpeteo entre el sistema de agujas y el sistema de pisador de fundas, esto origina en la rotura de los pernos de sujeción, cuando los pernos de sujeción se parten se pueden producir problemas de calidad en el producto final ya que el sello de fondo de la funda será débil y será declarado como producto no conforme.

Las causas más comunes que originan que estos pernos se partan son las siguientes:

- a. Desgaste de los hilos de los pernos y de los pines guías.
- b. Pistones neumáticos en mal estado.
- c. Orificios de la plancha de aluminio con desgaste producto del golpeteo entre dos componentes.
- d. Descuadre de la mesa.

4.5 Tiempo medio entre fallos

Después de calcular el tiempo de reparación, es necesario disponer de la información de las fechas y horas de inicio de la reparación de la máquina hasta su siguiente reparación, esto permitirá determinar el tiempo en el cual se esperaría un desajuste o una paralización debido a los diferentes factores que se analizaron anteriormente, por tanto es necesario por una parte establecer estos tiempos y determinar la distribución de probabilidad de estas fallas para poder establecer qué tipo de cálculo se realizará para obtener los tiempos en los que se podría prever nuevas fallas. Por tanto los tiempos entre fallas son como sigue:

Para los tiempos entre fallas es necesario establecer por cada máquina como sigue:

Tabla 10. *Tiempo entre fallos (días)*

Máquina	1	2	3	4	5
P 01	26	34	21	38	22
P 02	31	34	38	41	26
P 03	29	49	26	31	
P 04	36	67	48		
P 05	31	32	61		
P 06	28	34	37	49	29
P 22	21	29	17	36	39
P 08	22	31	49	28	33
P 09	36	32	29	31	34
P 11	39	36	33	30	31

Elaborado por: El autor

En la tabla 10 se puede observar la máquina (con su respectivo código) y para el período julio – diciembre el tiempo entre fallas que se ha presentado.

Para determinar el tipo de cálculo que se realizará con estos datos, se realiza a continuación un análisis de la distribución de probabilidad, con el fin de determinar si los datos siguen una distribución normal u otro tipo de distribución y con ello realizar los cálculos siguientes.

Para el análisis de bondad de ajuste se plantean las siguientes hipótesis:

Ho: La variable tiempo entre fallas tiene una distribución normal

H1: La variable tiempo entre fallas es distinta a la distribución normal

En base a esta hipótesis y haciendo uso del programa SPSS se han ingresado todos los datos con la clasificación por máquina obteniéndose los siguientes datos descriptivos:

Tabla 11. *Cálculo de normalidad para los tiempos entre fallas*

Descriptives			
	Maquina		
Tiempo entre fallas	P 02	Mean	34.0000
		95% Confidence Interval for Mean	26.7069
		Lower Bound	41.2931
		Upper Bound	34.0556
		5% Trimmed Mean	34.0000
		Median	34.500
		Variance	

	Std. Deviation		5.87367	
	Minimum		26.00	
	Maximum		41.00	
	Range		15.00	
	Interquartile Range		11.00	
	Skewness		-.271	.913
	Kurtosis		-.823	2.000
P 03	Mean		33.7500	5.18612
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	17.2455	
		Upper Bound	50.2545	
	5% Trimmed Mean		33.3333	
	Median		30.0000	
	Variance		107.583	
	Std. Deviation		10.37224	
	Minimum		26.00	
	Maximum		49.00	
	Range		23.00	
	Interquartile Range		17.75	
	Skewness		1.764	1.014
	Kurtosis		3.278	2.619
P 04	Mean		50.3333	9.02466
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	11.5034	
		Upper Bound	89.1633	
	5% Trimmed Mean		.	
	Median		48.0000	
	Variance		244.333	
	Std. Deviation		15.63117	
	Minimum		36.00	
	Maximum		67.00	
	Range		31.00	
	Interquartile Range		.	
	Skewness		.657	1.225
	Kurtosis		.	.
P 06	Mean		35.4000	3.77624
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	24.9155	
		Upper Bound	45.8845	
	5% Trimmed Mean		35.0556	
	Median		34.0000	

	Variance		71.300	
	Std. Deviation		8.44393	
	Minimum		28.00	
	Maximum		49.00	
	Range		21.00	
	Interquartile Range		14.50	
	Skewness		1.280	.913
	Kurtosis		1.564	2.000
P 08	Mean		32.6000	4.50111
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	20.1029	
		Upper Bound	45.0971	
	5% Trimmed Mean		32.2778	
	Median		31.0000	
	Variance		101.300	
	Std. Deviation		10.06479	
	Minimum		22.00	
	Maximum		49.00	
	Range		27.00	
	Interquartile Range		16.00	
	Skewness		1.274	.913
	Kurtosis		2.405	2.000
P 09	Mean		32.4000	1.20830
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	29.0452	
		Upper Bound	35.7548	
	5% Trimmed Mean		32.3889	
	Median		32.0000	
	Variance		7.300	
	Std. Deviation		2.70185	
	Minimum		29.00	
	Maximum		36.00	
	Range		7.00	
	Interquartile Range		5.00	
	Skewness		.183	.913
	Kurtosis		-.681	2.000
P 11	Mean		33.8000	1.65529
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	29.2042	
		Upper Bound	38.3958	
	5% Trimmed Mean		33.7222	

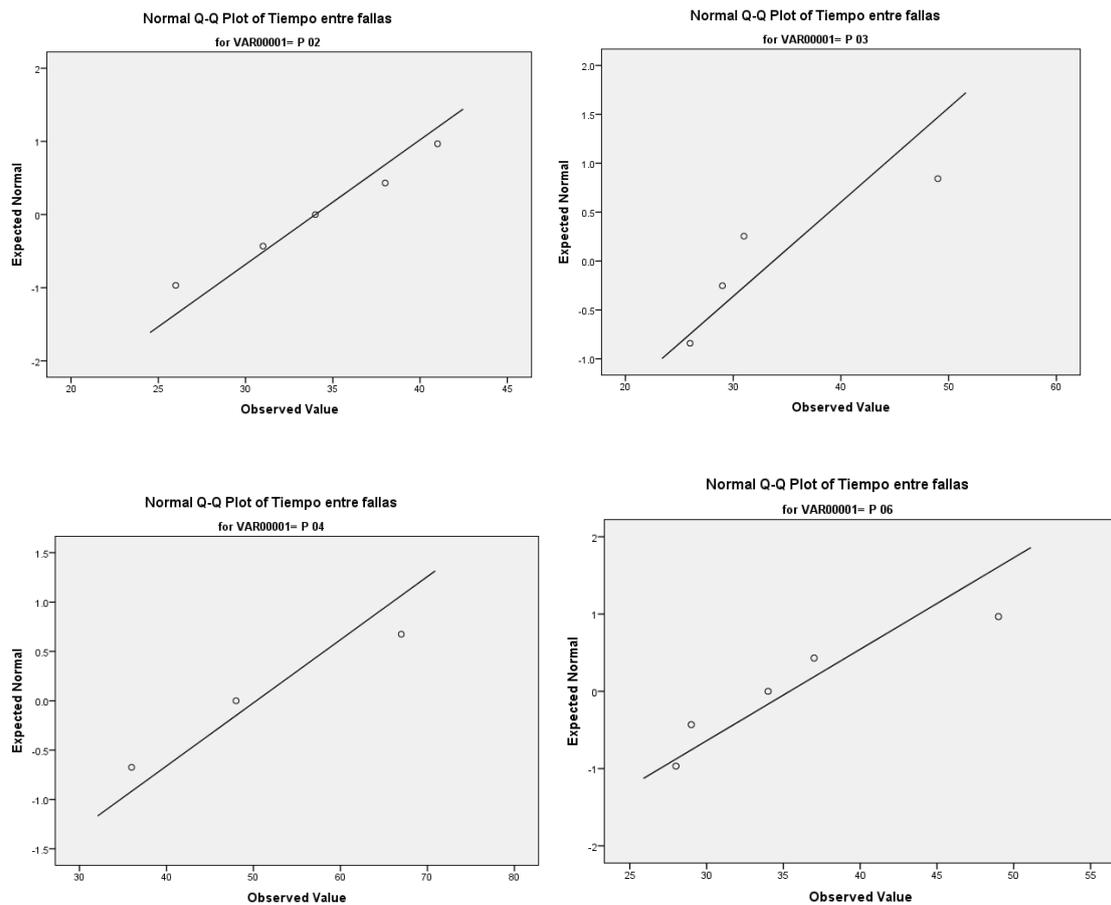
	Median		33.0000	
	Variance		13.700	
	Std. Deviation		3.70135	
	Minimum		30.00	
	Maximum		39.00	
	Range		9.00	
	Interquartile Range		7.00	
	Skewness		.607	.913
	Kurtosis		-1.174	2.000
P 22	Mean		28.4000	4.21426
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	16.6993	
		Upper Bound	40.1007	
	5% Trimmed Mean		28.4444	
	Median		29.0000	
	Variance		88.800	
	Std. Deviation		9.42338	
	Minimum		17.00	
	Maximum		39.00	
	Range		22.00	
	Interquartile Range		18.50	
	Skewness		-.128	.913
	Kurtosis		-2.317	2.000
P05	Mean		41.3333	9.83757
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	-.9943	
		Upper Bound	83.6610	
	5% Trimmed Mean		.	
	Median		32.0000	
	Variance		290.333	
	Std. Deviation		17.03917	
	Minimum		31.00	
	Maximum		61.00	
	Range		30.00	
	Interquartile Range		.	
	Skewness		1.725	1.225
	Kurtosis		.	.
P1	Mean		28.2000	3.35261
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	18.8917	
		Upper Bound	37.5083	

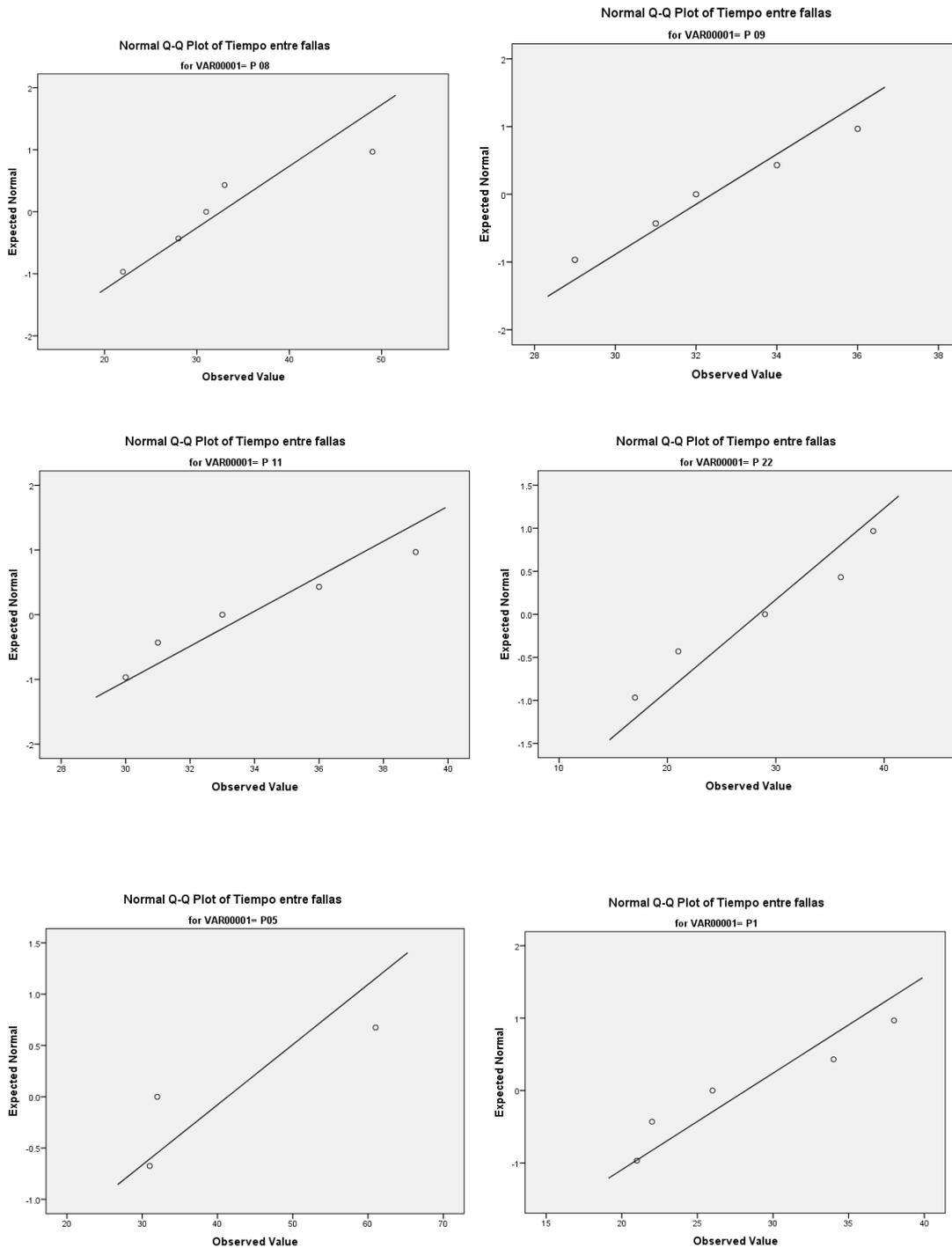
5% Trimmed Mean	28.0556	
Median	26.0000	
Variance	56.200	
Std. Deviation	7.49667	
Minimum	21.00	
Maximum	38.00	
Range	17.00	
Interquartile Range	14.50	
Skewness	.508	.913
Kurtosis	-2.244	2.000

Elaborado por: El autor

Adicionalmente y como complemento del análisis se presentan las gráficas de ajuste por máquina para observar visualmente el ajuste en relación a la normalidad de los datos:

Figura 10. Gráficas de ajuste de normalidad de tiempos entre falla por máquina





Elaborado por: El autor

En las gráficas se puede observar cómo si bien el ajuste no es exacto, existe una tendencia a ajustarse de forma simétrica a los valores medios. Para establecer la bondad de ajuste de forma estadística se realizan las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y la de Shapiro-Wilk como sigue:

Tabla 12. Test de normalidad

		Tests of Normality					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Maquina	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Tiempo entre fallas	P 02	.152	5	.200 [*]	.985	5	.960
	P 03	.355	4	.	.807	4	.116
	P 04	.226	3	.	.983	3	.752
	P 06	.225	5	.200 [*]	.885	5	.333
	P 08	.284	5	.200 [*]	.905	5	.439
	P 09	.159	5	.200 [*]	.990	5	.980
	P 11	.186	5	.200 [*]	.943	5	.687
	P 22	.190	5	.200 [*]	.937	5	.644
	P05	.375	3	.	.775	3	.056
	P1	.215	5	.200 [*]	.896	5	.390

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Elaborado por: El autor

De acuerdo a los resultados y en función del tipo de prueba, dado que la cantidad de datos es menor a 50 en cada uno de los casos (máquinas) se utiliza la prueba de bondad de ajuste de Shapiro- Wilk y se puede observar que con un nivel de significancia de 0,05 que todas las máquinas tienen un valor mayor a este valor, por tanto no existe evidencia para determinar que los datos no sigan una distribución normal y por tanto se acepta la hipótesis nula de que los datos siguen una distribución normal.

Este resultado permite determinar que los datos tienen una distribución normal y por tanto los cálculos siguientes se consideran haciendo uso de las fórmulas de normalidad.

Por tanto en base a la normalidad de la distribución para todas las máquinas, se realiza un análisis para determinar cuál es el tiempo mínimo en el que las máquinas fallan, considerando el tiempo entre fallos.

A continuación se realiza un análisis de la media y desviación estándar por cada máquina para determinar los tiempos mínimos y máximos de falla:

Tabla 13. Media y desviación estándar de tiempos de falla

Máquina	Media	Desviación estándar
P 01	28.20	7.50
P 02	34.00	5.87
P 03	33.75	10.37
P 04	50.33	15.63
P 05	41.33	17.04
P 06	35.40	8.44
P 22	28.40	9.42
P 08	32.60	10.06
P 09	32.40	2.70
P 11	33.80	3.70
Media	35.02	9.07

Elaborado por: El autor

Para determinar los tiempos mínimos y máximos de falla con un 90% de probabilidad. De acuerdo a la distribución normal de fallos obtenida, para tener una probabilidad de 90% el valor $Z = 1.645$ para una prueba a 2 colas. Los límites inferior y superior se calculan como sigue:

$$LI = \text{Media} - Z (\text{Desviación estándar}) = 35,02 - 1.645 (9.07)$$

$$LS = \text{Media} + Z (\text{Desviación estándar}) = 35,02 + 1.645 (9.07)$$

Tabla 14. Límites inferior y superior de los tiempos de falla

Media de medias	Desviación estándar media	LS	LI
35.02	9.07	49.9	20.1

Elaborado por: El autor

El tiempo mínimo de mantenimiento preventivo para evitar el 90% de las fallas existentes actualmente será de 20 días, sin embargo dado que cada máquina tiene un desgaste diferente principalmente causado por sus años de funcionamiento, se obtendrá el límite inferior de daños medios para un 90% de probabilidad.

Tabla 15. Límite inferior y media de tiempos de falla por máquina

Máquina	Media	Desviación estándar	LI
P 01	28.20	7.50	15.87
P 02	34.00	5.87	24.34
P 03	33.75	10.37	16.69
P 04	50.33	15.63	24.62
P 05	41.33	17.04	13.30
P 06	35.40	8.44	21.51
P 22	28.40	9.42	12.90
P 08	32.60	10.06	16.04
P 09	32.40	2.70	27.96
P 11	33.80	3.70	27.71
Media	35.02	9.07	

Elaborado por: El autor

Se puede observar que las máquinas P3, P5, P22 y P08 tienen un tiempo de fallo inferior a la media de las demás, lo cual coincide con su tiempo actual de vida y desgaste propio, por lo que estas máquinas tendrán un régimen diferente de mantenimiento a las demás.

4.6 Cálculo del tiempo de reparación

El primer paso es calcular el tiempo de reparación misma que corresponde al tiempo que tomó la reparación, considerando para este análisis solamente los tiempos en los que ya se produce una falla. Para ello previamente se ha dispuesto del tiempo de paralización de máquina, sin embargo esta información es limitada, puesto que la paralización corresponde a un tiempo de inactividad debido al tiempo de paralización para iniciar la reparación y la reparación misma, por tanto:

Tiempo de paralización de máquina = Tiempo de preparación previa + tiempo de reparación

Estos tiempos se debe analizar, puesto que el tiempo de preparación previa a la reparación corresponde al tiempo que incluye:

- Indicación de máquina detenida



- Organización de equipo o especialista para detección del problema

Tipo de falla	Cantidad de fallas	1	2	3
Rodamientos de los rodillos	11	3.1	71 2.6	2.1
Banda del motor principal	9	4.1	4.10	3.30
Caja reductora del motor	7	4.7	4.2	4.1
Piñones de nylon del rodillo	6	2.7	3.2	2.6



- Requerimiento de piezas o llamada a especialista



- Preparación para reparación

Tipo de falla	Cantidad de fallas	1	2	3
Rodamientos de los rodillos	11	3.1	2.6	2.1
Banda del motor principal	Cantidad de 9	4.1	4.10	3.30
Caja reductora del motor	Tipo de falla 7	4.7	4.7	4.7
Rodamientos de los rodillos	11	3.1	2.6	2.1
Banda del motor principal	9	4.1	4.10	3.30
Perros de la mesa	3	1.1	4.1	4.1
Cuchillas de sello lateral	3	1.1	4.1	4.1
Piñones de nylon del rodillo	6	2.7	3.2	2.6
Cilindros de aire del pisador	2	3.7	2.9	4.1
Bomba del sistema	1	3.7	2.9	4.1
Horquilla del brazo del cabezal	1	2.1	1	1.6
Cilindros de aire del pisador	4.5	2	3.2	
Bomba del sistema	1	3.7		
Horquilla del brazo del cabezal	1	2.1		
	45			

Cada uno de estos tiempos es diferente de acuerdo al tipo de daño, pero finalmente el dato que se requiere para una estimación real del tiempo de reparación que para el presente caso será:

Tabla 16. *Tiempo de reparación de máquina*

Tipo de falla	Cantidad de fallas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Total (h)
Rodamientos de los rodillos	11	3.1	2.6	2.1	2	3.3	4.3	2.8	4.6	1.2	2.9	0.9	29.8
Banda del motor principal	9	4.1	4.10	3.30	4.70	4.60	3.60	3.90	3.80	5.30			37.4
Caja reductora del motor	7	4.7	4.2	4.1	5.2	4.9	4.6	3.2					30.9
Piñones de nylon del rodillo	6	2.7	3.2	2.6	1.9	2.1	3.6						16.1
Pernos de la mesa	5	3.3	2.9	4.1	4.5	1.9							16.7
Cuchillas de sello lateral	3	2.1	3	1.6									6.7
Cilindros de aire del pisador	2	2.5	3.2										5.7
Bomba del sistema	1	3.7											3.7
Horquilla del brazo del cabezal	1	4.3											4.3
	45												151.3

Elaborado por: El autor

Por tanto las horas finales de reparación fueron 151,3 horas. Este tiempo permitirá determinar y compararse con el tiempo utilizado en el mantenimiento preventivo que se desarrolla posteriormente.

Es importante también establecer el tiempo medio de reparación una vez que se dispone de los técnicos, especialistas y/o piezas correspondientes, el tiempo de reparación de la máquina promedio que corresponde a:

Tabla 17. *Tiempo total de fallas por tipo de falla*

Tipo de falla	Total (h)	Media
Rodamientos de los rodillos	29.8	2.71
Banda del motor principal	37.4	4.16
Caja reductora del motor	30.9	4.41
Piñones de nylon del rodillo	16.1	2.68
Pernos de la mesa	16.7	3.34
Cuchillas de sello lateral	6.7	2.23
Cilindros de aire del pisador	5.7	2.85
Bomba del sistema	3.7	3.70
Horquilla del brazo del cabezal	4.3	4.30

Elaborado por: El autor

Se puede observar que los tiempos de motor son mayores, mas no de los piñones o pernos, cuchillas.

4.7 Costo actual de mantenimiento correctivo

El siguiente paso del cálculo es calcular el costo de mantenimiento; cada costo es muy considerado por la empresa en cada decisión, por lo cual, el costo preventivo y el costo correctivo deben calcularse para determinar el costo de mantenimiento. Calcular estos dos costos es útil para conocer el costo más bajo para la empresa; en algunos casos, la acción de mantenimiento correctivo es mucho más costosa, entonces, en la medida de lo posible, se debe evitar implementar actividades de mantenimiento preventivo en áreas o partes del proceso donde no se hayan establecido falencias o incidencia para el funcionamiento o productividad.

También es necesario considerar que, a largo plazo para máquinas costosas e incluidas en la unidad crítica del proceso productivo, el mantenimiento preventivo será más rentable que el mantenimiento correctivo. El mayor tiempo de inactividad en el costo correctivo afectará la alta producción perdida que el mantenimiento preventivo; en

algunas condiciones, el tiempo de inactividad en el mantenimiento preventivo es más constante porque está programado para realizar un mantenimiento preventivo que minimizará la pérdida de productividad.

El resultado del cálculo del costo de mantenimiento se utilizará para calcular el intervalo de tiempo de mantenimiento que es necesario para la consecución de los objetivos de investigación, considerando los elementos de falencias en el proceso productivo dentro del área de sellado en la empresa, la cual se presenta en la siguiente explicación. Existen varios datos de información necesaria para establecer los parámetros de cálculo del costo de mantenimiento que deben conocerse:

- a. Precio del producto = US\$ 3,500 total
- b. Capacidad/hora = 360 piezas/hora
- c. Hora de trabajo del técnico = 8 horas/día dentro de los 6 días/semana (lunes – sábado).
- d. Tiempo total de trabajo = 25 días
- e. Costo técnico, salarial = US\$32,500

El precio de los componentes se muestra en la siguiente tabla:

La empresa debe gastar el costo de la falla impredecible de la máquina. La fórmula para calcular el costo del mantenimiento correctivo se expresa en la siguiente ecuación. A continuación:

$$\text{Costo actual} = \text{Precio de repuestos} + \text{Costo de técnicos externos} + \text{Pérdida de producción}$$

Por tanto en base a los resultados de la empresa en el período julio – Diciembre 2022 se tienen los siguientes costos:

Tabla 18. *Costos de repuestos y personal externo*

Falla	Repuestos	Personal externo	Total
Rotura de los rodamientos y desgaste del eje del rodillo	\$1430	\$450	\$1880
Rotura de las chumaceras	\$1250		\$1250

Rotura de la banda que mueve el sistema del cabezal de corte	\$4700	\$1800	\$6500
Daño en los engranajes del piñón de bronce y desgaste del eje sinfín	\$1650		\$1650
Daño en los engranajes del piñón y desgaste progresivo del caucho.	\$400	\$450	\$850
Rotura de los pernos de agarre de la mesa	\$240		\$240
Rotura de las agujas	\$470		\$470
			\$12840

Elaborado por: El autor

Además se puede estimar la pérdida de producción en base a los siguientes cálculos:

Tabla 19. Cálculos de pérdida de producción por fallas

Ventas (semestral)	\$ 2,004,086.96
Horas-máquina de producción total al mes	4160
Horas máquina producción semestral	24960
Horas no producidas	394.5
Horas producidas reales (semestre)	24565.5
Ingresos-pérdida por hora de producción	\$ 81.58
Producción total en kg. (semestre)	1301528.70
Kg por hora producidos	52.98
Pérdidas en kg por no producción	20,901.4
Ingresos por kg.	1.44
Pérdidas en (USD)	\$30.201.28

Elaborado por: El autor

Las horas de producción están estimadas en base a la capacidad de producción total actual de la empresa que corresponde a 2 turnos diarios de 8 horas de 6:30 a 22:30 pm. x 26 días de trabajo al mes y por un total de 10 máquinas.

Las horas no producidas vienen de la tabla del tiempo total de máquina detenida

Las pérdidas por hora se obtienen de:

$$\text{Pérdida por hora} = \text{Ventas totales} / \text{horas producidas reales}$$

La producción de la empresa en el período se ha obtenido de los registros internos.

$$\text{Los kg. Producidos se obtienen de: Producción total} / \text{Horas producidas reales}$$

Las pérdidas en kg, media por no producción se obtiene de:

$$\text{Pérdidas en kg.} = \text{Horas no producidas} \times \text{producción en kg por hora (media)}$$

Adicionalmente los ingresos por kg (medio) se obtienen de:

$$\text{Ingresos por kg.} = \text{Ventas} / \text{kg producidos}$$

Y por tanto el costo de no producción será:

$$\text{Costo de no producción} = \text{Ingresos por kg.} \times \text{Pérdidas en kg por no producción}$$

Por tanto se puede estimar las pérdidas totales por fallas de máquina de la siguiente manera:

Tabla 20. *Costo total por mantenimiento correctivo*

Costo	Valor
Costo de reparación y personal extra	12840
Costos de no producción	32029
TOTAL	44869

Elaborado por: El autor

Y por tanto el estimado de la empresa de los costos directos por pérdidas de producción es de \$44.869 mensual

Existen otros costos asociados que son intangibles como:

- Costo de desabastecimiento de inventarios y en ciertos casos no abastecimiento a clientes
- Costos de deterioro de máquina (disminución de vida útil)

4.8 Plan de Mantenimiento Preventivo

Para establecer el plan de mantenimiento preventivo es necesario identificar el tiempo de mantenimiento por máquina de acuerdo a la necesidad encontrada como sigue:

Tabla 21. *Plan de mantenimiento preventivo por máquina*

Máquina	Tiempo mínimo	Mantenimiento cada (días)
P 01	15.87	2 semanas

P 02	24.34	3 semanas
P 03	16.69	2 semanas
P 04	24.62	3 semanas
P 05	13.30	2 semanas
P 06	21.51	3 semanas
P 22	12.90	2 semanas
P 08	16.04	2 semanas
P 09	27.96	3 semanas
P 11	27.71	3 semanas

Elaborado por: El autor

Tabla 22. Cronograma de mantenimiento

	SEMANA 1						SEMANA 2						SEMANA 3						SEMANA 4						SEMANA 5						SEMANA 6											
	L u	M a	M i	J u	V i	S a	L u	M a	M i	J u	V i	S a	L u	M a	M i	J u	V i	S a	L u	M a	M i	J u	V i	S a	L u	M a	M i	J u	V i	S a	L u	M a	M i	J u	V i	S a						
P 01	x												x																		x											
P 02		x																		x																						
P 03			x												x												x															
P 04				x																		x																				
P 05					x												x																		x							
P 06						x																		x																		
P 22							x												x													x										
P 08								x													x												x									
P 09									x																		x															
P 11										x																								x								

Elaborado por: El autor

Para el establecimiento del cronograma se ha buscado que no exista más de una máquina que se encuentre parada lo cual permite mantener la producción diaria y se ha considerado las máquinas que tienen mayor daño con un mantenimiento cada 2 semanas. En algunos casos se ha cambiado a un día antes para que no existan dos máquinas en reparación.

El tiempo total de mantenimiento preventivo es como sigue:

Reparaciones cada 2 semanas (máquinas P01, P03, P05, P22, P08):

- 3 h. de reparación x 12 reparaciones en el semestre programadas (cada 2 semanas) x 5 máquinas = 180

Reparaciones cada 3 semanas (máquinas P02, P04, P06, P09, P11):

- 3 h. de reparación x 8 reparaciones en el semestre (cada 3 semanas) x 5 máquinas = 120 h.
- 1h de reparación semestral todas las máquinas = 8 horas de reparación x 10 máquinas = 80 h.

Total = 380 horas

Sin embargo de acuerdo a los costos de la empresa es conveniente realizar las reparaciones en horarios no productivos, de esa manera es posible evitar los costos de producción para lo cual el tiempo en el que se realizará la reparación prevista serán 3 horas antes del inicio de la producción, lo cual implica un tiempo de horas extras de trabajador, lo cual se evaluará posteriormente en relación a costos.

4.8.1 Requerimientos de mantenimiento

Para establecer el plan de mantenimiento es necesario primeramente determinar cuáles son los ajustes o mantenimiento preventivo que se debería considerar en cada tipo de problema detectado de los más importantes, por lo cual se analizan los diferentes fallos y requerimientos:

4.8.1.1 Rodamientos de los rodillos safonadores

En el caso de los rodamientos de los rodillos safonadores, para evitar daños se debe incluir:

- Revisión periódica de los rodamientos y el eje del rodillo para detectar cualquier desgaste o rotura,
- lubricación regular y el ajuste adecuado de los rodillos para evitar el cabeceo y la rotura de los rodamientos.
- Revisión de la temperatura: La temperatura es un factor crítico en el proceso de sellado. Es importante revisar regularmente la temperatura de los elementos de la máquina que están en contacto con el material plástico, como los rodillos safonadores y las barras de sellado, para asegurarse de que están en la temperatura adecuada y evitar fallas como quemado o deformación del material.

- **Inspección visual de los elementos de la máquina:** Realizar inspecciones visuales regulares de los elementos de la máquina, como las correas, las cadenas, los engranajes y las poleas, para detectar cualquier signo de desgaste o rotura.
- **Verificación de la tensión:** La tensión adecuada de las correas y las cadenas es esencial para el correcto funcionamiento de la máquina. Es importante verificar regularmente la tensión de las correas y las cadenas para evitar problemas como el deslizamiento o la rotura.
- **Verificación de la alineación:** La alineación adecuada de los elementos de la máquina, como los rodillos safonadores, las barras de sellado y las guías, es esencial para evitar problemas como la deformación o el desgaste prematuro de las piezas.
- **Verificación de la limpieza:** Mantener la máquina limpia es esencial para su buen funcionamiento y para evitar problemas como la acumulación de polvo y/o residuos en los diferentes elementos de la máquina.

4.8.1.2 Banda de motor principal

Para el problema de la banda del motor principal producida por rodamientos en mal estado y el desgaste del eje de transmisión con efectos potenciales en la rotura de la banda que mueve el sistema del cabezal de corte, se recomienda considerar los siguientes aspectos en la revisión y mantenimiento de las máquinas:

Inspección y reemplazo de los rodamientos: Revisa regularmente los rodamientos de la máquina, especialmente los que están en contacto con la banda y el eje de transmisión. Si se detecta que están desgastados o en mal estado, reemplázalos inmediatamente. El uso de rodamientos de alta calidad y el mantenimiento adecuado pueden ayudar a prolongar la vida útil y evitar problemas de rotura o desgaste prematuro.

Revisión y ajuste de la tensión de la banda: La tensión adecuada de la banda es importante para evitar el deslizamiento y la rotura de la misma. Revisa regularmente la tensión de la banda y ajústala según sea necesario. También debes asegurarte de que la banda esté alineada correctamente y que no haya elementos como rodillos o poleas que estén causando fricción o desgaste excesivo.

Lubricación adecuada del eje de transmisión: El eje de transmisión debe ser lubricado regularmente para evitar el desgaste en la zona de los rodamientos. Asegúrate de utilizar el lubricante adecuado y de aplicarlo en la cantidad y frecuencia recomendadas.

Revisión y mantenimiento de los sistemas de corte: El sistema de corte puede verse afectado por el desgaste del eje de transmisión y la rotura de la banda. Revisa regularmente los sistemas de corte y realiza el mantenimiento adecuado para evitar problemas como el desgaste o la rotura de las cuchillas.

Inspección y limpieza regular de la máquina: Mantener la máquina limpia y libre de polvo y residuos es importante para su buen funcionamiento y para evitar problemas de desgaste y rotura en los elementos de la máquina.

4.8.1.3 Caja reductora

Para el problema de la caja reductora del motor principal con canal y cuña desgastada, se pueden considerar las siguientes recomendaciones de mantenimiento:

Revisión periódica de los rodamientos y retenedores de la caja reductora para detectar cualquier desgaste o rotura y reemplazarlos de manera oportuna.

Verificación regular del nivel de aceite de la caja reductora y reemplazo del aceite según las recomendaciones del fabricante.

Inspección visual de la canal y cuña para detectar cualquier signo de desgaste o deformación y reemplazarlas si es necesario.

Lubricación adecuada de los engranajes del piñón de bronce y el eje sinfín para prevenir el desgaste y daño.

Verificación regular del juego de los engranajes y ajuste adecuado si es necesario.

Además, se pueden considerar medidas para prevenir la pérdida de aceite en la caja reductora, como el reemplazo periódico de los sellos o retenedores y la verificación regular de la estanqueidad de la caja reductora. También es importante realizar una limpieza regular de la caja reductora para prevenir la acumulación de suciedad y partículas que puedan causar daños o desgaste prematuro.

4.8.1.4 Piñones de nylon del rodillo

Para el problema de los piñones de nylon del rodillo de arrastre, se pueden considerar las siguientes recomendaciones de mantenimiento:

Revisión periódica de los rodillos de arrastre y sus rodamientos internos para detectar cualquier desgaste o rotura y reemplazarlos de manera oportuna.

Verificación regular del ajuste de los rodillos superiores e inferiores para asegurarse de que no estén demasiado apretados, lo que puede provocar desgaste y daño en los piñones.

Inspección visual de los piñones de nylon para detectar cualquier signo de desgaste o deformación y reemplazarlos si es necesario.

Lubricación adecuada de los engranajes del piñón de nylon para prevenir el desgaste y daño.

Verificación regular del juego de los engranajes y ajuste adecuado si es necesario.

Verificación regular del desgaste progresivo del caucho del rodillo de arrastre, que también puede afectar la vida útil y el rendimiento de los piñones de nylon.

Además, es importante realizar una limpieza regular de los rodillos de arrastre para prevenir la acumulación de suciedad y partículas que puedan causar daños o desgaste prematuro. También es recomendable seguir las recomendaciones del fabricante en cuanto a la frecuencia de mantenimiento y reemplazo de los componentes de la máquina.

4.8.1.5 Pernos de la mesa del cabezal

Para prevenir fallas en los pernos de la mesa del cabezal de la máquina selladora y evitar problemas relacionados con el desgaste de los bocines de los ejes guías y pines de las guías, es importante realizar:

Inspección visual: inspecciones visuales periódicas para detectar desgaste en los bocines y pines de las guías. Si se detecta algún desgaste, es importante realizar el reemplazo correspondiente de manera inmediata para evitar mayores daños.

Lubricación: Asegurarse de que los ejes guías y los pines estén debidamente lubricados. La falta de lubricación puede generar un mayor desgaste en las piezas y provocar roturas en los pernos de agarre de la mesa y las agujas.

Reemplazo de piezas: Realizar el reemplazo de las piezas desgastadas o dañadas de forma oportuna. Si se detecta que los bocines y pines presentan un desgaste excesivo, es recomendable que se realice el reemplazo antes de que se generen daños mayores.

Ajustes: Asegurarse de que la mesa y los ejes guías estén correctamente ajustados para evitar esfuerzos excesivos en los pernos de agarre de la mesa y las agujas.

Capacitación: Asegurarse de que el personal encargado de operar la máquina esté debidamente capacitado en el mantenimiento preventivo y correctivo de la misma. Esto puede ayudar a detectar problemas en forma temprana y evitar daños mayores.

Siguiendo estas recomendaciones se podrán prevenir fallas en los pernos de la mesa del cabezal y otros problemas relacionados con el desgaste de los bocines y pines de las guías en la máquina selladora.

Considerando estos aspectos en el mantenimiento, a continuación se presentan las fases completas del mantenimiento.

4.9 Fases de mantenimiento

Se han considerado 3 fases de mantenimiento con el fin de garantizar un proceso continuo de las máquinas. El mismo corresponde a:

- Control diario, con máquinas encendidas
- Control mínimo cada 2 o 3 semanas
- Mantenimiento completo (semestral)

A continuación se presentan las fases de mantenimiento

4.9.1 Diario (con máquinas encendidas)

Tabla 23. *Mantenimiento diario con responsable*

Tipo de mantenimiento	Responsable
Revisar voltaje de entrada y salida de los motores de las máquinas y	Técnico eléctrico

bomba de agua	
Revisar potencia de los motores	Técnico eléctrico
Revisar que todas las máquinas tengan sus cobertores colocados para evitar accidentes posteriores	Técnico eléctrico
Inspeccionar el alambrado eléctrico de las máquinas	Supervisor
Verificar mangueras en mal estado	Supervisor
Revisar niveles de aceite	Supervisor
Revisar las mangueras de agua	Supervisor
Revisar que el cabezal sellador no este sobrecalentado	Supervisor
Revisar la calidad de la producción	Supervisor
Ruidos en la caja reductora	Supervisor
Ruidos en los contactores	Supervisor

Elaborado por: El autor

Por tanto, las labores de control diario serán:

Técnico eléctrico:

- Revisar voltaje de entrada y salida de los motores de las máquinas y
- bomba de agua
- Revisar potencia de los motores
- Revisar que todas las máquinas tengan sus cobertores colocados para evitar accidentes posteriores
- inspeccionar el alambrado eléctrico de las máquinas

Supervisor de mantenimiento

- verificar mangueras en mal estado
- niveles de aceite
- revisar las mangueras de agua
- revisar que el cabezal sellador no este sobrecalentado
- revisar la calidad de la producción
- ruidos en la caja reductora
- ruidos en los contactores

Además, con la capacitación que se prevé realizar, los operadores estarán capacitados para detectar: fugas, sonidos, comportamiento fuera de lo normal, sobrecalentamiento, en cuyo caso informarán con carácter de urgencia al técnico para su revisión y evaluación

4.9.2 Mantenimiento periódico (cada 2 o 3 semanas)

Tabla 24. *Mantenimiento periódico*

Componente	Parte	Mantenimiento
Caja de velocidades	Poleas	Revisión de ajuste
	Fajas	Revisar tensión
Motor principal	Polea	Revisión de ajuste
Eje primario	Leva de corte	Revisar holgura
	Leva de sello	Revisar holgura
	Leva de retroceso	Revisar holgura
Clutch	Pastilla de fricción	Desgaste
	Resorte presionador	Revisión de ajuste
Rodillos delanteros	Cuadritos	Revisión y limpieza
	Pines	Revisión y limpieza
	Hules de silicón	Revisión
	Cabezal	Revisión y limpieza

	Resortes	Revisión y ajuste
	Guía de cuchilla	Revisión y ajuste
Sistema de la bandera	Rodillo posterior	Revisión y ajuste
	Cuadritos	Revisión y limpieza
	Polea	Revisión y ajuste
	Fajas	Revisar tensión
Sistema eléctrico	Contactores	Revisión de ruidos y ajuste de los tornillos
	Estática	Revisión y limpieza
	Transformador	Revisión y limpieza de contactos
	Diodo	Revisión y limpieza
	Relay	Limpieza y ajuste de los tornillos
	Microswitch	Revisión y limpieza
	Portafusibles	Revisión y limpieza
	Fusibles	Revisión
	Cepillo antiestática	Revisión y ajuste
	Termocupla	Revisión de estado
	Pirómetro	Revisión y limpieza
Contador	Baterías	Revisión y limpieza
	Contadores	Revisión y limpieza

Elaborado por: El autor

4.9.3 Mantenimiento completo (semestral)

El mantenimiento semestral se lo realizará con paro total de máquina y usualmente este implicarán 10 a 12 horas de máquina detenida, cambio de piezas, regulación y control de cada parte de los componentes, considerando además los puntos de revisión central como son: Rodamientos de los rodillos safonadores; Banda de motor principal; Caja reductora; Piñones de nylon del rodillo y Pernos de la mesa del cabezal. Además para este mantenimiento se considera una revisión a profundidad de:

- Eje secundario
- Ajustador de medida
- Rodillos delanteros
- Sistema de corte y sello

Se realizará en este mantenimiento el cambio de las siguientes piezas:

- Rodamientos
- Eje de rodillo (anual)
- Banda
- Engranajes de piñón
- Cauchos
- Pernos de agarre
- Agujas

4.10 Procedimiento para la implementación del programa de mantenimiento

El programa de mantenimiento tendrá el siguiente procedimiento:



Retroalimentación



Capacitación

Esto implica que el proceso se inicia con una intensiva capacitación para los actuales técnicos para que puedan reconocer fallas, hacer mantenimiento preventivo y tengan la capacidad de realizar la mayor parte de las reparaciones de la máquina, con apoyo de otros profesionales de la empresa como el técnico eléctrico. Con esta capacitación se realiza el mantenimiento en base a la propuesta realizada. De acuerdo a este plan se inicia diariamente con revisiones mínimas o diarias, siendo un control que se realiza para evitar que se causen problemas mayores, en base a este control y las fallas encontradas y experiencias se van realizando informes que permitirán hacer más rápidas posteriores identificaciones de problemas y permitirán seguir los problemas. Con estos informes se realizará la retroalimentación a los técnicos, así como a los propios operarios para que puedan detectar fallas antes de que se produzcan y revisen los parámetros de control. Estas reuniones tomarán una hora a la semana.

De igual manera se realizará el mantenimiento completo, el cual se requerirá a personal especializado externo, pero con la supervisión de los técnicos y especialista quien a su vez de facilitar la información de las revisiones periódicas y apoye al mantenimiento podrá incrementar su conocimiento y práctica para las revisiones a profundidad y con ello las retroalimentaciones semanales también podrán fortalecer más al personal técnico y de mantenimiento, con lo cual se realizarán nuevas capacitaciones para mantener al personal con los más actuales conocimientos de forma permanente, en cuyo caso a futuro se podrá generar aún más ahorros para la empresa y evitar tiempos de paro de producción.

4.11 Costos de mantenimiento preventivo

El costo de mantenimiento preventivo deberá considerar varias inversiones, así como gastos permanentes que son:

Inversiones

- Inventario de repuestos de equipos

- Capacitación al personal
- Implementación del sistema
- Equipo de reparación interna

4.11.1 Gastos permanentes

Se ha considerado para hacer más efectivo el proceso de mantenimiento preventivo contratar una persona más que se encargará de realizar el control permanente, así como podrá realizar las reparaciones inmediatas que se presenten y sea la persona encargada de verificar los inventarios de repuestos, presentar los informes de daños y organizar la información con el fin de minimizar los paros de máquina, por tanto se requerirá.

Un especialista en reparación de máquinas selladoras

- Adquisición permanente de repuestos para reemplazo y reparación de las máquinas
- Mantenimiento semestral de cada máquina.
- Aún existirán costos de paro de las máquinas, sin embargo se estima que estas disminuirán a un 10% de la situación actual.

A continuación se detallan los costos de cada parte y posteriormente se realiza el análisis de viabilidad de la implementación planteada.

4.11.2 Inventario de repuestos

Para el mantenimiento preventivo se requerirá disponer de los repuestos necesarios en stock permanente con el fin de que las reparaciones o cambios se puedan realizar de forma inmediata una vez producida la falla. Para ello se ha calculado los requerimientos de piezas que se han requerido en las reparaciones previas, especialmente de los que mayores daños se producen y se ha incrementado en un 40% la necesidad de inventario considerando que se podrá requerir mayor cantidad de pieza en caso de prever su reemplazo, por tanto a continuación se presentan los requerimientos de piezas para adquisición.

Tabla 25. *Inventario inicial y trimestral requerido*

Ítems	Inventario trimestral requerido	Adquisición	Inversión inventario Inicial
-------	---------------------------------------	-------------	------------------------------------

Rodamientos	18	Trimestral	36
Eje de rodillo	3	Trimestral	6
Chumaceras	15	Trimestral	30
Banda del sistema de cabezal	2	Trimestral	4
Engranajes de piñón de bronce	4	Trimestral	8
Eje sin fin	2	Trimestral	4
Cauchos	20	Trimestral	40
Pernos de agarre de la mesa	15	Trimestral	30
Agujas	8	Trimestral	16
Cuchillas	15	Trimestral	30
Otros repuestos	50	Trimestral	100
	152		304

Elaborado por: El autor

Se puede observar que se han considerado primeramente los repuestos para lo que se estimó como el 80% de los problemas principales, sin embargo también se han considerado un grupo de repuestos adicionales que darán soporte adicional a otros tipos de daños.

El costo de mantenimiento preventivo tendrá un costo por mantenimiento unitario (por máquina) de \$650, mismo que será fijo y será entregado por el proveedor actual de mantenimiento. Al existir 10 máquinas y en función del calendario planteado, el valor semestral será de \$6.500.

Adicionalmente se considera en base al cálculo de probabilidad que aún se presentará un 10% de paros de máquina debido a la aleatoriedad y otros tipos de fallos no previstos, que inclusive pueden presentarse por error humano, sin embargo inclusive estos podrán solucionarse más rápidamente debido a la disposición de repuestos y personal especializado que se contratará con mayor capacitación.

A continuación se presentan los costos de repuestos tanto semestral como el inventario que se adquirirá en un inicio para poder disponer del stock necesario para continuar con el nuevo plan y además el costo estimado trimestral.

Tabla 26. Costo de inventario

Ítems	Inventario trimestral requerido	Inversión inventario Inicial	Valor unitario	Valor total	Inversión
Rodamientos	18	36	35	630	1260
Eje de rodillo	3	6	150	450	900
Chumaceras	15	30	25	375	750
Banda del sistema de cabezal	2	4	48	96	192
Engranajes de piñón de bronce	4	8	165	660	1320
Eje sin fin	2	4	350	700	1400
Cauchos	20	40	12	240	480
Pernos de agarre de la mesa	15	30	6	90	180
Agujas	8	16	12	96	192
Cuchillas	15	30	22	330	660
Otros repuestos	50	100	35	1750	3500
	152	304		5417	10834

Elaborado por: El autor

Los repuestos semestralmente tendrán un costo de \$10.834

Finalmente, los costos mencionados de forma resumida serán:

Tabla 27. Total, gastos semestrales de mantenimiento preventivo

Valor por mantenimiento completo	650
Cantidad de máquinas	10
Costo semestral por mantenimiento completo	6500
Repuestos adquisición semestral	5417
Pérdidas por producción (daños no previstos) 10%	3203
Horas perdidas por mantenimiento completo	80
Valor de pérdida productiva	6124.5

Horas extras por mantenimiento	1546.88
Personal nuevo	4500
Total gastos semestral	\$27291.2

Elaborado por: El autor

Tabla 28. *Detalle de costos de horas extras*

Cantidad de horas extras requeridas	300
Horas por trabajador al mes	640
Costo por hora-trabajador	\$0.859375
Costo de horas extras	\$1718.75
Costo total de horas extras 3 personas para mantenimiento	\$1546.87

Elaborado por: El autor

4.12 Análisis de viabilidad de la propuesta y ahorro en costos

En base a los datos anteriores las inversiones serán:

Tabla 29. *Inversiones requeridas*

Capacitación	6500
Implementación de sistema	2500
Inventario de productos	10834
Equipo de reparación	9500
	29334

Elaborado por: El autor

La comparación entre costos de la empresa previa a la implementación y con la implementación:

Tabla 30. *Comparación de costos previo a la implementación y con implementación*

Costos anteriores anual	44869
Gasto actual anual	27291
Beneficio anual	17578

Elaborado por: El autor

Con este dato es posible obtener el flujo que podrá obtener la empresa en los dos siguientes años. Se ha considerado un tiempo de 2 años debido a que la empresa está dispuesta a invertir en esta implementación si la misma permite rentabilidad de su inversión en un máximo de 3 años, por tanto:

Tabla 31. *Flujos esperados para 3 años*

Inversión inicial	-29334
Año 1	17578
Año 2	17578
Año 3	17578

Elaborado por: El autor

Cálculo de la TIR: 36%

Como se observa, la inversión que la empresa requiere para esta implementación será de \$29.334, con esta inversión se espera generar un nivel mayor de producción, disminución en costos de repuestos y de personal externo, que finalmente genera un flujo positivo o un beneficio final para la empresa de \$17.578 por año y por tanto con estos valores la empresa podrá tener un rendimiento sobre su inversión de 36%, lo cual es un retorno atractivo para las finanzas de la empresa y los accionistas y por tanto se considera técnicamente viable y financieramente rentable, por lo cual se debe implementar.

4.13 Cumplimiento de objetivos y verificación de hipótesis

A continuación se presenta de forma resumida la verificación de las hipótesis planteadas y cumplimiento de los objetivos con sus resultados principales y los apartados donde se ha cumplido.

Tabla 32. Cumplimiento de objetivos

Objetivo / hipótesis	Resultados principales	Apartados donde se analiza
Determinar a través de datos cuantitativos como influye la paralización de una máquina en la	Se ha logrado determinar cómo influye la paralización de una máquina en la producción. Se produjeron 394 horas de tiempo de inactividad de la	4.1 Determinación de datos cuantitativos en la paralización de máquina. Tabla 4. Tiempo de producción paralizada.

producción.	máquina causado por una falla de la máquina, lo que equivale a perder la producción de 20.901 kg. correspondiente a un valor estimado de \$30.201.	
Identificar y analizar los tipos de daños que influyen directamente en los altos tiempos de paralización de maquinaria.	<p>Se ha determinado los tipos de daños que son los que influyen en la paralización de la maquinaria, los cuales se ha identificado también la posible causa y los efectos potenciales a las máquinas. Los tipos de daños son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Banda del motor principal • Caja reductora del motor • Rodamientos de los rodillos • Pernos de la mesa • Piñones de nylon del rodillo • Cilindros de aire del pisador • Cuchillas de sello lateral • Bomba del sistema • Horquilla del brazo del cabezal <p>Este análisis de los daños se ha utilizado para posteriormente el análisis de tiempo y las decisiones cruciales para el establecimiento del mantenimiento preventivo.</p>	<p>Se identifican en los siguientes apartados:</p> <p>4.3 Análisis de causa y efecto</p> <p>4.4 Análisis de las causas de las fallas</p> <p>Se utiliza la información en los demás puntos de la tesis: 4.5; 4,6; 4,7; 4,8 y 4,9</p>
Diseñar el plan de manteamiento preventivo considerando los antecedentes de	El plan de mantenimiento se ha diseñado en base a la identificación de fallas, causas, su análisis, tiempos	<p>4.8 Plan de mantenimiento preventivo</p> <p>4.9 Fases del</p>

<p>reparaciones, recomendaciones del fabricante, análisis de los daños y las necesidades del área de sellado.</p>	<p>de fallos y de reparación. Y se ha establecido el plan de mantenimiento considerando el tiempo adecuado para su revisión de acuerdo a la realidad actual de las máquinas en ciertos casos cada 2, en otros cada 3 semanas. Con su cronograma, el requerimiento de cada tipo de falla.</p> <p>Y fases complementarias de mantenimiento, con controles diarios con máquinas en movimiento, y mantenimiento completo semestral.</p> <p>Además se ha establecido la viabilidad del plan con una rentabilidad adecuada para la empresa.</p>	<p>mantenimiento</p> <p>4.10 Procedimientos para la implementación del plan</p> <p>Y se ha determinado su viabilidad y rentabilidad en los apartados 4.11 y 4.12</p>
---	---	--

Elaborado por: El autor

Tabla 33. Verificación de hipótesis

<p>Hipótesis general</p>	
<p>El diseño de un plan de mantenimiento preventivo permitirá reducir el tiempo de paralización de maquinarias, optimizará</p>	<p>Y se ha determinado su viabilidad y rentabilidad en los apartados 4.11 y 4.12</p> <p>Las horas paralización real serán de 80h. y un 10% adicional de paralizaciones no programadas en relación a las paralizaciones previas es decir 39,4h. Con un total</p>

<p>la producción y aumentará la confiabilidad y la vida útil de las máquinas.</p>	<p>de 119,4h. siendo una cantidad bastante inferior al tiempo de producción previo que correspondía a 394 h.</p> <p>Si bien se ocupa en total 380 horas al semestre para mantenimiento, las mismas se ocupan en horas extras, lo cual tiene un costo mucho menor debido a ser programado en horas no productivas y con daños menores de máquina general y repuestos.</p>
<p>Hipótesis específicas</p>	
<p>Los tiempos de paralización de maquinaria son altos al no existir un plan de mantenimiento preventivo afectando la producción, el rendimiento y la confiabilidad de las máquinas.</p>	<p>Los tiempos se demuestran que son altos, existiendo 394 horas productivas al semestre. Demostrándose además que afecta la producción y por tanto se está perdiendo horas productivas con el costo mencionado: \$44.869 dólares en el semestre.</p>
<p>Con el análisis de datos cuantitativos, las condiciones y factores que intervienen en los tiempos de paralización de maquinaria podemos diseñar el plan de mantenimiento preventivo.</p>	<p>Se ha desarrollado un plan de mantenimiento en base a los tiempos mínimos esperados de paralización entre fallas, datos levantados en la empresa. Los tiempos de reparación que actualmente se establecen y los requerimientos técnicos de reparación.</p>
<p>Con el diseño de un plan de mantenimiento preventivo para las máquinas del área de</p>	<p>Se ha demostrado que se disminuirá el tiempo de paralización, incrementando en más de 270 horas la producción y una operación ininterrumpida y con un mínimo de pérdidas de material.</p>

sellado se podrá reducir los tiempos de paralización de maquinaria, aumentando la producción, el rendimiento y la confiabilidad.	
--	--

Elaborado por: El autor

5 Conclusiones

El presente estudio se ha orientado a la reducción de los tiempos de paralización de la maquinaria en el área de sellado, conociendo el proceso completo de la fabricación de productos plásticos como elementos complementarios en cada etapa. Sobre ello, se ha diseñado un plan de mantenimiento preventivo que permitió detectar y reducir los fallos y con ello garantizar la disposición y confiabilidad de las máquinas. Consecuentemente, basados en el procesamiento y análisis de datos sobre la implementación del mantenimiento preventivo para aumentar la confiabilidad de la máquina en la empresa objeto de estudio, se puede concluir que:

- Se pudo determinar mediante datos cuantitativos que la paralización de las máquinas tiene un efecto importante en la producción de la fábrica, pues debido a las paralizaciones imprevistas, existió a lo largo del mes 348 horas de tiempo-máquina, causado fallas, con pérdidas de producción de 118.966 kg. de producto final, con un valor estimado de \$183.000.
- Se identificó tipos de daños que influyen en los tiempos de paralización de maquinaria, identificándose los tiempos de daños, sus causas y efectos a las máquinas. Se identificaron más de un 80% del tiempo de falla de las máquinas fueron causados por: la Banda del motor principal; la caja reductora del motor; los rodamientos de los rodillos; los pernos de la mesa; los piñones de nylon del rodillo, por lo que en base a este análisis posteriormente se pudo identificar los principales controles que se deben realizar para una disminución de los problemas de la maquinaria y mejorar el enfoque de un mantenimiento preventivo.
- Se realizó un programa de mantenimiento basado en el sustento necesario de tiempos inactivos, tipos de fallas, frecuencia, tipo de distribución de fallas, con lo cual se ha planteado 3 tipos de control que son: Inspección diaria de máquinas; control y ajustes cada 15 días para maquinaria con mayor cantidad de daños y, control cada 3 semanas para maquinaria con menor cantidad de daños y, mantenimiento completo con especialista cada 6 meses. Estableciendo el cronograma, los requerimientos de acuerdo a cada tipo de falla. Y se ha llegado a demostrar la viabilidad del plan con una rentabilidad adecuada para la empresa

con una TIR del 39% para una evaluación a dos años con una inversión requerida de \$37834.

6 Recomendaciones

Se presentan las recomendaciones para aumentar el rendimiento de la empresa y para un mayor aporte al acervo investigativo en la maximización de recursos y tiempo en el desempeño operativo de las organizaciones. Por tanto, a continuación, se presentan las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda implementar el sistema propuesto mediante un sistema de información computarizado para que la información sobre los datos de falla de las máquinas se puedan disponer de forma más organizada, se pueda crear alertas y no existan fallas en relación a tiempos de mantenimiento y que se registren todos los datos con el fin de que sean utilizados para hacer ajustes y tomar nuevas decisiones para optimizar los sistemas.
- Se recomienda que el experto en mantenimiento realice nuevas investigaciones y hacer los cálculos respectivos con información sobre la edad de la máquina, nuevos sistemas de control y estudiar los resultados que se están produciendo para tomar las mejores decisiones y mejorar los costos de la empresa.
- Se recomienda fomentar la implementación de planes de mantenimiento preventivo en las empresas de industria del plástico, como un elemento de prevención y desarrollo en la industria ecuatoriana.

Bibliografía

- Ávalos, D. D. (2018). *Diseño e implementación de un Plan de Mantenimiento Preventivo (TMP) para los equipos de producción de plásticos en la empresa BASA*. Investigación científica, Universidad Nacional del Callao, Escuela Profesional de Ingeniería Industrial, Lima.
- Barajas, L. A., & Ortiz, C. A. (2017). *Propuesta de Operación y Control del Mantenimiento Preventivo teniendo en cuenta la gestión de activos para las máquinas inyectoras de una empresa de producción de envases plásticos*. Investigación científica, Escuela Colombiana de Carreras Industriales, Programa de Posgrados. Especialización en Mantenimiento Industrial, Bogotá.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2021). *Transformación del desarrollo industrial de América Latina. Desempeño operativo de la industria latinoamericana*. CEPAL, Departamento de Estadística. Santiago de Chile: CEPAL.
- Cosgalla, L. F., Aguilar, R. C., & López, D. F. (2018). *Desarrollo de un Programa de Mantenimiento Preventivo en las Máquinas Extrusoras para aumentar la productividad en la empresa Implast*. Investigación científica, Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Industrial, México D.F.
- Cubides, F. Y., & Ávila, J. A. (2018). *Plan de Mantenimiento Integral para las extrusoras de plástico en las pequeñas y medianas empresas de Bogotá*. Investigación científica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Programa de Especialización en Gestión de Proyectos de Ingeniería, Bogotá.
- Díaz-Cazañas, R., & Martínez, E. D. (2016). *Procedimiento para la planeación integrada de Producción - Mantenimiento a nivel industrial*. Investigación científica, Universidad Central Marta Abreu, Centro de Desarrollo Industrial, Santa Clara.
- Echeverri, C. M. (2016). *Metodología de Mantenimiento de moldes de inyección apoyada en herramientas de gestión de ciclo de vida del producto (PLM)*.

Investigación científica, Universidad EAFIT, Programa de Especialización en Mantenimiento Industrial, Bogotá.

Empresa Industrial de Fabricación de Plásticos EIFP. (2022). *Informe operativo de área de sellado*. Informe anual, EIFP, Departamento de Sellado, Guayaquil.

Erráez, C. R. (2019). *Aplicación del TPM en máquina inyectora sm-1500 de una empresa de productos plásticos*. Escuela Politécnica del Litoral, Escuela de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción . Guayaquil: ESPOL.

Fernández, G. M., & Leroux, E. (2021). *Gestión de Mantenimiento en la Industria Plástica*. Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ingeniería Industrial. Quito: USFQ.

García, W. C., & Herrera, P. M. (2017). *Implementación de un Plan de Mantenimiento Preventivo para aumentar la disponibilidad de la planta de inyección de la empresa Industrias Plásticas Reunidas S.A.C*. Investigación científica, Universidad Privada del Norte, Escuela de Maestría en Ingeniería Industrial, Lima.

González, J. A. (2016). *Desarrollo de un Programa de Mantenimiento Preventivo a Maquinaria para procesos de Extrusión - Soplado en botellas plásticas*. Investigación científica, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Industrial, México D.F.

Jiménez, C., & Monroy, B. A. (2021). *Optimización del Plan de Mantenimiento Preventivo para moldes de inyección de preforma en Iberplast S.A.S*. Investigación científica, Fundación Universidad América, Programa de Ingeniería Industrial, Bogotá.

Lozano, J. A., & Pesantez, P. A. (2021). *Diseño de un Plan de Mantenimiento Preventivo Mecánico en las Máquinas Extrusora e Inyectora para la empresa Vulcano Plástico* . Investigación científica, Universidad Politécnica Salesiana, Escuela de Ingeniería Industrial, Cuenca.

Ludeña, L. M., & Reyes, H. O. (2020). *Propuesta de diseño de un Plan de Mantenimiento Preventivo Total (TPM) en una línea de producción de envases*

- plásticos en la empresa Senco S.A.* Investigación científica, Universidad de Guayaquil, Escuela de Ingeniería Industrial, Guayaquil.
- Mackenzie, G. (Agosto de 2022). Áreas para establecer un Plan de Mantenimiento Preventivo en inyección. *Revista de Gestión Industrial* , 17(21), 98.
- Mejía, P. E., Peñate, E. A., & Santamaría, M. (2018). *Diseño de un sistema de mantenimiento preventivo para la mediana empresa de la industria del plástico en El Salvador*. Investigación científica, Universidad de El Salvador, Programa de Maestría en Desarrollo Industrial, San Salvador.
- Muzo, P. S., & Cepeda, J. L. (2021). *Elaboración de un Plan de Mantenimiento Preventivo para las máquinas en el área de pulido en la empresa Fiber de plásticos reforzados*. Investigación científica, Universidad Indoamérica, Escuela de Ingeniería y Tecnologías, Quito.
- Noguera, M. E., & Fernández-Concha, R. (2018). *Procesos de Producción Industrial. Mantenimiento preventivo y correctivo para el área de fabricación*. Investigación científica, Universidad Nacional de Colombia, Programa de Maestría en Producción Industrial, Bogotá.
- Núñez, D. A. (2017). *Mantenimiento preventivo en el área de inyección de plásticos de la empresa Artesco*. Investigación científica, Universidad Nacional de Ingeniería, Centro de Investigación de Ingeniería Industrial, Lima.
- Olmos, S. M. (2016). *Plan de Mantenimiento Preventivo aplicado a la empresa de Industrias Plásticas Norte Ltda.* Investigación científica, Universidad Tecnológica de Bolívar, Escuela de Ingeniería Mecánica, Cartagena.
- Paredes, R. J. (2016). *Estudio de control de calidad de sistema de mantenimiento preventivo de una industria de plástico de la ciudad de Guayaquil*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Escuela de Ingeniería Electrico-Mecánica. Guayaquil: UCSG.
- Pizarro, M. A., & Garrido, A. A. (2020). *Propuesta de Plan de Mantenimiento Preventivo centrado en la confiabilidad a equipo crítico de la empresa Plásticos*

- Tumani SPA*. Investigación científica, Universidad Técnica Federico Santa María, Programa de Maestría en Ingeniería Industrial, Bogotá.
- Pulzara, Y. A. (2021). *Diseño e implementación del Programa de Mantenimiento Preventivo para las máquinas sopladora e inyectora sopladora de la empresa Otorgo Ltda.* . Investigación científica, Universidad Autónoma de Occidente, Programa de Maestría en Ingeniería Industrial, Bogotá.
- Quintana, E. J. (2020). *Propuesta de un Plan de Mantenimiento Preventivo centrado en la confiabilidad (RCM2) para incrementar la disponibilidad de las líneas de extrusión en una empresa productora de materiales plásticos*. Investigación científica, Universidad Tecnológica del Perú, Programa de Maestría en Ingeniería Industrial, Lima.
- Quintana, N., & Molina, R. M. (2017). *Diseño de un Plan de Mantenimiento y Elaboración de propuestas de mejora en el proceso productivo industrial de empresa Induplast*. Investigación científica, Universidad Tecnológica de Pereira, Práctica Operativa de Ingeniería Industrial, Pereira.
- Rodríguez, E. (2018). *Plan de Mantenimiento Preventivo para la planta de extrusión e impresión en Plastinele S.A*. Investigación científica, Universidad Industrial de Santander, Programa de Especialización en Mantenimiento Industrial, Bucaramanga.
- Rosales, J. M. (2016). *Implementación del Procedimiento de Mantenimiento Preventivo de la Empresa Plástico Industrial Centroamericano S.A*. Investigación científica, Universidad de San Carlos de Guatemala, Escuela de Ingeniería Industrial, Guatemala.
- Valdes, J. L., & Martín, E. A. (2019). *Diseño de un Plan de Mantenimiento Preventivo-Predictivo, aplicado a los equipos de la empresa Remaplast*. Investigación científica, Universidad de Cartagena, Escuela de Ingeniería Industrial , Cartagena.
- Velázquez, E. M., & Espinoza, E. M. (2016). *Desarrollo profesional en Mantenimiento Preventivo y Correctivo en Máquinas de Inyección de Plástico y sus sistemas de*

enfriamiento. Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Desarrollo de Ingeniería Industrial. México D.F.: UNAM.

Anexos

Anexo 1. Empresa fabricante de productos plásticos



Fuente: (Empresa Industrial de Fabricación de Plásticos EIFP, 2022)

Anexo 2. Empresa fabricante de productos plásticos



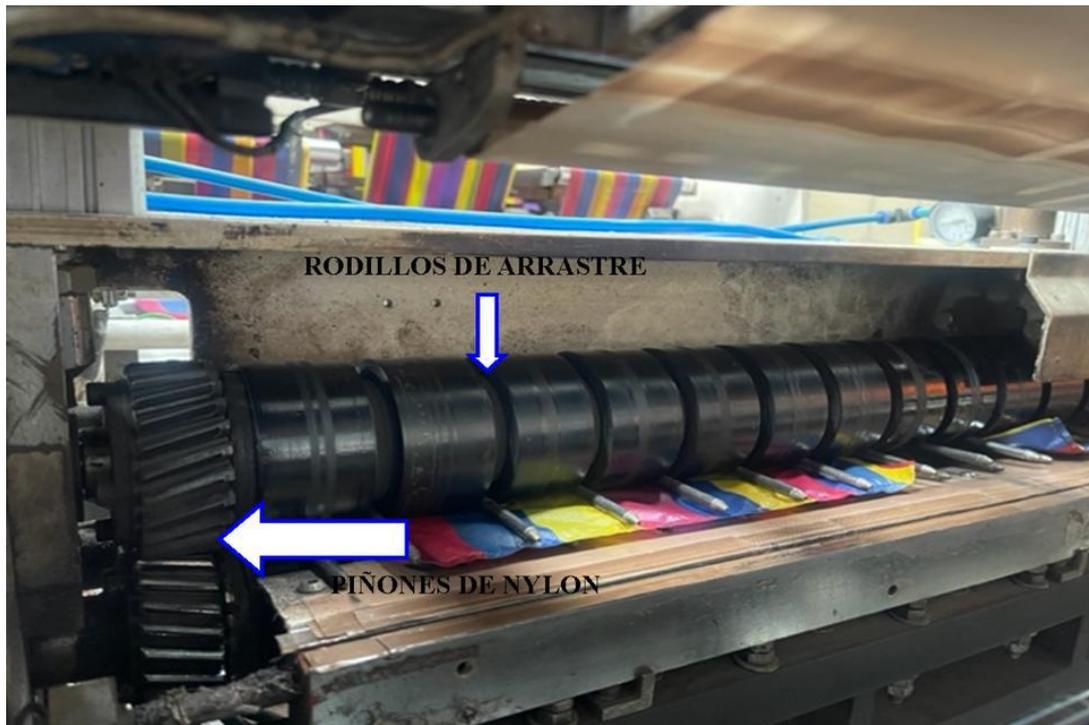
Fuente: (Empresa Industrial de Fabricación de Plásticos EIFP, 2022)

Anexo 3. Área de sellado



Fuente: (Empresa Industrial de Fabricación de Plásticos EIFP, 2022)

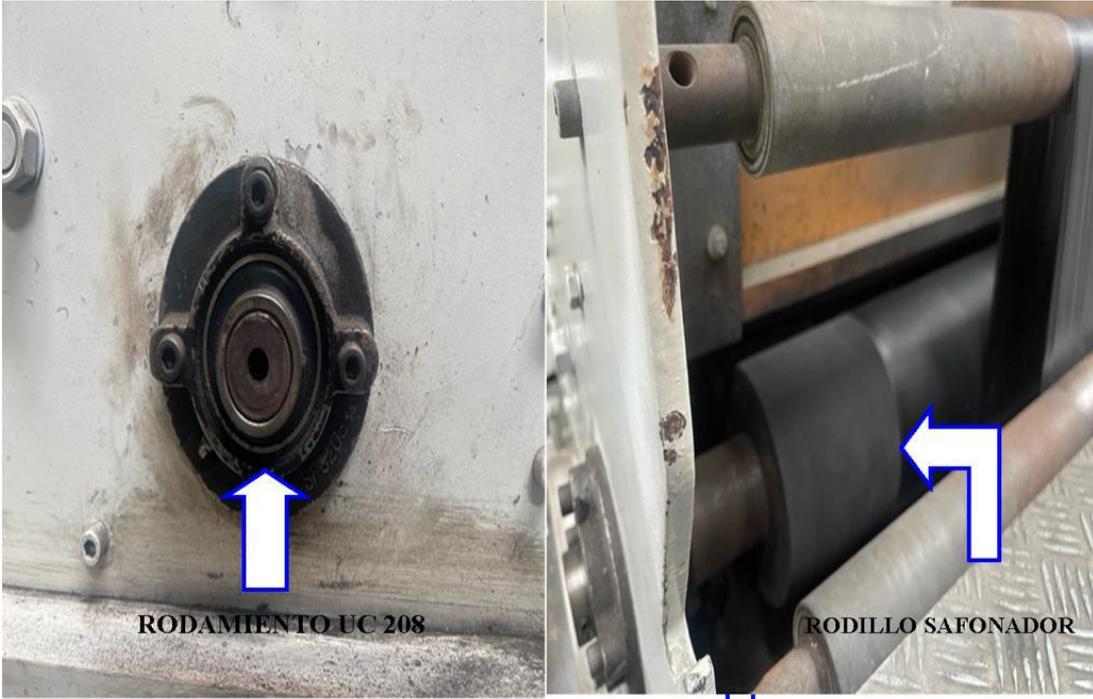
Anexo 4. Componentes que generan las principales fallas en la maquinaria



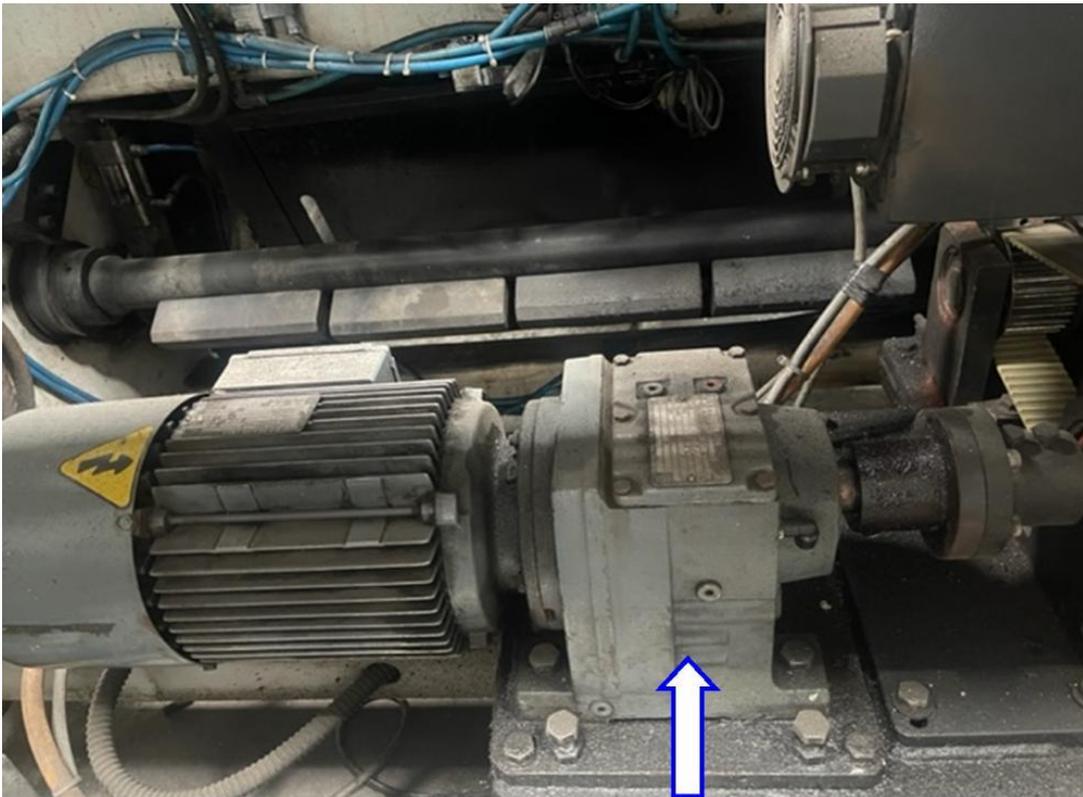
PIÑONES DE NAYLON DE LOS RODILLOS DE ARRASTRE



BANDA DENTADA DEL MOTOR PRINCIPAL



RODAMIENTOS DE LOS RODILLOS SAFONADORES



MOTOR PRINCIPAL / CAJA REDUCTORA



PERNOS DE LA MESA DE LAS AGUJAS

Fuente: (Empresa Industrial de Fabricación de Plásticos EIFP, 2022)

Anexo 5. Matriz de Consistencia

Título: DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EL ÁREA DE SELLADO DE UNA EMPRESA DEDICADA A LA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS PLÁSTICOS.

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	MARCO TEÓRICO
GENERAL	GENERAL:	GENERAL			
¿Es posible la reducción de los tiempos de paralización de maquinaria si se diseña un plan de mantenimiento preventivo para el área de sellado de una empresa de fabricación de productos plásticos?	Reducir los tiempos de paralización de maquinaria mediante el diseño de un plan de mantenimiento preventivo que permita detectar y reducir posibles fallos y paradas no programadas, garantizando la disposición y confiabilidad de la máquina.	El diseño de un plan de mantenimiento preventivo permitirá reducir el tiempo de paralización de maquinarias, optimizará la producción y aumentará la confiabilidad y la vida útil de las máquinas.			
ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICAS			
¿Cómo afectan a la producción los tiempos de paralización de maquinaria en el área de sellado?	Determinar a través de datos cuantitativos como influye la paralización de una máquina en la producción.	Los tiempos de paralización de maquinaria son altos al no existir un plan de mantenimiento preventivo afectando la producción, el rendimiento y la confiabilidad de las máquinas.	V.I: Tiempo de paralización de maquinaria. V.D: rendimiento confiabilidad	. datos históricos de producción . kilos producidos . productividad de las máquinas	Datos históricos de la empresa
¿Cómo se reducirían los tiempos de paralización de maquinaria si se diseña un plan de mantenimiento preventivo para el área de sellado?	Identificar y analizar los tipos de daños que influyen directamente en los tiempos altos de paralización de maquinaria.	Con el análisis de datos, cuantitativos, condiciones y factores que intervienen en los tiempos de paralización de maquinaria podemos diseñar el plan de mantenimiento preventivo.	V.I: condiciones (tipo de daño) V.D diseño del plan de mantenimiento	. cantidad de daños . cantidad de inspecciones a máquinas	Análisis de daños y revisión de antecedentes

<p>¿En base a los antecedentes de las maquinas, condiciones actuales, recomendaciones del fabricante y el análisis de los diferentes daños, es posible diseñar un plan de mantenimiento preventivo?</p>	<p>Diseñar el plan de manteamiento preventivo considerando los antecedentes de reparaciones, recomendaciones del fabricante, análisis de los daños y las necesidades del área de sellado.</p>	<p>Con el diseño de un plan de mantenimiento preventivo para las maquinarias del área de sellado se podrá reducir los tiempos de paralización de las mismas, aumentando la producción, el rendimiento y la confiabilidad.</p>	<p>V. I: diseño del plan de mantenimiento preventivo V. D: reducción de los tiempos de paralización de maquinaria</p>	<p>. Cumplimiento del plan de mantenimiento . disponibilidad . confiabilidad</p>	<p>Estructura del plan de mantenimiento preventivo</p>
---	---	---	--	---	--