



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

**PROPUESTA DE MEJORA DE DISPONIBILIDAD DE PLANTA DE
ENVASES PLASTICOS**

Trabajo de Titulación para optar al Título de
Ingeniero de Ejecución en Gestión de la Calidad.

Alumno: Lindsay Alarcón Amigo.

Profesor Guía: Víctor Poblete G.

DEDICATORIA

Agradezco a todos los que formaron parte de esta etapa de mi vida. Agradezco a Dios por iluminar mi camino, mi familia y en especial a mis hijos, a mi Tomas que fue mi guía y luz y la fuerza que me impulsa a superar todas las dificultades, gracias a toda la enseñanza y todos mis amigos y compañeros que me apoyaron en los momentos más difíciles. Finalmente puedo decir etapa superada, por fin las flores crecen más lindas y radiantes en primavera...

RESUMEN EJECUTIVO

Este proyecto se enfoca en el desarrollo de una propuesta de plan de mantenimiento basado en la metodología FMEA (Análisis de Modos de Fallo y Efectos). La metodología FMEA permite descomponer los equipos en sus componentes individuales y evaluar cada uno según su severidad, frecuencia de ocurrencia y detectabilidad de fallas.

Actualmente, la empresa enfrenta un problema crítico debido a la producción continua y la falta de un plan de mantenimiento, lo que ha llevado a frecuentes paradas imprevistas en las máquinas, estas interrupciones generan retrasos en la producción y demoras en las entregas a los clientes, afectando negativamente la productividad.

Para comenzar, se utilizará el historial de fallas registrado a lo largo del año 2023 para analizar los incidentes y eventos de las máquinas, con esta información, se calcularán los indicadores Mean Time to Repair (MTTR) y Mean Time Between Failures (MTBF). Estos indicadores permitirán evaluar el rendimiento de los equipos y su disponibilidad operativa.

Con base en los valores obtenidos del MTTR y MTBF, se calculará la disponibilidad de cada equipo, así como la disponibilidad por etapas y la disponibilidad global de la planta. A través de estos cálculos, se determinó que la extrusora Polystar 1 es la máquina con menor disponibilidad, por lo tanto, la más crítica, lo que resalta la necesidad de un plan de mantenimiento específico para mejorar su rendimiento.

Posteriormente, se llevó a cabo un diagrama de Pareto para identificar los sistemas más vulnerables, aplicando herramientas FMEA para formular un plan de mantenimiento enfocado en estos sistemas prioritarios, el plan de mantenimiento propuesto busca anticipar y mitigar fallas antes de su aparición, lo que permitirá formular un plan de mantenimiento que anticipará y mitigue fallas antes de que ocurran.

Las actividades propuestas incluirán inspección y sustitución de piezas, limpieza y lubricación de componentes, así como revisiones periódicas de los sistemas. La mejora en la disponibilidad de la extrusora Polystar 1 tendrá un impacto positivo en la disponibilidad general de la planta, ya que al estabilizar y optimizar el funcionamiento de esta máquina clave, se reducirá el tiempo de inactividad y las interrupciones, mejorando la eficiencia operativa global.

La implementación de este plan contribuirá a un funcionamiento más estable de las máquinas, una operación más eficiente y una reducción significativa de las paradas imprevistas. Esto resultará en una mejora en la disponibilidad y vida útil de los equipos, lo que se traducirá en un aumento en la productividad y una disminución en los costos operativos.

INDICE

INTRODUCCIÓN.....1

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES 3

1.1 JUSTIFICACION DEL PROBLEMA.....4

1.1.1 ETAPA EXTRUSION.....

1.1.2 ETAPA CORTE Y SELLADO.....5

1.1.3 ETAPA IMPRESIÓN.....

1.2 OBJETIVOS.....7

1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....

1.3 METODOLOGIA.....8

1.4 ALCANCE DEL TRABAJO.....10

1.5 LIMITACIONES

CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE 12

2.1 ANTECEDENTES.....13

2.1.1 DESCRIPCION DE LA EMPRESA

2.1.2 MAQUINARIA DE LA EMPRESA 15

2.1.3 PROCESOS PRINCIPALES 16

2.1.4 TIPOS DE PRODUCTOS QUE FABRICA.....20

2.1.5 PROCESO DE PRODUCCION.....23

2.1.6 CONTEXTO DE LA INDUSTRIA EN CHILE.....24

2.2 MARCO TEORICO.....25

2.2.1 VARIABLES ASOCIADAS A MANTENIMIENTO.....26

2.2.2 DEFINICION Y ROL DE MANTENIMIENTO EN LAS EMPRESAS29

2.2.3 HERRAMIENTAS DE GESTION DE MANTENIMIENTO.....32

2.2.4	DIAGRAMA DE PARETO.....	34
2.2.5	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS.....	35
2.2.6	GRAFICO DE BARRAS.....	36
CAPITULO 3: DESARROLLO.....		37
3.1	DIAGNOSTICO DEL PROCESO ACTUAL	38
3.2	TABULACION DE DATOS VARIABLES TIEMPO (T) Y TIEMPO DE RECUPERACION (TR).....	40
3.3	SELECCIÓN DE MAQUINA CRITICA.....	
3.3.1	DISPONIBILIDAD DE CADA MAQUINA.....	41
3.3.2	DISPONINILIDAD DE CADA ETAPA.....	43
3.3.3	DISPONIBILIDAD DE LA PLANTA.....	44
3.4	DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS DE UNA EXTRUSORA.....	45
3.5	APLICACIÓN DEL FMEA.....	46
3.5.1	DETERMINAR LOS SISTEMAS CRITICOS.....	
3.5.2	IDENTIFICAR LOS COMPONENTES DE LOS SISTEMAS.....	47
3.5.3	FALLAS FUNCIONALES POR SISTEMAS.....	48
3.5.4	ESTABLECER CRITERIOS.....	50
3.5.5	CALCULO CRITRICIDAD.....	52
3.6	SISTEMA DOSIFICADOR.....	
3.7	SISTEMA EXTRUSOR.....	55
3.8	SISTEMA ESTIRADO Y TEMPLADO.....	58
3.9	ANALISIS COMPARATIVO CONSECUENCIAS Y COSTOS ANTES Y DESPUES.....	60

3.9.1 ESTIMACION DE DISPONIBILIDAD FUTURA DE LA PLANTA...	61
3.10 PROPUESTA PLAN DE MANTENIMIENTO.....	
3.11 EVALUACION FINANCIERA DE LA PROPUESTA.....	74
CONCLUSIONES.....	76
BIBLIOGRAFIA.....	78
ANEXOS.....	79
FMEA SISTEMA ESTRUSOR.....	
FMEA SISTEMA DOCIFICADOR.....	80
FMEA SISTEMA ESTIRADO Y TEMPLADO.....	81
FICHA TECNICA MAQUINA POLYSTAR1.....	82

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.1. Gráfico Pareto perdidas de lo que no se produjo por detención de las
maquinas año 2023.....6

Ilustración 2.2. Proceso de fabricación de bolsas 23

Ilustración 2.3. Grafico Diagrama de Pareto.....34

Ilustración 2.4. Diagrama de reflujo de procesos.....35

Ilustración 2.5. Gráfico de barras 36

Ilustración 3.6. Gráfico historial de fallas año 2023 41

Ilustración 3.7.Grafico de barras disponibilidad de máquinas 42

ilustración 3.8. Gráfico Pareto sistemas críticos 46

Ilustración 3.9. Grafico de barras falla funcional sistema dosificador.....48

Ilustración 3.10. Grafico de barras falla funcional sistema estirado y templado.....49

Ilustración 3.11. Grafico de barras falla funcional sistema extrusor.....50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Etapa de extrusión 4

Tabla 1.2. Etapa de corte y sellado 5

Tabla 1.3. Etapa de impresión.....

Tabla 2.4. Lista de equipos utilizados en el proceso de producción 15

Tabla 3.5. MTTB MTBF calculo impresión 41

Tabla 3.6. MTTB MTBF calculo extrusión 42

Tabla 3.7. MTTB MTBF calculo corte y sellado.....

Tabla 3.8. Descripción de los sistemas 45

Tabla 3.9. Componentes del sistema dosificador..... 47

Tabla 3.10. Componentes del sistema extrusor.....

Tabla 3.11. Componentes del sistema estirado y templado 48

Tabla 3.12. Criterios..... 51

Tabla 3.13. Rango de ponderaciones

Tabla 3.14. Ponderaciones sistema dosificador 52

Tabla 3.15. Ponderaciones sistema extrusor 55

Tabla 3.16. Ponderaciones sistema estirado y templado..... 58

Tabla 3.17. Costos comparativos 60

Tabla 3.18. Estimación disponibilidad de máquina Polystar 1 61

Tabla 3.19. Estimación disponibilidad futura de la planta.....

Tabla 3.20. Plan de mantenimiento sistema extrusor..... 62

Tabla 3.21. Plan de mantenimiento sistema dosificador..... 66

Tabla 3.22. Plan de mantenimiento sistema estirado y templado 72

Tabla 3.23. Flujo Caja..... 74

ÍNDICE DE IMAGENES

Imagen 1.1. Proceso de extrusión 18

Imagen 1.2. Maquina extrusora..... 19

Imagen 1.3. Proceso Impresión

Imagen 1.4. Proceso Corte y sellado 20

Imagen 1.5. Bolsa camiseta genérica

Imagen 1.6. Bolsa biodegradables compostables..... 21

Imagen 1.7. Bolsa de basura

Imagen 1.8. Bolsa camiseta con impresión 22

Imagen 1.9. Film tipo manga

Imagen 3.10. Diagrama funcional 38

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de título abordará la situación actual de la empresa en cuanto al tipo de mantenimiento que se está llevando a cabo en su línea de producción de envases de plástico, la cual incluye productos como bolsas personalizadas, bolsas de basura y bolsas tipo camiseta actualmente, el enfoque principal es el mantenimiento correctivo, en el cual las intervenciones se realizan únicamente cuando la maquinaria presenta una falla o problema evidente esta estrategia correctiva, aunque en ciertos casos es inevitable, tiene efectos negativos sobre la disponibilidad de los equipos, ya que provoca paradas imprevistas y afecta la eficiencia y productividad de la empresa.

Uno de los principales problemas del mantenimiento correctivo es su naturaleza reactiva, que genera tiempos muertos no programados y paros de producción prolongados, afectando no solo la rentabilidad, sino también la capacidad de la empresa para responder a las demandas del mercado. En este contexto, el presente proyecto tiene como objetivo analizar en profundidad las consecuencias de esta metodología y proponer una solución más adecuada y sostenible mediante una propuesta de un plan de mantenimiento, el cual anticipe las fallas y permita planificar las intervenciones antes de que ocurran problemas mayores.

El mantenimiento preventivo, a diferencia del correctivo, es una estrategia que se basa en la revisión periódica y el cuidado constante de los equipos este plan incluirá actividades como la limpieza y lubricación regular de las piezas mecánicas, la inspección y reemplazo de piezas, la revisión de motores y componentes eléctricos, y la aplicación de grasas y aceites específicos estas actividades ayudarán a reducir el desgaste excesivo y, por ende, minimizarán la necesidad de paros imprevistos, aumentando la vida útil de los equipos y su disponibilidad en la línea de producción.

Para maximizar la efectividad del mantenimiento preventivo y asegurar que se cubran las áreas críticas, se realizara un análisis de modo y efecto de falla (FMEA), este análisis consistirá en un estudio detallado de las posibles fallas de los equipos y sus efectos sobre el proceso de producción, permitiendo identificar los puntos de mayor vulnerabilidad y riesgo dentro de la maquinaria, la recolección de datos para el FMEA se realizará a través de fuentes como revisión de documentación técnica, análisis de historial de fallas, observación directa en la planta de producción, y reuniones con operarios y técnicos, quienes proporcionarán una visión práctica de los problemas que suelen enfrentar en el día a día, con esta información, será posible priorizar las fallas más críticas y

proponer soluciones efectivas y focalizadas para cada componente de la maquinaria.

Implementar un plan de mantenimiento no solo permitirá un funcionamiento más estable y eficiente de los equipos, sino que también impulsará una producción más fluida y confiable, reduciendo el tiempo y los costos asociados a las paradas no programadas, en última instancia, el proyecto busca mejorar la disponibilidad y confiabilidad de la maquinaria, logrando una operación más optimizada y, por ende, una mayor productividad para la empresa, lo que contribuye directamente a la reducción de costos operativos y y eficiencia de la empresa.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1.1 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La empresa se dedica a la fabricación de diversos tipos de bolsas de plástico, incluyendo bolsas tipo camiseta, bolsas biodegradables, bolsas de basura y bolsas personalizadas, para llevar a cabo esta producción, utiliza diversas materias primas, tales como polietileno (PE), polipropileno (PP) y materias primas biodegradables es una planta que opera las 24 horas del día, los 7 días de la semana, cuenta con 14 máquinas distribuidas en tres áreas de producción: extrusión, impresión y corte y sellado. Durante el año 2023, la empresa enfrentó un problema crítico relacionado con un alto nivel de paradas en las máquinas utilizadas en los procesos de extrusión, impresión, y corte y sellado, estas interrupciones recurrentes fueron ocasionadas principalmente por fallas mecánicas frecuentes, lo que impactó significativamente la continuidad operativa y los costos asociados a la producción, en total, se registraron 2.853 paradas a lo largo del año, generando pérdidas económicas cuantificadas en \$340.909.733 este monto incluye tanto los costos asociados a la producción no realizada durante las detenciones como los costos adicionales de mano de obra y repuestos necesarios para atender las fallas. El departamento de mantenimiento solo realiza las reparaciones cuando la maquina falla, al reparar las fallas solo cuando estas ocurren se logra dar una solución temporal, lo cual conlleva a múltiples paradas de las maquinas que impactan negativamente y afecta de forma negativa la eficiencia de la producción comprometiendo el cumplimiento de los pedidos. A continuación, se presenta un desglose de las paradas y los tiempos fuera de servicio registrados durante el año 2023, organizados por las etapas del proceso de producción: extrusión, corte y sellado, e impresión.

1.1.1 Etapa: Extrusión

La etapa de extrusión concentra el mayor número de paradas, reflejando su criticidad dentro del proceso productivo. Esta etapa cuenta con 5 extrusoras, que registraron un total combinado de 1.550 paradas y 532408 minutos fuera de servicio.

MAQUINA	PARADAS	MINUTOS FUERA DE SERVICIO
5 EXTRUSORA TECHNIC	308	109675
8 EXTRUSORA REPRO FLEX	298	98365
7 EXTRUSORA COWIN	318	109659
6 EXTRUSORA POLYSTAR 1	300	110442
9 EXTRUSORA POLYSTAR 2	301	104267

Tabla N°1.1: Etapa de extruccion

Fuente: *Elaboración propia información interna de la empresa en estudio*

1.1.2. Etapa: Corte y Sellado

El área de corte y sellado cuenta con 4 máquinas y registró un total combinado de 812 paradas y 137187 minutos fuera de servicio. Esto indica una alta frecuencia de interrupciones, especialmente en la máquina MS 500GP.

MAQUINA	PARADAS	MINUTOS FUERA DE SERVICIO
2CORTE Y SELLO MS 500GP	232	47853
3 CORTE Y SELLO HST 800 P	203	32837
1 CORTE Y SELLO HM-1000SR	200	29754
4 CORTE Y SELLO HM-1250SR	177	26743

Tabla N°1.2: Etapa de corte y sellado

Fuente: Elaboración propia información interna de la empresa en estudio.

1.1.3. Etapa: Impresión

La etapa de impresión cuenta con 5 máquinas, que reportaron un total combinado de 491 paradas y 97760 minutos fuera de servicio. Aunque los tiempos de detención son menores que en las etapas previas, estas interrupciones representan un impacto considerable en la productividad.

MAQUINA	PARADAS	MINUTOS FUERA DE SERVICIO
13 IMPRESIÓN COMEXI F2 ML	126	21577
10 IMPRESIÓN H1	95	15666
12 IMPRESIÓN SUPERFLEX	93	20342
11 IMPRESIÓN COMEXI F1	91	19857
14 IMPRESIÓN COMEXI F1	86	20318

Tabla N°1.3: Etapa de impresión

Fuente: Elaboración propia información interna de la empresa en estudio.

Estas detenciones imprevistas afectan la capacidad de la empresa para cumplir con los plazos de entrega, lo que genera retrasos en la producción, para mitigar el impacto de estas detenciones, la empresa a menudo tiene que adquirir materiales de emergencia recurrir a servicios externos de manera urgente y pagar horas extras a su personal técnico, lo que incrementa los gastos operativos. La raíz de este problema se encuentra en la falta de un plan de mantenimiento, es esencial desarrollar un sistema que contemple la

planificación de actividades preventivas para reducir la cantidad de paradas inesperadas en la planta.

Por lo tanto, es fundamental llevar a cabo esta propuesta con el fin de optimizar los procesos de producción y asegurar un funcionamiento más eficaz de las operaciones.

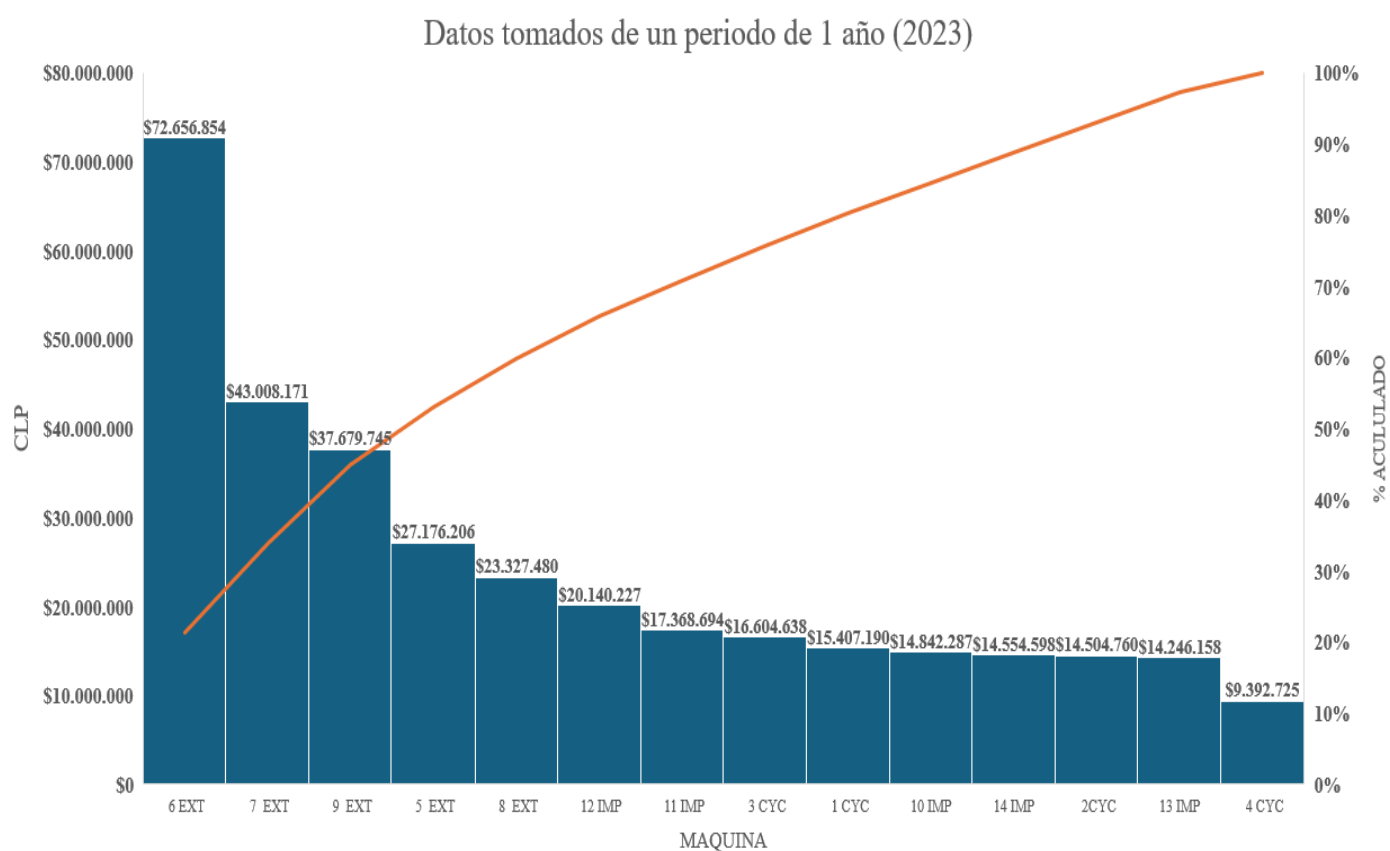


Ilustración N°1.1: Gráfico Pareto pérdidas de lo que no se produjo por detención de las maquinas año 2023.

Fuente: Elaboración propia información interna de la empresa en estudio.

El gráfico presentado muestra las pérdidas económicas asociadas a las detenciones de diferentes máquinas durante un período de un año, estas pérdidas están directamente relacionadas con el tiempo de inactividad de las máquinas, es decir, a la producción que no se logró realizar debido a las detenciones.

El análisis destaca que un pequeño grupo de máquinas contribuye a la mayor parte de las pérdidas económicas, en particular que las máquinas de extrusión son las que generan mayores pérdidas económicas, con un valor total de \$203.848.456, siendo las más costosas para la producción.

Las máquinas 6 EXT, 7 EXT y 9 EXT tienen las pérdidas más significativas, representando un impacto económico de \$ 72.656.854, \$43.008.171 y \$37.679.745, respectivamente, esto indica que estas máquinas deben ser priorizadas en términos de mantenimiento y mejora operativa.

En contraste, el resto de las máquinas, como las de impresión y corte y sellado, presentan pérdidas menores, generalmente entre \$9.000.000 y \$20.000.000. aunque estas pérdidas son menores en comparación, siguen representando un impacto en la productividad.

1.2 OBJETIVO

Proponer un plan de mantenimiento para la maquina más crítica de la planta de producción de envases plásticos, mediante la identificación de activos críticos de modos de falla (FMEA).

1.2.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar los activos críticos entre las distintas etapas de producción, analizar los datos históricos proporcionados por el área de mantenimiento para identificar los activos que generan mayor impacto en términos de tiempo de inactividad, frecuencia de fallas y costos.
- Aplicar el método FMEA a la maquina más crítica de la planta, identificar y clasificar los posibles modos de falla, esto incluye evaluar la gravedad, frecuencia y detectabilidad de las fallas para diseñar un plan de acción enfocado en reducir riesgos y maximizar la disponibilidad del equipo.
- Evaluar el costo de implementación del FMEA a la maquina más crítica de la planta.

1.3 METODOLOGIA

La metodología FMEA (Análisis de Modos y Efectos de Fallo) será utilizada en este proyecto debido a su capacidad para identificar y evaluar los riesgos asociados a posibles fallas en la maquinaria de la planta, al aplicar FMEA, se anticipan y priorizan los problemas antes de que estos afecten negativamente la disponibilidad de la maquinaria, lo que permite optimizar su rendimiento y minimizar tiempos de inactividad, esta metodología se enfocará en analizar detalladamente la máquina identificada como la de menor disponibilidad, permitiendo un proceso estructurado de sus posibles modos de fallo, sus causas y efectos, con el objetivo de implementar acciones preventivas y correctivas que aseguren su eficiencia y continuidad operativa.

Estructura de la Metodología:

- Estudio de la Planta: Etapas

Se realizará un levantamiento inicial de datos sobre la planta de producción, incluyendo:

- Identificación de las etapas del proceso productivo.
- Revisión de manuales de operación, diagramas lógicos de funcionamiento y esquemas de proceso.
- Entrevistas con personal operativo y de mantenimiento para entender las principales problemáticas.

- Diagramas Lógicos de Funcionamiento

Con base en la información recopilada, se desarrolla diagrama lógico que representen el funcionamiento de cada etapa del proceso.

- Análisis de Fallas y Reparaciones

Se recopilará información histórica sobre fallas y tiempos de reparación de cada máquina, esto incluirá:

- Frecuencia de fallas.
- Tiempo promedio entre fallas (MTBF).
- Tiempo promedio de reparación (MTTR).

- Cálculo de Disponibilidad

A partir de los datos recopilados, se calculará la disponibilidad de cada máquina utilizando la fórmula estándar, que se basa en dos indicadores (MTTF) (MTTR), este cálculo permitirá identificar las máquinas con menor disponibilidad, las cuales serán

consideradas como los puntos críticos que requieren atención en el proceso productivo.

Para estimar la disponibilidad de cada etapa del proceso, se calcula primero la disponibilidad individual de cada máquina dentro de la etapa correspondiente, posteriormente, se realiza un análisis de probabilidades para sistemas en paralelo, donde se combinan las disponibilidades de las máquinas de cada etapa, este análisis permite obtener una disponibilidad consolidada para cada etapa del proceso productivo, finalmente, la disponibilidad global de la planta se calcula multiplicando las disponibilidades de las tres etapas principales - extrusión, impresión, y corte y sellado - este cálculo ofrece una visión completa del desempeño de la planta y facilita la identificación de las áreas más críticas que necesitan ser priorizadas para optimizar la productividad y eficiencia del sistema.

- Selección de la Máquina Crítica

La máquina con menor disponibilidad será identificada como la más crítica, esta máquina está asociada al impacto de la continuidad operativa frecuencia de fallas y costos asociados a las reparaciones y paradas.

- Aplicación del FMEA

Una vez seleccionada la máquina crítica, se procederá con un análisis utilizando el FMEA:

1-Identificación de Componentes y Funciones Se desglosará la máquina crítica en sus componentes principales, para cada componente, se identificarán sus funciones y posibles fallas funcionales.

2-Análisis de Modos de Falla, se analizará cada componente para identificar:

- Modos de fallo posibles.
- Efectos de las fallas en la operación.
- Causas potenciales de las fallas.

3-Evaluación de Riesgos Se aplicará la metodología de ponderación de gravedad, frecuencia y detectabilidad (GFD) para evaluar el nivel de criticidad de cada modo de fallo.

4-Definición de Acciones Correctivas Establecer acciones preventivas y correctivas para los modos de fallo, se tomará como prioridad 1 a los que sean identificados como críticos.

- Diseño del Plan de Mantenimiento

- Incorporación de actividades preventivas específicas.
- Frecuencias ajustadas según los resultados del FMEA.
- Capacidades técnicas del personal y disponibilidad de recursos.

- Evaluación Económica

Se realizará un flujo de caja para evaluar la viabilidad económica.

1.4 ALCANCE DE TRABAJO

El proyecto se desarrollará en la planta de producción de envases plásticos, específicamente en las áreas de extrusión, impresión, corte y sellado, durante un periodo de 6 meses, este análisis se enfocará en la máquina con menor disponibilidad operativa, identificada mediante el cálculo de los indicadores MTTF (Tiempo Medio entre Fallos) y MTTR (Tiempo Medio de Reparación) con base en el historial de fallas registrado en el año 2023, el objetivo principal es mejorar la eficiencia de la máquina seleccionada y reducir sus tiempos de inactividad, estableciendo estrategias que puedan contribuir a la optimización de recursos y la sostenibilidad del proceso productivo, la implementación de las propuestas estará condicionada por las decisiones estratégicas de la empresa y la disponibilidad de recursos, como presupuesto, personal capacitado y herramientas específicas, se buscará que las mejoras planteadas no solo impacten positivamente en la máquina crítica, sino que también sirvan como base para replicarse en otras áreas de la planta.

1.5 LIMITACIONES

El presente análisis y sus resultados están sujetos a diversas limitaciones que podrían influir en su desarrollo y efectividad:

-Restricción Temporal y de Datos:

El proyecto se basa exclusivamente en los datos recopilados durante el año 2023. No se incluyen análisis de tendencias a largo plazo ni datos históricos más amplios, lo que podría influir en la precisión de los resultados.

-Alcance Limitado:

El análisis se centra únicamente en una máquina crítica del proceso de extrusión.

No se consideran mejoras para otras máquinas o procesos dentro de la empresa, lo que restringe el impacto del proyecto.

-Disponibilidad y Restricciones de Recursos: No se garantiza la disponibilidad o asignación de los recursos necesarios para implementar las propuestas de mejora.

Existen posibles restricciones en recursos humanos, financieros y tecnológicos, que podrían limitar tanto el desarrollo del proyecto como la implementación de soluciones.

-Factores Humanos y Operativos:

La resistencia al cambio por parte del personal operativo puede ser un obstáculo importante para la ejecución de las mejoras.

El tiempo limitado para completar el análisis y desarrollar las mejoras podría comprometer la calidad de las propuestas y su efectividad.

-Complejidad del Sistema y Factores Externos:

La máquina crítica puede formar parte de un sistema más amplio y complejo, lo que podría restringir la implementación de soluciones específicas.

Factores externos, como cambios en las prioridades estratégicas de la empresa o la dependencia de proveedores para la adquisición de repuestos, podrían influir negativamente en el éxito del proyecto.

CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE

2.1 ANTECEDENTES

La industria de fabricación de envases plásticos en Chile ha experimentado una notable transformación, especialmente en términos de sostenibilidad y mantenimiento de activos, estos cambios han llevado a la adaptación de las máquinas de producción para cumplir con nuevas exigencias, esto incluye la optimización de los procesos, el mantenimiento de maquinaria y la implementación de tecnologías más eficientes y ecológicas en la producción de envases. Las bolsas plásticas, que en su momento fueron valoradas por su ligereza, resistencia y bajo costo, han jugado un papel clave en la vida diaria sin embargo, el creciente impacto ambiental derivado de su disposición inapropiada ha impulsado importantes cambios normativos y tecnológicos, en este contexto, Chile implementó la Ley 21.100, que entró en vigencia el 3 de agosto de 2018, prohibiendo la entrega de bolsas plásticas en establecimientos comerciales, salvo en situaciones donde su uso sea necesario por razones higiénicas o para evitar el desperdicio de alimentos, las bolsas que sirven como envase primario de alimentos quedaron excluidas de esta restricción, lo que permitió a la industria adaptarse y migrar hacia materiales biodegradables y compostables de origen vegetal, a pesar de estos avances hacia productos más ecológicos, el sector continúa enfrentando desafíos, particularmente en mercados y ferias donde el uso de bolsas plásticas sigue permitido, lo que genera confusión entre los consumidores, esto ha impulsado a las empresas a mejorar sus prácticas de reciclaje y a promover el uso de bolsas reutilizables, en consonancia con la ley y las expectativas ambientales actuales.

En resumen, la industria de plásticos en Chile está atravesando una transición hacia prácticas más sostenibles, impulsada por la implementación de normativas ambientales como la Ley 21.100.

2.1.1 Descripción de la empresa

La empresa se dedica a la fabricación y comercialización de envases plásticos, con especialización en bolsas tipo camiseta, utilizan materias primas como el Polietileno de Alta Densidad (PEAD) y el Polietileno de Baja Densidad Lineal (PEBL), asegurando productos de alta resistencia y calidad, ofrecen soluciones sostenibles, desarrollando productos compostables que son fabricados con materiales biodegradables como almidón de maíz que cumplen con las Normas de Compostabilidad ASTM 6400 contribuyendo a

reducir la huella de carbono y los residuos en vertederos, la producción en la empresa se divide en tres etapas: extrusión, impresión y corte y sellado, la planta opera las 24 horas del día, los 7 días de la semana, utilizando 14 máquinas distribuidas en estas áreas, lo que permite una producción continua.

Ofrecen una variedad de productos, incluyendo bolsas con impresión, rollos de polietileno, y bolsas para basura, sus principales clientes son el Retail y comercio mayorista, supermercados, tiendas de abarrotes, Industria Alimentaria, ferreterías, en Chile, la Ley 21.100 permite el uso de bolsas plásticas en algunas situaciones específicas, a pesar de la prohibición general.

Estas excepciones incluyen:

Bolsas para alimentos sin envase: Se permite el uso de bolsas plásticas para alimentos que no tienen un envase primario, como pan, frutas y verduras.

Bolsas para productos a granel: También se pueden usar bolsas plásticas para productos vendidos a granel, como legumbres o frutos secos.

Estas excepciones están diseñadas para garantizar la higiene y la seguridad alimentaria, sin embargo, se fomenta el uso de alternativas más sostenibles siempre que sea posible como la utilización de bolsas biodegradables

2.1.2 Maquinaria de la empresa

N.º	Máquina	Área	Capacidad	Operario/Requerimiento	Mantenimiento Actual
1	Corte y sello HM-1000SR+IL	Área Corte y Sellado	Producción intensiva de bolsas tipo PolyDraw.	Operación asistida, operador especializado	Mantenimiento correctivo
2	Corte y sello MS 500GP		Diseño para sellado preciso y corte de bolsas.	Operación asistida, operador especializado	Mantenimiento correctivo
3	Corte y sello HST 800 P		Alta capacidad de producción de bolsas medianas.	Operación asistida, operador especializado	Mantenimiento correctivo
4	Corte y sello HM-1250SR+IL		Producción de bolsas grandes y resistentes.	Manejo de maquinaria automatizada, operador especializado	Mantenimiento correctivo
5	Extrusora Technic Machine	Área Extrusión	Extrusión para plásticos industriales, alto rendimiento.	Operación asistida, operador especializado	Mantenimiento correctivo
6	Extrusora Polystar 1		Especialización en extrusión de plástico reciclado.	Manejo de maquinaria automatizada, operador especializado	Mantenimiento correctivo
7	Extrusora Cowin		Diseño robusto para extrusión en línea.	Operación asistida, operador especializado	Mantenimiento correctivo
8	Extrusora Repro Flex		Sistema avanzado de	Manejo de maquinaria automatizada,	Mantenimiento correctivo

N.º	Máquina	Área	Capacidad	Operario/Requerimiento	Mantenimiento Actual
			reciclaje y extrusión.	operador especializado	
9	Extrusora Polystar 2		Alta eficiencia en la extrusión de plásticos.	Operación asistida, operador especializado	Mantenimiento correctivo
10	Impresora H1		Impresión flexográfica de múltiples colores.		Mantenimiento correctivo
11	Impresora Comexi F1		Alta precisión en impresión flexográfica avanzada.	Manejo de maquinaria automatizada, operador especializado	Mantenimiento correctivo
12	Impresora Superflex	Área Impresión	Diseño versátil para impresión flexográfica.	Operación asistida, operador especializado	Mantenimiento correctivo
13	Impresora Comexi F2 ML		Impresión avanzada con alta capacidad.	Manejo de maquinaria automatizada, operador especializado	Mantenimiento correctivo
14	Impresora Comexi F1		Impresión de alta calidad para aplicaciones industriales.	Manejo de maquinaria automatizada, operador especializado	Mantenimiento correctivo

Tabla N°2.4: Lista de equipos utilizados en el proceso de producción
Fuente: Elaboración propia información interna de la empresa en estudio.

2.1.3 Procesos principales

Todo proceso de producción inicia con la llegada de la materia prima, esta se transporta a la sección de mezclado donde se funde el polietileno con todos los aditivos acorde a las especificaciones del cliente, luego de ser mezclado, esta mezcla se vierte en la maquina extrusora en esta parte es donde se realiza una inspección debido a que se debe configurar la maquina dependiendo de qué grosor y largo se quiera la bolsa, en la

maquina extrusora se forma una burbuja la cual fluye hacia arriba, esta se enrolla en forma de bobina, cada bobina saliente debe tener un periodo de reposo después de haber salido de la maquina extrusora para luego pasar al área de corte y sellado, se transportan las bobinas a la maquina la cual con calor corta y sella las placas de la bobina, y un contador eléctrico separa las bolsas cada 100 bolsas, estas pasan a un área donde se separan según las especificaciones del cliente, y pasan al área de empaquetado donde los operarios empaacan las bolsas y se realiza la última inspección de calidad donde se verifica tamaño color y que no haya imperfecciones al terminar el empaquetado ,la materia prima principal para la fabricación de bolsas de plástico es el polietileno, este material se obtiene a partir de la polimerización del etileno, un gas que se encuentra en el petróleo, el polietileno se presenta en forma de pellets, que son pequeñas bolitas de plástico que se utilizan como materia prima para la fabricación de las bolsas, además del polietileno, se utilizan otros materiales como tintas, adhesivos y otros aditivos que le dan a las bolsas propiedades específicas, como la resistencia a la humedad o la protección contra los rayos UV.

El proceso de fabricación de bolsas de plástico consta de varias etapas:

- Proceso de Extrusión

El proceso de extrusión es clave para transformar la materia prima, como el polietileno, en láminas o películas plásticas, este proceso es el primer paso en la producción de diferentes tipos de bolsas, la técnica utilizada en extrusión para la fabricación de bolsas plásticas es la extrusión por soplado, también conocida como extrusión de película soplada el proceso de extrusión de película soplada o película tubular es el método más común para la fabricación de películas o films, y en general se utiliza para fabricar bolsas de plásticos . Más de la mitad de las películas producidas hoy en día se hacen de polietileno, en su mayoría de baja densidad, el polipropileno es otro de los materiales ampliamente utilizados, el término película se refiere a espesores por debajo de 0,5 mm se usan películas delgadas para material de empaque (envolturas, bolsas para abarrotes y bolsas de basura); las aplicaciones de películas más gruesas incluyen cubiertas y revestimientos, por ejemplo, cubiertas para piscinas y revestimientos para canales de irrigación.

- Fusión y Extrusión:** Los gránulos de plástico (como polietileno) se introducen en una extrusora, donde se calientan y funden, la mezcla fundida se empuja a través de un tornillo de extrusión hacia una matriz circular.

- **Formación de la Burbuja (Película Soplada):** La matriz circular empuja el plástico fundido hacia arriba, formando un tubo hueco o “burbuja” de película. Se introduce aire a través de la matriz para inflar el tubo, expandiéndolo y controlando su grosor. Este tubo inflado se enfría mientras asciende, manteniendo la forma de la película.
- **Enfriamiento:** Un flujo de aire ayuda a enfriar la burbuja de película, estabilizando el material para evitar deformaciones y lograr las propiedades de resistencia y flexibilidad deseadas.
- **Estirado y Aplanado:** La burbuja pasa por unos rodillos de estirado que aplanan el tubo en una doble capa de película. Este paso también ayuda a controlar el grosor final y las propiedades mecánicas del material.
- **Rebobinado:** La película aplanada se enrolla en bobinas que luego se llevarán a la sección de corte y sellado para fabricar las bolsas plásticas en distintos tamaños y formato

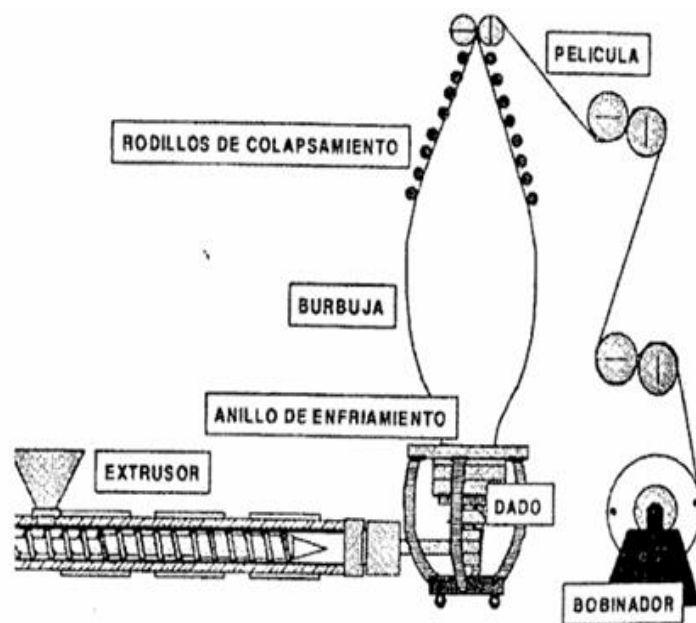


Imagen N°1.1: Proceso de extrusión.

Fuente: Proceso de extruccion de película soplada a base de polietilenos (mezclas) de Nayeli Cliavero Juares.

La extrusión por soplado permite producir películas uniformes, delgadas y resistentes, optimizando el uso de material plástico y creando productos que pueden ajustarse a las especificaciones de cada cliente o aplicación industrial.



Imagen N°1.2: Extrusora

Fuente: Imagen interna de la empresa en estudio.

- Proceso de Impresión

Si se requiere, se puede imprimir el diseño o la marca en la bolsa para ello, se utiliza una máquina impresora que aplica las tintas sobre la superficie de la bolsa.

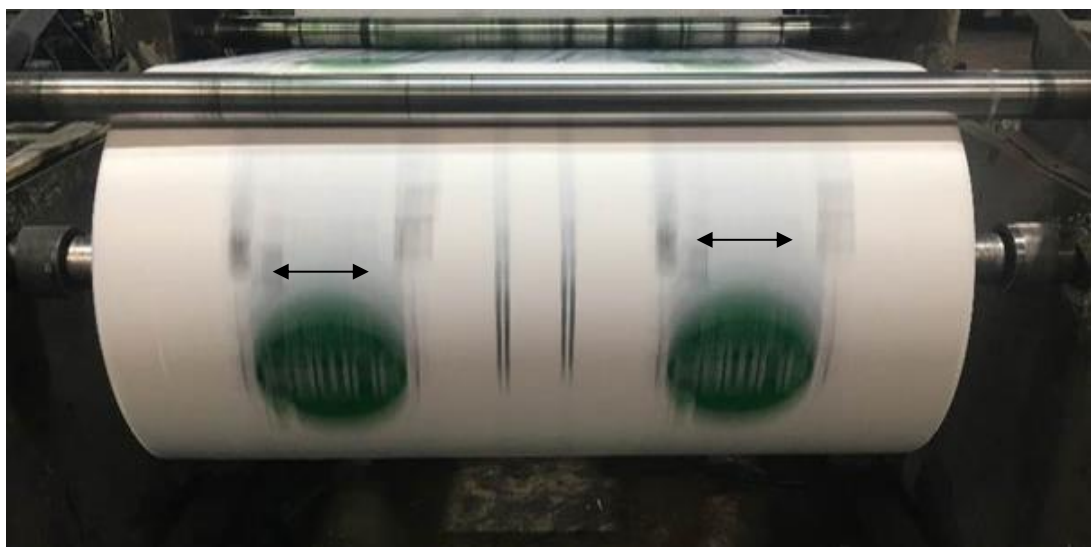


Imagen N°1.3: proceso de Impresión

Fuente: Imagen interna de la empresa en estudio.

- **Proceso corte y sellado:**

Una vez que se ha obtenido la película plástica, se procede a cortarla y sellarla para darle la forma de bolsa. Para ello, se utiliza una máquina cortadora y selladora que corta la película plástica en el tamaño adecuado y la sella para formar los bordes de la bolsa.



Imagen N°1.4: Proceso corte y sellado.

Fuente: Imagen interna de la empresa en estudio.

2.1.4 Tipos de productos que fabrica

-Bolsa camiseta genérica

Bolsas camiseta sin impresión fabricadas en base a una combinación de polietileno de alta y baja densidad, de 11 a 18 micrones, disponible en diversos tamaños y espesores según los requerimientos particulares de cada cliente.

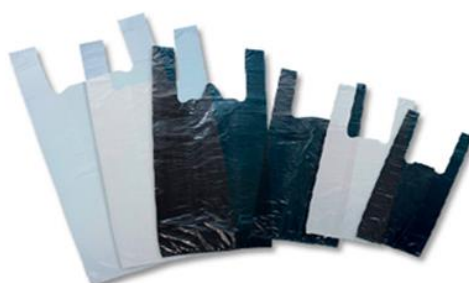


Imagen N°1.5: Bolsa camiseta genérica

Fuente: Imagen interna de la empresa en estudio.

-Bolsas compostables biodegradables

Elaboradas en base materias primas provenientes de recursos naturales renovables, con espesores que van de 14 a 22 micrones y una variedad de medidas disponibles, cumplen con las normativas de compostabilidad ASTM D6400 y EN 13432, garantizando su descomposición y reintegración al medio ambiente en condiciones óptimas de compostaje, la fabricación se realiza con maquinaria especializada para procesar materiales biodegradables, asegurando un alto desempeño y un menor impacto ambiental.



Imagen N°1.6: Bolsas biodegradables compostable

Fuente: Imagen interna de la empresa en estudio.

-Bolsas de basura

Bolsas elaboradas en base Polietileno de Alta densidad de 30 a 80 micrones, lo que asegura una alta resistencia a la carga y el funcionamiento. Compactas, sin olor y con un empaque que asegura una ordenada dispensación y posterior almacenamiento.

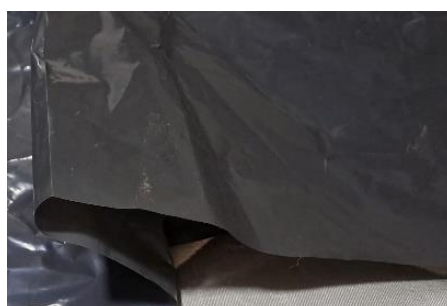


Imagen N°1.7: Bolsa de basura

Fuente: Imagen interna de la empresa en estudio.

-Bolsa camiseta con impresión

Fabricadas en base a una combinación de polietileno de alta y baja densidad, disponible en diversos tamaños y espesores según los requerimientos particulares de cada cliente. Opciones de impresión de hasta 4 colores por lado, producto dirigido especialmente a clientes de la industria del retail.



Imagen N°1.8: Bolsa camiseta con impresión

Fuente: Imagen interna de la empresa en estudio.

-Film tipo manga

Rollos de Polietileno Virgen de Alta y Baja densidad, hasta 200 micrones de espesor y 1500 mm de ancho para diversos usos en distintos colores, utilizado para fabricación de Bolsas, Protecciones en general, envasado de alimentos y otros usos.

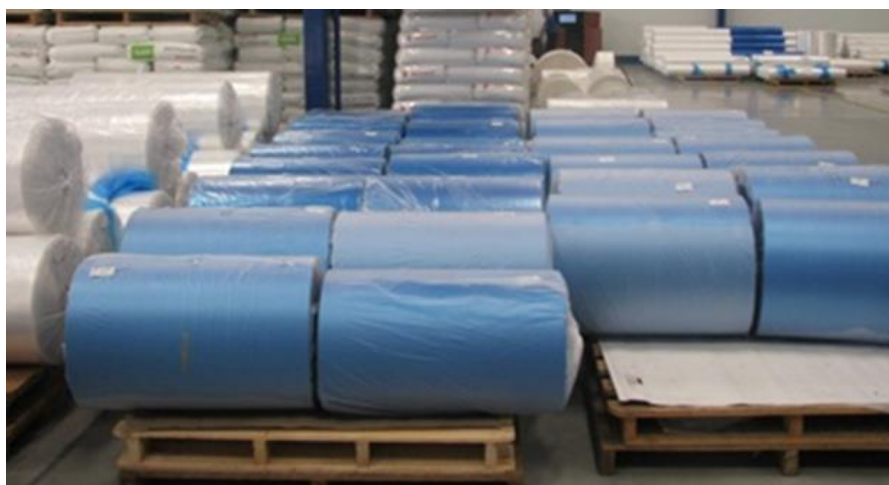


Imagen N°1.9: Film tipo manga

Fuente: Imagen interna de la empresa en estudio.

2.1.5 Proceso de producción

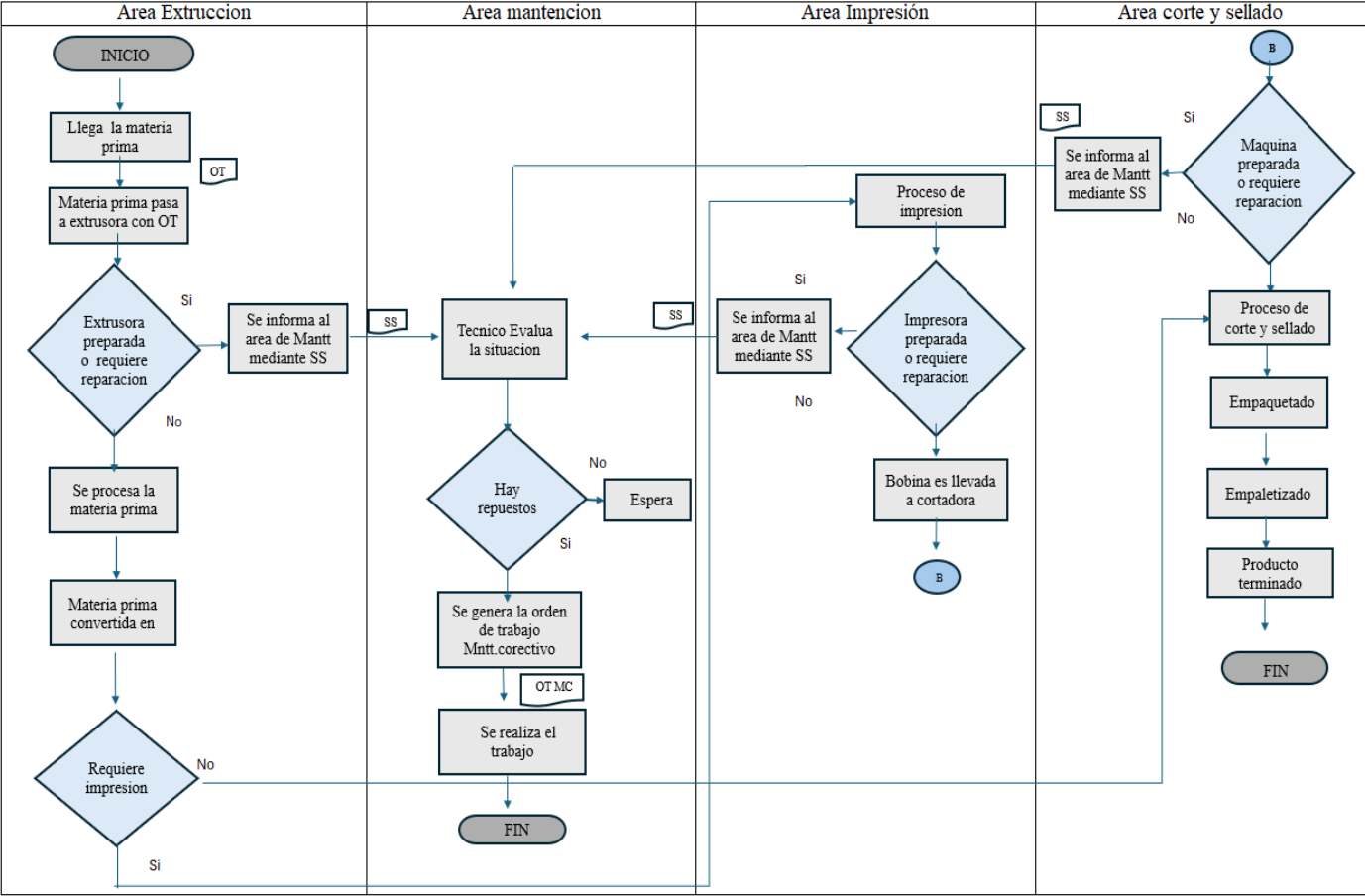


Ilustración 2.2: Diagrama de flujo Proceso de fabricación de bolsas.

Fuente: Elaboración propia información interna de la empresa en estudio.

El proceso comienza con la llegada de la materia prima, la materia prima pasa a la extrusora con una Orden de Trabajo (OT), donde se verifica si la máquina está preparada para operar o si requiere reparaciones, sí la extrusora está preparada, la materia prima se procesa en caso contrario, se informa al área de mantenimiento mediante una Solicitud de Servicio (SS). Un técnico evalúa la situación de la extrusora. Si hay repuestos disponibles, se genera una orden de trabajo de mantenimiento correctivo (OT MC) y se realizan las reparaciones necesarias. Si no hay repuestos, el proceso se detiene hasta que estén disponibles. Una vez que la materia prima es procesada, se convierte en un material que puede requerir o no impresión. Si el material requiere impresión, pasa a la impresora, donde se verifica si esta está preparada para operar o si necesita mantenimiento. Si la impresora está lista, el material es impreso, generando una bobina. En caso de que la impresora no esté en condiciones, se informa al área de mantenimiento mediante una SS para realizar las reparaciones pertinentes. Una vez impreso, la bobina es trasladada al siguiente paso del proceso.

Si el material no requiere impresión, este pasa directamente al proceso de corte y sellado. En esta etapa, se evalúa si la máquina está lista para operar o si necesita reparaciones. Si está preparada, el material pasa por el proceso de corte y sellado. Si no está preparada, se informa al área de mantenimiento mediante una SS para atender la situación.

Después del corte y sellado, el material pasa al proceso de empaquetado y luego es paletizado, dando como resultado el producto terminado. Finalmente, una vez completadas todas las etapas, el proceso llega a su fin.

Este flujo destaca la importancia de la coordinación entre producción y mantenimiento para minimizar interrupciones y asegurar la continuidad del proceso. También subraya cómo las fallas en las máquinas pueden afectar significativamente el flujo de trabajo, requiriendo atención inmediata a través de solicitudes de servicio y trabajos correctivos.

2.1.6 Contexto de la industria en Chile

La industria de fabricación de bolsas plásticas en Chile se enfrenta a un entorno cambiante que exige adaptarse a nuevas regulaciones medioambientales, las expectativas de los consumidores y la constante innovación tecnológica. La Ley 21.100, que prohíbe las bolsas plásticas de un solo uso desde 2020, ha tenido un impacto significativo en este sector, obligando a las empresas a ajustarse a nuevas normativas, esta legislación promueve la transición hacia alternativas más sostenibles, como las bolsas reutilizables, biodegradables y compostables, sin embargo, si bien esta regulación representa un desafío, también abre oportunidades para innovar y desarrollar nuevas tecnologías y procesos, permitiendo que las empresas que lideren en sostenibilidad sigan siendo competitivas. La creciente preocupación por el medio ambiente y la sostenibilidad ha impulsado una demanda cada vez mayor de productos ecológicos, lo que genera una ventaja competitiva para las empresas que fabrican bolsas biodegradables o reciclables, este cambio en las preferencias de los consumidores, combinado con la obligación de cumplir con las normativas medioambientales, plantea tanto desafíos como oportunidades.

El costo de los materiales reciclados y biodegradables sigue siendo una barrera económica para algunas empresas, pero aquellas que logren optimizar sus procesos, reducir costos y adaptar tecnologías innovadoras, como la impresión 3D y la automatización de procesos, podrán mantenerse competitivas y satisfacer la demanda del mercado.

Además, la estabilidad política de Chile juega un papel clave en el crecimiento del sector, aunque futuras reformas políticas relacionadas con el medio ambiente podrían generar nuevos desafíos regulatorios o, por el contrario, crear nuevas oportunidades para las empresas que inviertan en soluciones sostenibles, a pesar de las restricciones internas, también existen oportunidades de exportación para productos sostenibles, lo que amplía el horizonte de las empresas que logren adaptarse rápidamente a estas tendencias.

2.2 MARCO TEORICO

Este capítulo contiene una información referencial sobre el método y las herramientas utilizadas en el desarrollo del proyecto, así como las definiciones fundamentales para comprender las bases del mantenimiento industrial, el objetivo es facilitar al lector los conocimientos necesarios para entender cada uno de los apartados que componen el estudio, se explica el uso y la interpretación de los diferentes gráficos y diagramas que se aplicaron en el análisis de los datos, de esta forma, se facilita la comprensión de los temas abordados en el proyecto de título.

En este contexto, el mantenimiento industrial es una función clave en cualquier entorno productivo que busca optimizar la disponibilidad, confiabilidad y rendimiento de los equipos y sistemas de producción. En términos generales, el mantenimiento se clasifica en tres tipos principales: el mantenimiento correctivo, que se realiza después de que ocurre una falla y se enfoca en restaurar el funcionamiento del equipo sin prevenir futuras fallas; el mantenimiento preventivo, que se programa regularmente para evitar fallas antes de que ocurran, y cuyas actividades incluyen inspección, limpieza y reemplazo de piezas con el fin de mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos; y el mantenimiento predictivo, que usa herramientas tecnológicas para monitorear el estado de los equipos en tiempo real, permitiendo predecir fallas y evitar paradas no programadas. El análisis de Modo y Efecto de Falla (FMEA, por sus siglas en inglés) es una metodología central en el mantenimiento que permite identificar y priorizar los modos de falla de los equipos y procesos para asegurar la continuidad operativa. Este análisis se basa en tres factores clave: severidad, que representa el impacto que una falla tendría en el proceso si ocurre; ocurrencia, que indica la frecuencia esperada de una falla; y detección, que evalúa la capacidad para detectar una falla antes de que ocurra. En el proyecto, el FMEA será fundamental para el desarrollo del plan de mantenimiento, pues permitirá estructurar acciones dirigidas a los puntos más vulnerables y, con ello, mejorar la disponibilidad de los equipos. Para medir el impacto y la efectividad del programa de mantenimiento, se

utilizarán indicadores clave como disponibilidad y confiabilidad, como el MTTR.

En relación con el análisis de los modos de falla, John Moubray (1997, p. 58) señala que una máquina puede fallar por diversos motivos. Un grupo de máquinas o un sistema como una línea de producción puede fallar por cientos de razones. Para una planta entera, los números ascienden a miles, inclusive hasta decenas de miles, sin embargo, Moubray destaca que "el mantenimiento es realmente manejado al nivel de modo de falla" debido a varios factores: Las órdenes de trabajo o pedidos de trabajo surgen para cubrir modos de falla específicos, el planeamiento del mantenimiento diario se realiza para tratar modos de falla específicos. En la mayoría de las empresas industriales, el personal de mantenimiento y operaciones se reúne cada día para discutir qué ha fallado, qué lo causó, quién es responsable, qué se está haciendo para reparar el problema y qué se puede hacer para prevenir que vuelva a suceder, de esta manera, Moubray concluye que tratar fallas después de que hayan ocurrido es el fundamento del mantenimiento reactivo, por otro lado, enfatiza la importancia de identificar modos de falla antes de que ocurran para implementar estrategias proactivas y minimizar las consecuencias negativas, destacando que cada modo de falla analizado ofrece una oportunidad para evaluar y rediseñar los sistemas involucrados (Moubray, 1997, P. 58).

El enfoque propuesto en este capítulo adopta esta filosofía, asegurando que las decisiones del proyecto estén alineadas con las mejores prácticas del mantenimiento centrado en confiabilidad.

2.2.1 Variables Asociadas a Mantenimiento

-Falla

La falla se define como la interrupción en el funcionamiento de un sistema o componente debido al incumplimiento de las funciones para las cuales fue diseñado, la falla puede ser causada por diversos factores como desgaste, errores de diseño, mala manufactura o influencias externas como condiciones ambientales.

Moubray, John Mitchell la define como la incapacidad de cualquier activo de hacer aquellos que sus usuarios quieren que haga (Mantenimiento centrado en confiabilidad Reliability-centred maintenance 2004 P.49.)

- Tasa de Falla y Relación con la Curva de Falla y Mean Time Between Failure (MTBF)

Tasa de falla es una métrica que indica la frecuencia con la que ocurren fallas en un sistema o componente durante un período de tiempo específico, esta se expresa generalmente en términos de fallas por unidad de tiempo, curva de falla representa cómo la probabilidad de fallas se distribuye a lo largo del tiempo.

Existen diversas distribuciones de fallas como:

Exponencial: Sugiere una tasa constante de fallas.

Normal: Refleja fallas en un patrón simétrico alrededor de un punto medio.

Weibull: Muy utilizada en análisis de confiabilidad, permite ajustar distribuciones según distintos parámetros (2 a 7) para representar la complejidad de fallas en sistemas.

Mean Time Between Failure (MTBF) representa el tiempo promedio que un equipo o sistema opera de manera continua y sin fallas, es un indicador de la confiabilidad del equipo, ya que cuanto mayor sea el MTBF, más confiable será el sistema (Arata Andreani, Adolfo 2005 P.143)

$$\text{FORMULA: } MTBF = \frac{\text{Tiempo total de operación}}{\text{Numero de fallas}}$$

-Reparación

La reparación es el proceso de corregir o restaurar un sistema o componente después de una falla. Esto puede incluir sustitución, mantenimiento preventivo o correctivo, y ajustes técnicos.

-Tasa de Reparación y Relación con la Curva de Reparación Mean Time to Repair (MTTR)

Tasa de reparación es la medida que indica la rapidez con la que se llevan a cabo los procesos de restauración de un sistema o componente tras una falla es la métrica que representa el tiempo promedio requerido para reparar una falla y restaurar el funcionamiento del sistema o componente.

$$\text{FORMULA: } MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{Numero de fallas}}$$

Una baja MTTR es deseable, ya que indica que las fallas son atendidas rápidamente, minimizando tiempos de inactividad.

-Confiabilidad

(Arata Andreani, Adolfo 2005, P. 57) indica que la más ampliamente aceptada definición es la Capacidad o probabilidad de un producto proceso o sistema para realizar una función en el ambiente especificado de diseño por un determinado periodo de tiempo o eventos. Las distribuciones comunes utilizadas en análisis de confiabilidad son:

Curvas exponenciales: La distribución exponencial se caracteriza porque la tasa de fallos es constante, Asunción correcta si se considera que el dispositivo no tiene fallos infantiles y que no han aparecido todavía desgastes, representa la fase normal de operación del componente, es la distribución más ampliamente utilizada en los estudios de confiabilidad (Creus Solé, Antonio 2005, P.40)

Curvas normales: Representan distribuciones más equilibradas con una media y desviación estándar definidas.

Curvas Weibull: Weibull, investigador sueco, propuso la distribución que lleva su nombre en 1939, es ampliamente utilizada por su gran flexibilidad al poder ajustarse a una gran variedad de funciones de fiabilidad, dispositivos o sistemas (Creus Solé, Antonio 2005, P.41)

-Mantenibilidad

(Arata Andreani, Adolfo 2005, P.140) Indica que es el concepto que caracteriza la facilidad del desarrollo de una intervención de mantenimiento o reparación, medida sobre la base de los tiempos de detención de equipo. La mayoría de las veces se asocia este concepto erróneamente solo con el tiempo promedio de intervención MTTR (Mean Time To Repair) sin considerar la variabilidad presente en los tiempos de ejecución en todo procedimiento de reparación. Entonces se podría concluir que la mantenibilidad de un equipo queda definida por la distribución de probabilidad asociada a los tiempos de realización de la mantención. Se refiere a la facilidad con la que un sistema o componente puede ser mantenido para restaurar su funcionamiento después de una falla, se mide utilizando diversas distribuciones, principalmente:

Curvas de reparación normal: Representan un patrón donde el tiempo de reparación es constante o sigue una tendencia lineal.

Curvas de reparación logarítmica: Se utilizan para sistemas donde la tasa de reparación disminuye a medida que el tiempo transcurre.

-Disponibilidad

La disponibilidad es la probabilidad de un sistema de estar en condiciones de funcionamiento en el tiempo t . El sistema no debe haber tenido fallos o bien, en caso de haberlos sufrido, debe haber sido reparado en un tiempo menor que el máximo permitido para su mantenimiento. De este modo, si se considera un tiempo muy largo para el sistema, se tiene la llamada disponibilidad en régimen permanente (D_{∞}).

Se supone que las funciones de distribución de fallos y de las reparaciones son del tipo exponencial (tasa de fallos λ y una tasa de reparación μ , con $M(t)=1-e^{-\mu t}$ y $Q(t)=1-e^{-\lambda t}$, y que el sistema solo puede estar en dos estados (en servicio o en reparación, sin considerar que esté inoperativo en espera de ser mantenido). La disponibilidad ayuda a entender qué tan confiable y eficiente es un equipo, y permite planificar mejor las tareas de mantenimiento para reducir los tiempos de inactividad y mejorar la productividad.

La fórmula de disponibilidad se basa en los indicadores MTBF (Tiempo Promedio Entre Fallas) y MTTR (Tiempo Promedio de Reparación). (Creus Solé, Antonio 2005, P.101)

$$\text{FORMULA DISPONIBILIDAD} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTTR} + \text{MTBF}}$$

2.2.2 Definición y rol de mantenimiento en las empresas

El mantenimiento es una función crítica en las empresas, ya que asegura que los activos físicos operen de manera eficiente, segura y con la máxima disponibilidad a través del mantenimiento adecuado, se optimiza la productividad, se minimizan tiempos de inactividad, y se prolonga la vida útil de los activos.

- Política de Mantenimiento

La política de mantenimiento en una empresa establece las directrices para la gestión de activos, incluyendo tareas técnicas, frecuencia de aplicación y estrategias a seguir, esta política debe ser diseñada de acuerdo con las necesidades específicas de cada sector, tipo de maquinaria y operación, garantizando que se mantenga la eficiencia y operatividad

- Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo estriba en reparar un componente solo cuando falla por completo (fallo catastrófico) o cuando su coste de servicio es extremadamente alto, es decir cuando está en su fase de desgaste, (Creus Solé, Antonio2005, P.106)

-Ventajas del Mantenimiento Correctivo

Costo Inicial Bajo: Generalmente, los costos son menores en comparación con las otras estrategias debido a la falta de planificación previa.

Menos Requerimientos de Recursos: No necesita análisis o planificación proactiva, ya que se repara una vez ocurrida la falla.

-Desventajas del Mantenimiento Correctivo

Incremento de Costos a Largo Plazo: Los tiempos de inactividad frecuentes llevan a aumentos en costos asociados, como pérdidas de producción, sobrecostos de personal técnico y repuestos.

Menor Confiabilidad: A menudo se enfrentan problemas recurrentes debido a la ausencia de estrategias preventivas o predictivas.

Impacto Operativo: Las paradas imprevistas afectan la eficiencia general y los plazos de entrega.

-Mantenimiento Preventivo

(Creus Solé, Antonio2005, P.108) Indica que consiste en la inspección periódica del aparato o dispositivo y en su reparación o sustitución, incluso aunque no muestre signos de mal funcionamiento.

-Ventajas del Mantenimiento Preventivo

Reducción de Tiempos de Inactividad: Al detectar y solucionar problemas antes de que se conviertan en fallas mayores, se minimizan los tiempos de inactividad.

Prolongación de la Vida Útil: Mantiene los equipos en buen estado, mejorando su durabilidad y desempeño general.

Optimización de Costos: A largo plazo, los costos asociados a reparaciones de emergencia se reducen al planificar tareas preventivas.

Desventajas del Mantenimiento Preventivo

Costos Iniciales: Implica una inversión periódica para realizar revisiones y mantenimiento programado.

Uso Ineficiente de Recursos: Algunas tareas preventivas pueden ser innecesarias si el equipo no muestra signos de fallo.

-Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento preventivo consiste en el análisis de los parámetros del funcionamiento del sistema estudiando su evolución temporal para detectar un fallo antes de que este provoque consecuencias más graves evitando así fallas (Creus Solé, Antonio 2005, P.110)

-Ventajas del Mantenimiento Predictivo

Minimización de Tiempos de Inactividad: Al identificar problemas potenciales antes de que ocurra una falla, se reducen significativamente los tiempos de inactividad.

Optimización de Recursos: Permite asignar recursos y técnicos únicamente cuando es necesario, optimizando la utilización de las capacidades humanas y materiales.

Aumento de Confiabilidad: Mejora la salud general del sistema mediante el seguimiento constante y la intervención proactiva.

-Desventajas del Mantenimiento Predictivo

Costo de Inspección: Aunque los costos son menores que el correctivo, el uso de tecnología avanzada y herramientas de monitoreo pueden resultar costosos.

Requiere Formación: El personal debe estar capacitado en tecnología avanzada y análisis de datos para llevar a cabo correctamente el mantenimiento predictivo.

-Costos Asociados al Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento predictivo, aunque eficiente en prevenir fallos, requiere inversiones adicionales, principalmente en tecnologías avanzadas como sensores, software especializado y formación técnica para el personal, a continuación, se describen los costos asociados:

Costos de Tecnología: Sensores, dispositivos de monitoreo, software especializado.

Costos de Formación: Capacitación para operarios y técnicos en análisis predictivo.

Inspección y Monitoreo: Costos recurrentes para evaluar constantemente el estado de los activos y prever fallos.

Estos costos pueden ser significativamente más bajos que los asociados al mantenimiento correctivo, pero varían según el tamaño de la operación y la complejidad del sistema en mantenimiento.

2.2.3 Herramientas de Gestión de Mantenimiento

En la gestión de mantenimiento, diversas herramientas y metodologías son utilizadas para optimizar el desempeño de los activos, minimizar los costos operativos y maximizar la confiabilidad, a continuación, se describen herramientas clave: FMAE, RCM, MSG-3 y SAE-JA 1011, destacando su aplicación en el contexto de la normativa ISO 31010.

-FMEA (Análisis de Modos de Fallo, Efectos y Análisis)

El FMEA es una metodología ampliamente utilizada para identificar y priorizar posibles fallos en un sistema o proceso. La normativa ISO 31010 proporciona un marco para el análisis de riesgos utilizando herramientas como FMEA, asegurando que los riesgos sean evaluados y mitigados adecuadamente. El análisis AMFE (Análisis Modal de Fallos y Efectos del Proceso) (FMEA = Failure Modes and Effects Analysis) explora los efectos de los fallos o el mal funcionamiento de los componentes de un sistema. Se usa fundamentalmente en los equipos, analiza las consecuencias en el sistema de todos los posibles fallos que pueden afectar a uno de sus componentes, identifica los tipos de fallos que tienen consecuencias importantes y determina los medios de detección para cada tipo de fallo, este método sigue una aproximación inductiva, partiendo del conjunto de los eventos peligrosos o de fallo de los componentes o piezas y siguiendo el sistema hacia adelante, buscando todas las consecuencias posibles de los sucesos de fallo. El análisis AMFE (FMEA) puede ser incluso más detallado que un árbol de fallos, ya que debe considerarse cada tipo de fallo de cada componente (Creus Solé, Antonio 2005, P.303).

El FMEA se lleva a cabo en las siguientes etapas:

-Identificación de componentes y funciones: Se detallan los componentes del sistema y sus funciones dentro del proceso.

-Determinación de modos de fallo: Se identifican las maneras en que cada componente podría fallar o no cumplir con su función.

-Evaluación de efectos de los fallos: Para cada modo de fallo, se evalúa el efecto que tendría en el sistema o proceso.

-Cálculo del número de prioridad de riesgo (RPN): Se asignan puntuaciones para la severidad (S), la probabilidad de ocurrencia (O) y la capacidad de detección (D) de cada fallo en una escala del 1 al 10 o de 1 a 5. El RPN se calcula multiplicando estos tres valores:

$$RPN=S \times O \times D \text{ (Creus Solé, Antonio, 2005)}$$

-Priorización y acciones: Los fallos con los RPN más altos se consideran los más críticos y deben ser abordados con acciones correctivas o preventivas.

Objetivo: Minimizar el impacto de fallos potenciales identificando modos de fallo, sus efectos y la probabilidad de ocurrencia.

Aplicación: Utilizado en diversas industrias para mejorar la confiabilidad y seguridad de los sistemas.

-RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad)

(Arata Andreani, Adolfo 2005, P.61) Indica que es una herramienta de análisis recurrente y sistemática que mediante el estudio de modos de falla y sus efectos permite la optimización de los planes de mantenimiento, procedimientos existentes y además un levantamiento de proyectos de mejoramiento. Hay distintas tendencias que incluyen priorización en el análisis o aspectos de seguridad entre otros y han derivado en distintos nombres, siendo el análisis en global muy similar. Esta metodología es simple y se basa en un análisis y ordenamiento que debe ser asistido con herramientas para el cálculo de beneficios y riesgos en las distintas alternativas, sin embargo, la implantación de la metodología debe ir acompañada de un cambio cultural por arraigar en la organización como base de análisis para la selección de estrategias de mantenimiento .MCC, al igual que otras metodologías de mantenimiento como Mantenimiento Productivo Total (TPM), requiere plantear un diseño de inserción cultural diagnosticando la situación actual con relación al objetivo para definir el periodo, la energía y la atención organizacional para alcanzar los objetivos.

Objetivo: Mejorar la confiabilidad y la eficiencia de los activos mediante la eliminación de fallos que podrían resultar en tiempos de inactividad.

Aplicación: Ideal para sistemas complejos donde la seguridad y la eficiencia son esenciales, como en la industria aeronáutica, energética e industrial.

-MSG-3 (Maintenance Steering Group-3)

El MSG-3 es una herramienta específica para la industria aeroespacial y es utilizada para desarrollar programas de mantenimiento basados en la confiabilidad de los sistemas, siguiendo una metodología detallada y rigurosa.

Objetivo: Proveer pautas para el diseño de programas de mantenimiento que maximicen la seguridad y la eficiencia operativa.

Aplicación: Utilizado en la industria aeronáutica para gestionar el mantenimiento preventivo y predictivo, así como para definir intervalos de inspección y reemplazo de componentes.

-SAE-JA 1011

El SAE-JA 1011 es una guía específica desarrollada por la Sociedad de Ingenieros de Automoción (SAE), diseñada para evaluar la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad (RAM) de sistemas complejos.

Objetivo: Establecer un marco para la evaluación objetiva de la confiabilidad, disponiendo métricas y análisis que apoyen la gestión de mantenimiento en proyectos complejos.

Aplicación: Utilizado en proyectos de ingeniería complejos, como en la industria automotriz y de manufactura, donde la gestión del ciclo de vida de los sistemas es crucial.

Normativa ISO 31010 en Gestión de Riesgos

La ISO 31010 establece directrices para la gestión de riesgos y cómo herramientas como FMEA, RCM, MSG-3 y SAE-JA 1011 deben integrarse en este marco.

2.2.4 Diagrama de Pareto

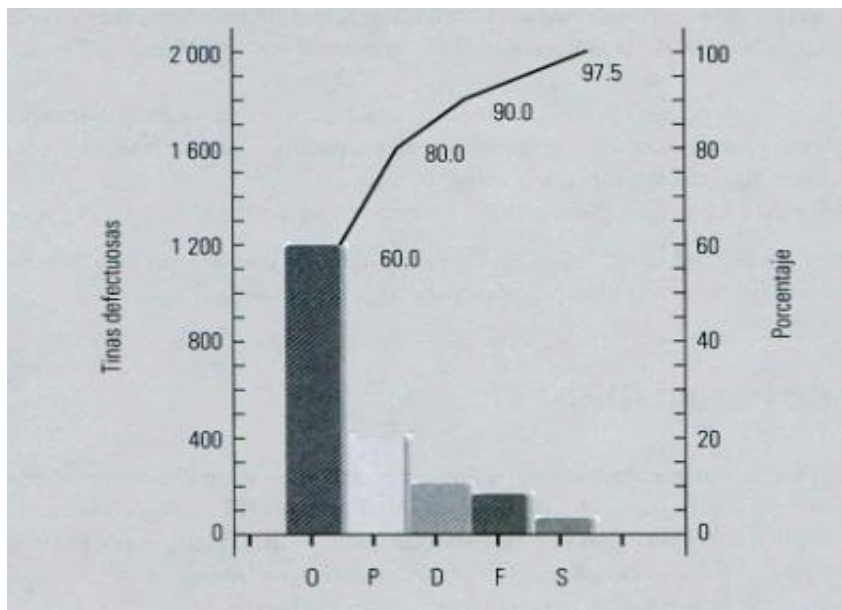


Ilustración 2.3: Grafico Diagrama de Pareto

Fuente: Libro calidad y productividad, Gutiérrez Pulido, Humberto, 2014

Un diagrama de Pareto debe su nombre a Vilfredo Pareto.

(Gutiérrez Pulido, Humberto 2014) Indica que el diagrama se sustenta en el llamado principio de Pareto “ley 80-20” o “pocos vitales, muchos triviales”, el cual reconoce que solo unos pocos elementos (20%) generan la mayor parte del defecto (80%), el resto genera muy poco defecto total. De la totalidad de los problemas de una organización, solo unos cuantos son importantes.

esta técnica se basa en el principio de Pareto o regla 80/20, la cual establece una relación de correspondencia entre los grupos 80-20, donde el 80 % de las consecuencias provienen del 20 % de las causas, entonces, la función del diagrama de Pareto es que las empresas puedan reconocer cuáles son las necesidades más importantes a las que debería dirigir sus esfuerzos y no malgasten recursos en asuntos poco relevantes, de ahí la importancia de siempre hacer un análisis de datos.

2.2.5 Diagrama de flujo de procesos

El diagrama de flujo de procesos es una representación gráfica de la secuencia de los pasos o actividades de un proceso. A través de este diagrama se ve en que consiste el proceso y como se relacionan las diferentes actividades (Gutiérrez Pulido, Humberto,2014 P.213)

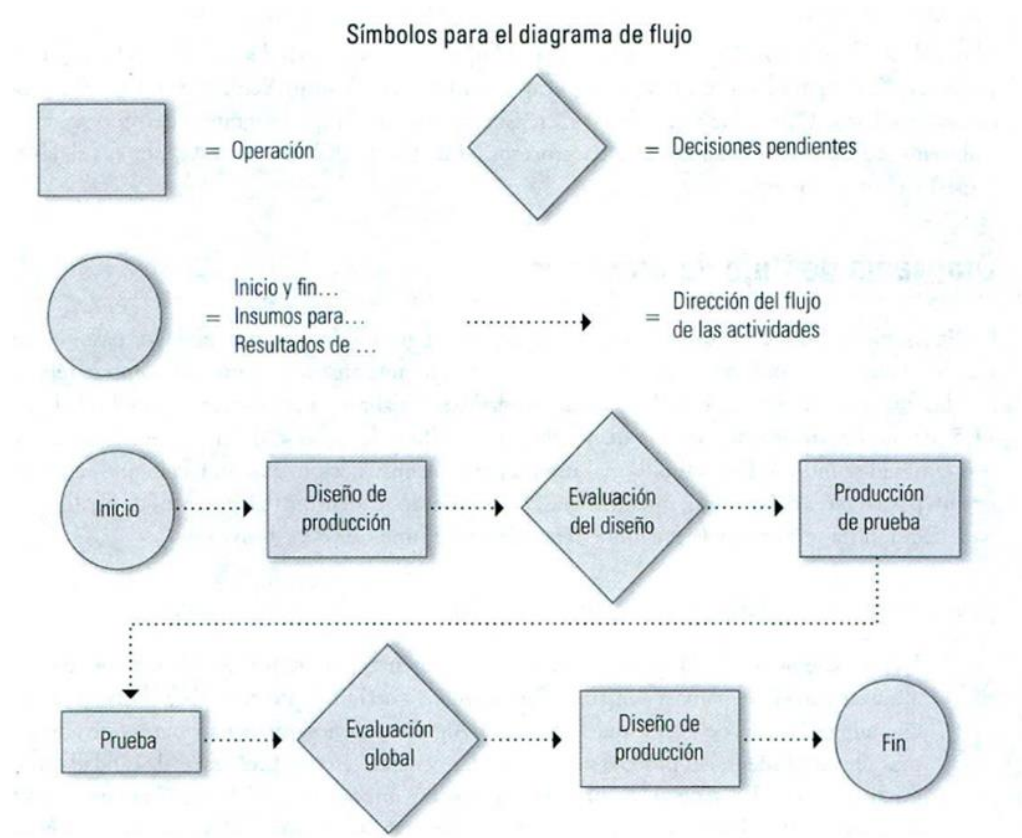


Ilustración 2.4: Diagrama de reflujo de procesos

Fuente: Libro calidad y productividad, Gutiérrez Pulido, Humberto,2014

2.2.6 Grafico de barras

Una gráfica de barras tiene barras rectangulares con longitudes proporcionales a los valores que representan, las gráficas de barras se utilizan para comparar dos o más valores, las barras pueden ser horizontales o verticales.

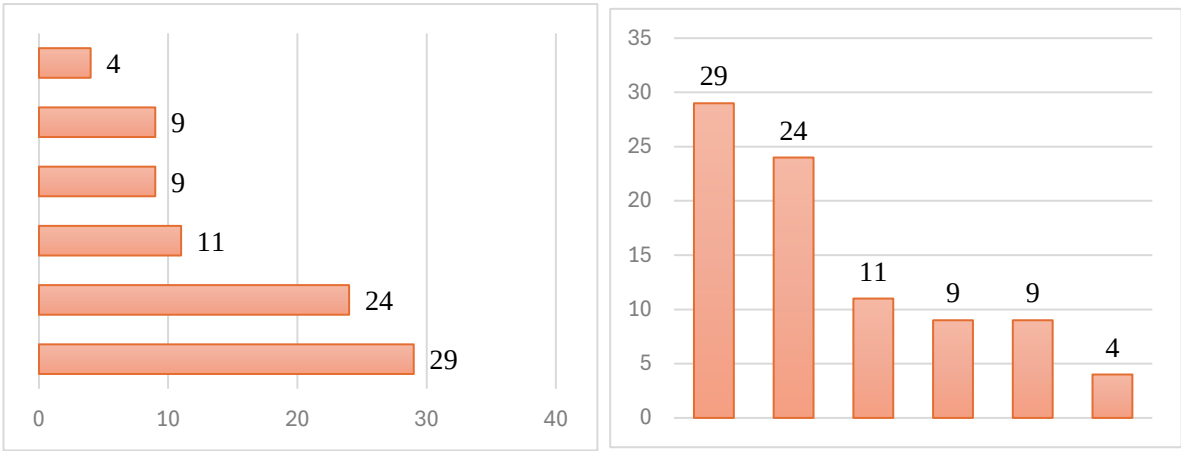


Ilustración N°2.5: Grafico de barras

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 3: DESARROLLO

3.1 DIAGNOSTICO DEL PROCESO ACTUAL

La empresa se encuentra actualmente en una situación crítica en cuanto a la gestión de sus activos. Las máquinas operativas presentan fallas recurrentes lo que ha llevado a paradas prolongadas durante la producción, este problema no solo afecta la eficiencia operativa, sino que también impacta directamente en la capacidad productiva y en la rentabilidad de la empresa, las reparaciones se llevan a cabo únicamente cuando los equipos han fallado por completo, este enfoque reactivo resulta ineficiente ya que las paradas no planificadas generan interrupciones en el flujo de trabajo, lo que puede dar lugar a retrasos en la entrega de productos y a la insatisfacción del cliente.

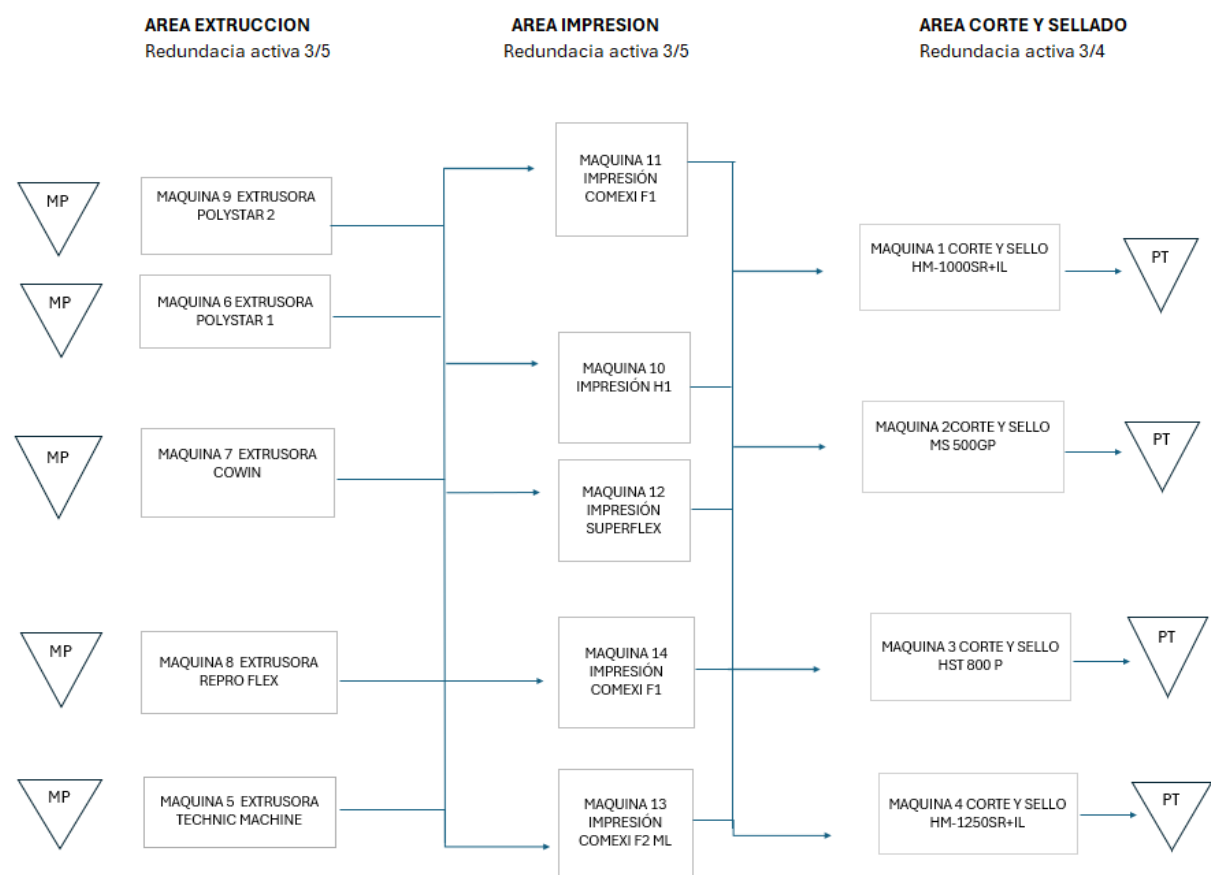


Imagen N°3.10: Diagrama Funcional
Fuente: Elaboración propia información interna de la empresa en estudio.

El proceso de producción de bolsas plásticas se divide en tres etapas clave: extrusión, impresión y corte/sellado, así cómo funciona cada una de estas etapas y su interdependencia:

1. Extrusión:

Función: En la extrusión, cinco máquinas se encargan de transformar la materia prima en film. Este film es el material base que se utilizará en las etapas siguientes.

Dependencia: La extrusión es la primera etapa y es crucial porque el film generado es necesario para las otras etapas. Si no hay un flujo continuo de film desde esta área, la producción en las etapas posteriores (impresión y corte/sellado) no puede continuar.

Redundancia activa: Se considera funcional si cumple al menos 3 de 5 condiciones operativas. Esto asegura que, incluso si alguna de las máquinas presenta fallas, el proceso pueda seguir funcionando.

2. Impresión:

Función: La impresión es opcional, y se utiliza solo cuando el cliente solicita que el film lleve diseños. El film puede pasar por uno de cinco equipos de impresión.

Dependencia: Si el film requiere impresión, debe pasar por esta etapa antes de continuar a corte y sellado. Si no es necesario imprimir, el film se salta esta etapa y pasa directamente de extrusión a corte y sellado.

Redundancia activa: Funciona si cumple al menos 3 de 5 condiciones. Esto asegura que la etapa de impresión pueda seguir operativa incluso si algunas máquinas tienen fallas.

3. Corte y Sellado:

Función: El film (impreso o sin imprimir) llega a la etapa final, donde se transforma en bolsas plásticas mediante corte y sellado. Esta área está formada por cuatro máquinas que son responsables de entregar el producto terminado (PT).

Dependencia: La producción en corte y sellado depende del flujo continuo de film que viene de extrusión (o de impresión, si el film fue impreso). Si el film no está disponible, la producción se detiene.

Redundancia activa: Funciona si cumple al menos 3 de 4 condiciones, lo que permite que la etapa siga operativa, aunque algunas máquinas puedan tener problemas.

En resumen, la extrusión es la etapa crítica inicial que alimenta a las siguientes etapas (impresión y corte/sellado) con film. La redundancia activa asegura que el proceso siga funcionando a pesar de posibles fallas en algunas máquinas de cada área.

3.2 TABULACION DE DATOS VARIABLES TIEMPO (T) Y TIEMPO DE REPARACIONN(TR)

T: Tiempo de Operación Representa el tiempo total durante el cual la máquina está funcionando efectivamente, produciendo según su capacidad máxima en el proceso productivo. Este tiempo incluye todas las horas en que la máquina está disponible para trabajar, descontando cualquier tiempo dedicado a mantenimiento, reparación o inactividad.

TR: Tiempo de Reparación Es el tiempo necesario para corregir fallas, desde la detección del problema hasta que la máquina está completamente restaurada para su operación, esto incluye no solo los minutos o horas empleados para reparar la máquina, sino también cualquier tiempo adicional necesario para ajustes, calibraciones o pruebas post-reparación.

Construcción de Variables:

Tiempo de Operación (T) se calcula en base a los minutos disponibles de un periodo específico.

Las maquinas operan las 24 horas del día 7 días a la semana, los 365 días al año.

Calculo: $T=525,600\text{minutos/año}$ ($365\text{ días} \times 24\text{ horas}$).

Tiempo de Reparación (tr), se registra el total de minutos o horas en los que la máquina está fuera de servicio debido a mantenimiento correctivo o reparaciones, estos dos parámetros permiten analizar tanto la eficiencia operativa de la máquina como los impactos negativos de fallas y tiempos de reparación en el proceso productivo.

3.3 SELECCIÓN DE LA MAQUINA CRITICA

La selección de la máquina crítica dentro del sistema productivo se basa en el análisis de disponibilidad, evaluando los tiempos de operación y reparación de cada máquina, este análisis ayuda a identificar el equipo que tiene el mayor impacto en la eficiencia global de la planta y la etapa a la que pertenece.

Mediante la información recolectada con el historial de fallas sacaremos el MTTR y el MTBF.

Una vez que obtenidas todas las fallas, número de paradas, tiempos de detención se calculara los indicadores de mantenimiento, como el tiempo promedio que tardamos en reparar los equipos (MTTR), el tiempo promedio que funcionan antes de fallar (MTBF)

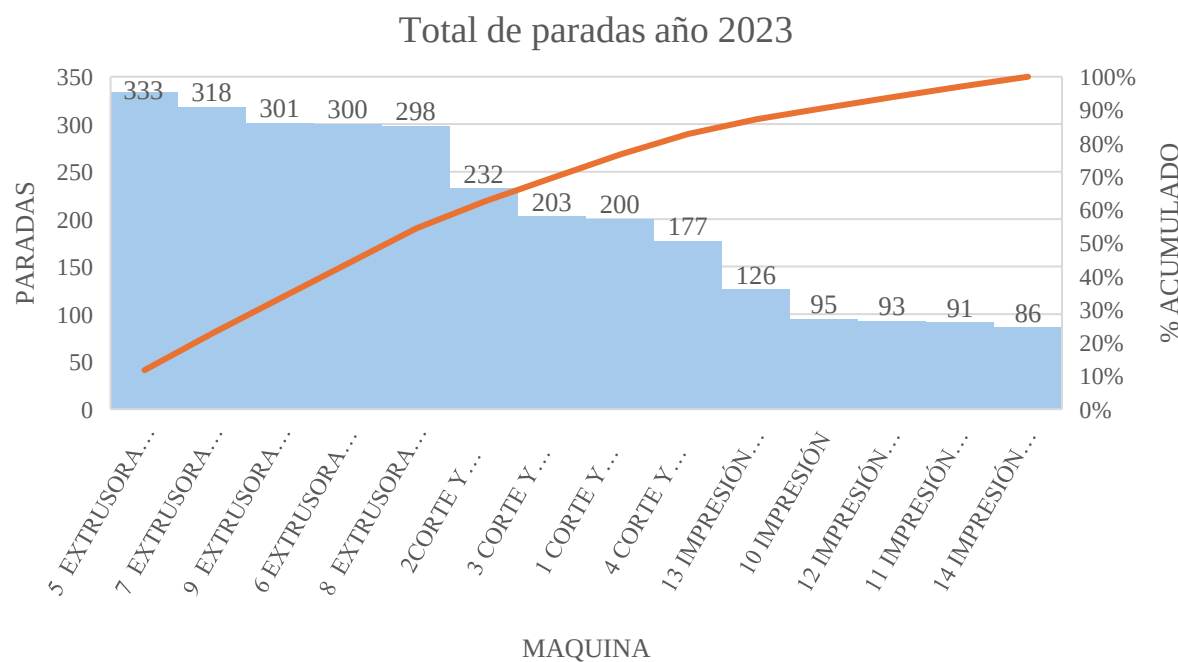


Ilustración N°3.6: Grafico historial de fallas año 2023
Fuente: Elaboración propia información interna de la empresa en estudio.

El grafico muestra que las extrusoras concentran la mayoría de las paradas, con la Extrusora Technic Machine liderando con 333 paradas. El eje vertical izquierdo indica el número de paradas por máquina, mientras que el eje derecho refleja el porcentaje acumulado de las paradas totales.La línea naranja evidencia que unas pocas máquinas (las primeras 6, principalmente extrusoras) representan cerca del 80% de las paradas, siguiendo la regla del 80/20, esto sugiere que priorizar mejoras en estas máquinas tendrá el mayor impacto en la disponibilidad general del sistema.

3.3.1 Disponibilidad de Cada Máquina

MAQUINA	MTTR	MTBF
10 IMPRESIÓN H1	[165]	[1275]
11 IMPRESIÓN COMEXI F1	[218]	[1222]
12 IMPRESIÓN SUPERFLEX	[219]	[1269]
13 IMPRESIÓN COMEXI F2 ML	[171]	[1303]
14 IMPRESIÓN COMEXI F1	[236]	[1203]

Tabla N°3.5: MTTR MTBF Calculo impresión
Fuente: Elaboración propia información interna de la empresa en estudio.

MAQUINA	MTTR	MTBF
5 EXTRUSORA TECHNIC MACHINE	[329]	[1035]
6 EXTRUSORA POLYSTAR 1	[368]	[1056]
7 EXTRUSORA COWIN	[344]	[1095]
8 EXTRUSORA REPRO FLEX	[321]	[1104]
9 EXTRUSORA POLYSTAR 2	[346]	[1093]

Tabla N°3.6: MTBF MTTR Calculo extruccion
Fuente: Elaboración propia información interna de la empresa en estudio.

MAQUINA	MTTR	MTBF
1 CORTE Y SELLO HM-1000SR+IL	[149]	[1291]
2CORTE Y SELLO MS 500GP	[207]	[1233]
3 CORTE Y SELLO HST 800 P	[162]	[1278]
4 CORTE Y SELLO HM-1250SR+IL	[151]	[1289]

Tabla N°3.7: MTTR MTBF Calculo corte y sellado
Fuente: Elaboración propia información interna de la empresa en estudio.

Una vez evaluados estos dos indicadores de rendimiento, calcularemos la disponibilidad de cada máquina. Para calcular este indicador, utilizamos los parámetros MTBF (Mean Time Between Failures), que es el tiempo promedio que la máquina opera sin fallas, y el MTTR (Mean Time To Repair), que es el tiempo promedio que tarda en repararse tras una falla.

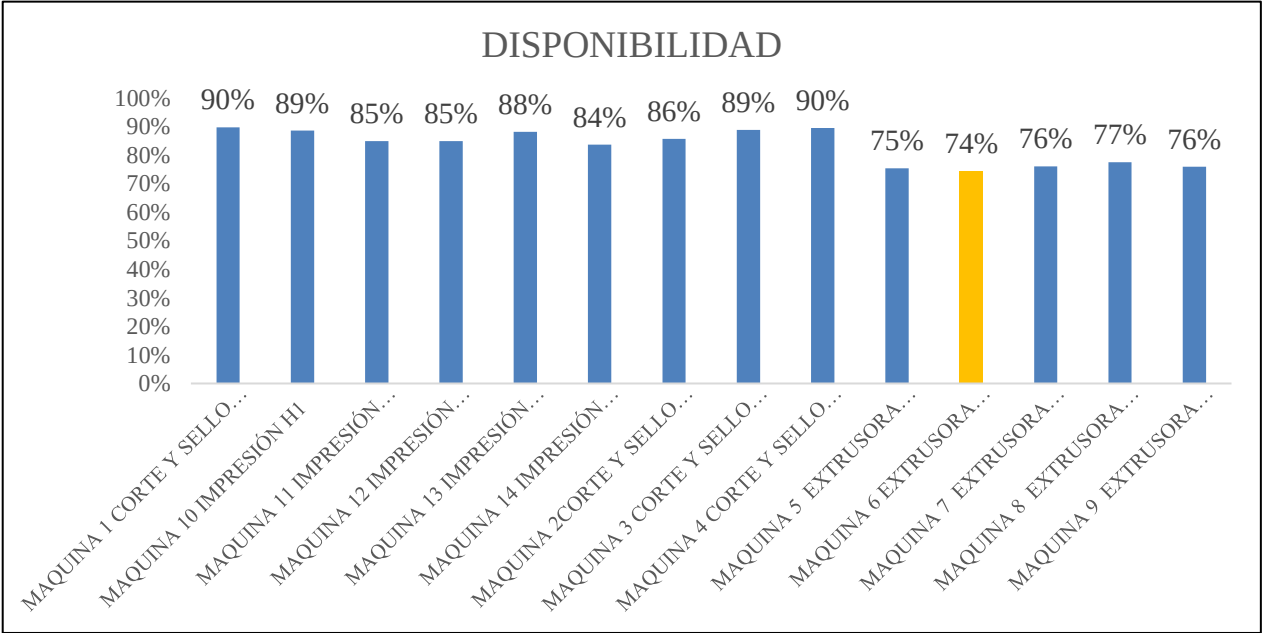


Ilustración N° 3.7: Grafico de barras Disponibilidad de maquinas
Fuente: Elaboración propia información interna de la empresa en estudio.

Las máquinas de extrusión en general muestran una disponibilidad baja en comparación con las otras áreas (impresión y corte/sellado), con un rango de disponibilidad entre 74% y 77%. La principal causa de esta baja disponibilidad son los altos MTTR (tiempo de reparación), que están afectando gravemente el tiempo operativo de estas máquinas. Además, la frecuencia de fallas (MTBF) también es relativamente alta en estas máquinas, lo que contribuye a la falta de productividad.

3.3.2 Disponibilidad de Cada Etapa

La disponibilidad de cada etapa se calcula tomando en cuenta el rendimiento de los escenarios funcionales y sus probabilidades, para cada área se obtiene un valor promedio de disponibilidad de acuerdo con los escenarios considerados "funcionales" (aquellos que cumplen con al menos 3 de 5 o 3 de 4 condiciones).

Disponibilidad por Etapa (Extrusión, Impresión, Corte):

Para calcular la disponibilidad de cada etapa, se utiliza la probabilidad de cada escenario funcional.

1. Extrusión:

Los escenarios de extrusión (como el escenario a, b, c, etc.) tienen un valor asignado (probabilidad de disponibilidad) que indica cuán probable es que cada uno de esos escenarios funcione, según las condiciones dadas (cumplir con 3 de 5).

Para calcular la disponibilidad de extrusión, sumas las probabilidades de los escenarios que son funcionales (aquellos que cumplen con 3 de 5 condiciones) y luego obtienes el valor promedio ponderado.

La disponibilidad total de extrusión es el valor obtenido de los escenarios funcionales, **90,66%**.

2. Impresión:

Para impresión, se analizan los escenarios que son funcionales (cumplen con al menos 3 de 5 condiciones).

La disponibilidad se calcula sumando las probabilidades de los escenarios funcionales para impresión y obteniendo el promedio ponderado.

El valor total de disponibilidad de impresión es, **97,88%**.

3. Corte y Sellado:

Los escenarios funcionales para corte son aquellos que cumplen con al menos 3 de 4 condiciones.

Se suman las probabilidades de esos escenarios funcionales y luego se obtiene el valor promedio ponderado.

El valor total de disponibilidad es **93,14%**

La disponibilidad de cada etapa del proceso fue calculada considerando la contribución de cada escenario evaluado, basada en el desempeño de las máquinas involucradas. Para obtener la disponibilidad total, se multiplicó la disponibilidad de cada máquina correspondiente por cada escenario.

3.3.3 Disponibilidad de la Planta

Para determinar la disponibilidad general de la planta, se multiplican las disponibilidades individuales de cada etapa del proceso: extrusión, impresión y corte y sellado, la disponibilidad total se obtiene multiplicando estas cifras, todas las etapas trabajan en conjunto y, si alguna falla, afecta al sistema completo.

$$\text{Disponibilidad Total} = 0,9066 \times 0,9788 \times 0,9314 = 0,8282 (82,82\%)$$

La planta completa está disponible y funcionando el 82,82% del tiempo, el 17,18% del tiempo está inactiva, lo que se debe principalmente a fallas o paradas en alguna de esta etapa, la disponibilidad más baja en el sistema afecta mucho el desempeño total, en este caso, la etapa de extrusión tiene la menor disponibilidad (90,66%), y la máquina con menor disponibilidad es la máquina 6 EXTRUSORA POLYSTAR 1

Esta etapa tiene un impacto significativo en la operación general, mejorar esta etapa, reduciendo tiempos de reparación o fallas frecuentes, podría aumentar considerablemente la disponibilidad de toda la planta.

3.4 DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS DE UNA EXTRUSORA

N°	Sistema	Descripción
1	Extrusor	Es el componente principal que funde el material plástico y lo empuja hacia adelante a través de un molde para darle la forma deseada.
2	Dosificador	Controla la cantidad de material que se introduce en la extrusora, asegurando una alimentación constante y precisa de la mezcla.
3	Horno	Se utiliza para calentar el material después de la extrusión, permitiendo que se alcance la temperatura adecuada para su procesamiento o formación en la siguiente etapa.
4	Extracción de Scrap	Sistema que recoge y retira el material sobrante o defectuoso que se genera durante el proceso de extrusión,
5	Calandria y Tina	La calandria es un conjunto de rodillos que estiran y prensan el material extruido, mientras que la tina enfría el material, asegurando que se solidifique en la forma adecuada.
6	Estirado y Templado	Sistema que estira el material extruido para darle las propiedades físicas deseadas (como resistencia y flexibilidad) y lo enfría controladamente para mantener esas propiedades.
7	Refrigeración	Enfriamiento del material extruido para que se estabilice y conserve su forma, utilizando aire o agua para reducir la temperatura rápidamente.
8	Aceite Caliente	Mantiene la temperatura ideal en diversas partes del sistema mediante un circuito cerrado de aceite que asegura una lubricación y temperatura constante en la maquinaria.
9	Eléctrico	Sistema encargado de suministrar y controlar la energía eléctrica a todos los componentes de la extrusora, asegurando su correcto funcionamiento.

Tabla N°3.8: descripción de los sistemas.

Fuente: *Elaboración propia información interna de la empresa en estudio.*

3.5 APLICACIÓN DEL FMEA

3.5.1 Determinar los sistemas críticos

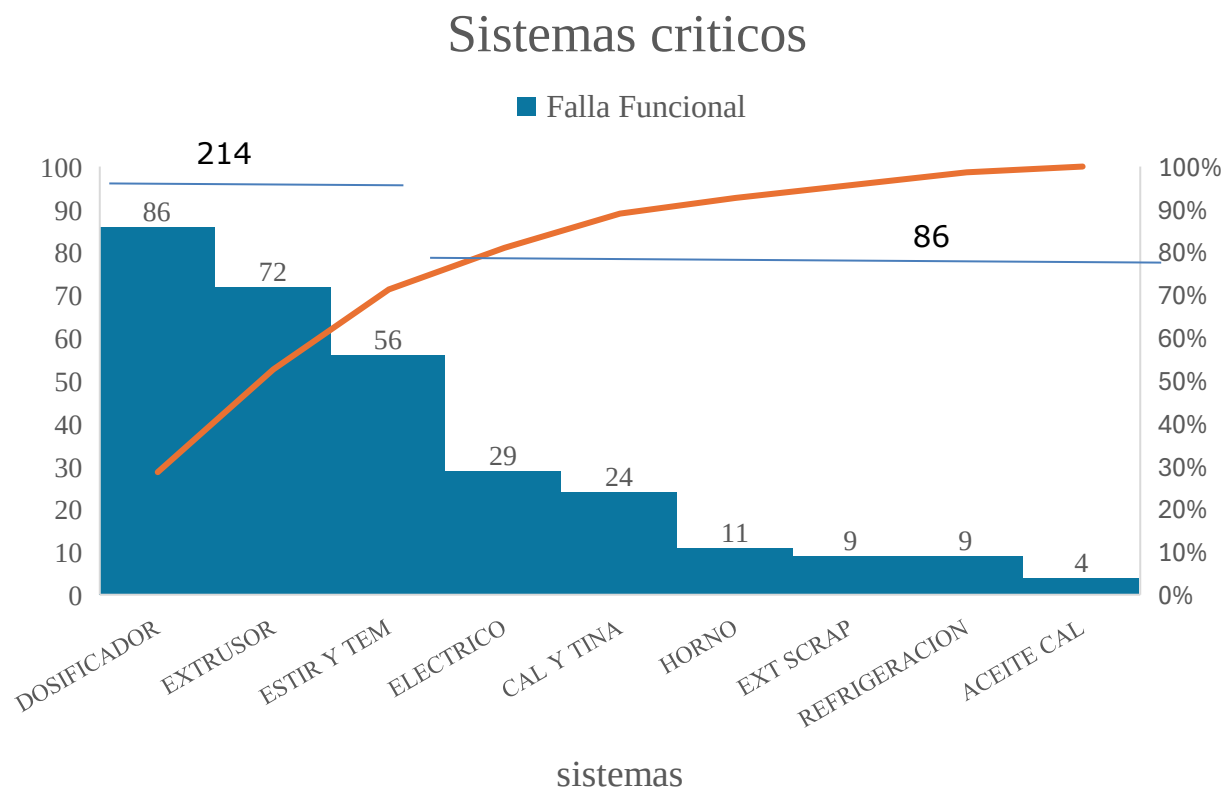


Ilustración N°3.8: Grafico Pareto sistemas críticos

Fuente: Elaboración propia información interna de la empresa en estudio.

La extrusora cuenta con 9 sistemas principales, de los cuales se han identificado como más críticos los sistemas de dosificación, extrusión y estirado y templado, por lo tanto, el análisis de modos y efectos de fallas (FMEA) se centrará específicamente en estos sistemas críticos para priorizar las mejoras y mitigar riesgos que puedan afectar significativamente el rendimiento y la disponibilidad de la máquina.

En total, estos tres sistemas concentran 214 fallas reportadas. Si se logran eliminar dichas fallas, el número de fallas restantes, correspondientes a los otros sistemas de la extrusora, se reduciría a 86 fallas

3.5.2 Identificar los componentes de los sistemas

Componente	Función
Tolva de Alimentación	Suministrar el material al sistema dosificador de manera constante y controlada, asegurando un flujo uniforme.
Sensor de Flujo	Medir el flujo de material de manera precisa y constante para asegurar que se entregue la cantidad adecuada.
Cuerpo del Dosificador	Distribuir de manera constante la cantidad adecuada de material al sistema.
Motor/Accionador	Accionar el mecanismo para dosificar el material en la cantidad correcta.
Válvulas	Regular el flujo del material de acuerdo con las necesidades del proceso.
Controles Electrónicos	Controlar y regular el funcionamiento de los sistemas de dosificación de manera automática.
Tuberías	Transportar el material entre componentes del sistema dosificador.
Interruptores de Nivel	Monitorear el nivel de material dentro del sistema de dosificación y detener el flujo cuando es necesario.

Tabla N°3.9: Componentes del sistema dosificador
Fuente: Elaboración propia información interna de la empresa en estudio.

Componente	Función
Motor principal	Impulsar movimiento a la caja reductora, que a su vez ajusta la velocidad y el torque necesarios para el correcto funcionamiento del tornillo del extrusor.
Cardan	Transmitir movimiento del motor hacia el reductor
Caja reductora principal	Reducir la velocidad del motor para ajustar el torque necesario del husillo del extrusor.
Husillo extrusor	Mezclar uniformemente el polipropileno
Camisa extrusora	Contener el polipropileno durante el proceso de extrusión.
Resistencias de calentamiento	Generan el calor necesario para fundir el plástico, manteniendo temperaturas adecuadas para el proceso de extrusión.
Cabezal extrusor (dado)	Laminar el polipropileno fundido
Termocuplas	Medir la temperatura de la camisa extrusora y del cabezal para asegurar la regulación térmica adecuada.

Componente	Función
Cilindros de Estiramiento	Estirar el film plástico extruido para lograr el espesor y características mecánicas deseadas
Ventiladores	Regulan la temperatura del film extruido mediante enfriamiento controlado.
Anillo de Aire	Estirar el film plástico extruido para lograr el espesor y características mecánicas deseadas

Tabla N°3.10: Componentes del sistema extrusor

Fuente: Elaboración propia información interna de la empresa en estudio.

Componente	Función
Motorreductor de estirado	Hacer girar los rodillos estándares y calientes
Motorreductor de templado	Hacer girar los rodillos fríos
Rodillos cromados	Estiran y templan el material uniformemente
Controlador de Tensión	Regula la tensión del material durante el proceso.

Tabla N°3.11: Componentes del sistema estirado y templado

Fuente: Elaboración propia información interna de la empresa en estudio.

3.5.3 Fallas funcionales por sistema

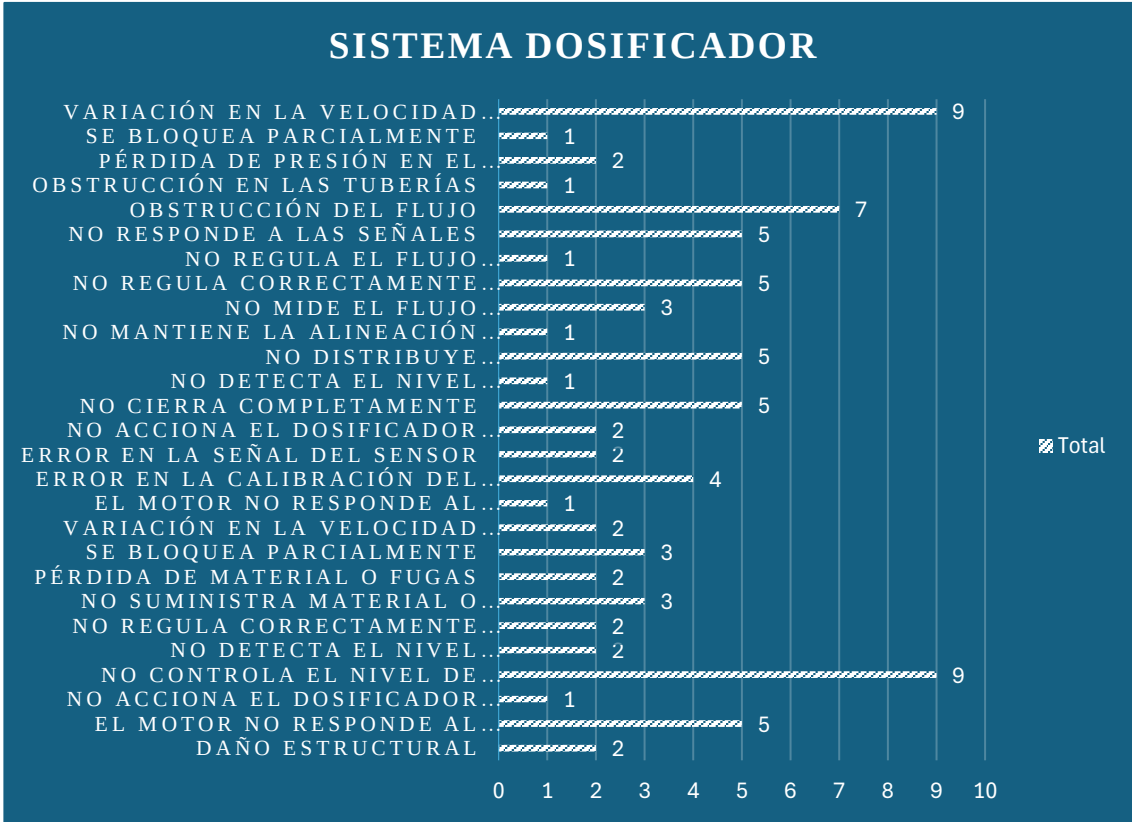


Ilustración N°3.9: Grafico de barras falla funcional sistema dosificador

Fuente: Elaboración propia información interna de la empresa en estudio.

El análisis de fallas del sistema dosificador revela un total de 86 incidentes distribuidos en 22 tipos de fallas, siendo las más críticas aquellas relacionadas con el control del nivel de material (9), la variación en la velocidad de dosificación (9) y la obstrucción del flujo (7). Las principales causas incluyen la falta de calibración, acumulación de residuos en las líneas y fallas eléctricas o mecánicas.



Ilustración N°3.10: Grafico de barras falla funcional sistema estirado y templado
Fuente: Elaboración propia información interna de la empresa en estudio.

El sistema de Estirado y Templado es crucial para garantizar la calidad del material en el proceso de extrusión, se identificaron 56 fallas, principalmente relacionadas con el control de tensión, uniformidad del material y problemas mecánicos, las fallas más críticas incluyen: No asegura la uniformidad en el estirado (15 casos), No detectar variaciones en la tensión (7 casos) y No regula la tensión adecuada del material (6 casos), también se reportaron problemas mecánicos como Fugas de lubricante (4 casos), Recalentamiento del motor y Excesiva vibración, además de fallas en la sincronización con otros sistemas

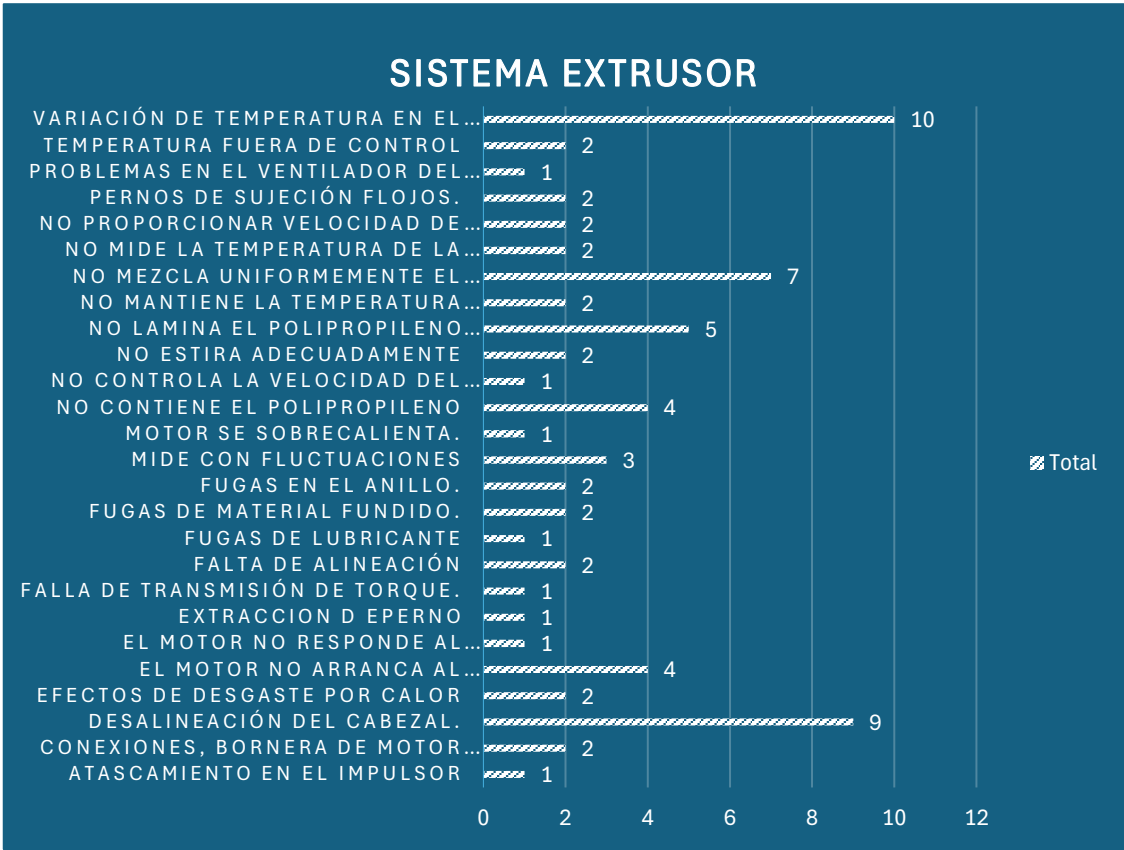


Ilustración 3.11: Grafico de barras falla funcional sistema extrusor

Fuente: Elaboración propia información interna de la empresa en estudio.

Las principales fallas se relacionan con variación de temperatura en el cabezal (10 casos), desalineación del cabezal (9 casos) y falta de mezcla uniforme del polipropileno (7 casos), estas deficiencias afectan la estabilidad del proceso y la consistencia del material extruido.

3.5.4 Establecer criterios

Esta tabla describe tres criterios importantes para analizar y evaluar riesgos en un sistema o máquina. Cada criterio tiene cinco niveles de evaluación, desde muy bajo (1) hasta muy alto (5), y estos niveles ayudan a determinar la gravedad, la frecuencia y la detectabilidad de un fallo.

El RPD (Índice de Prioridad de Riesgo, o RPN en inglés) se obtiene multiplicando las puntuaciones de los tres criterios: Gravedad, Frecuencia y Detectabilidad.

RPD=Gravedad×Frecuencia×Detectabilidad

Paso a paso:

Gravedad: Asigna una puntuación de 1 a 5 según el impacto que tiene el fallo en el sistema (donde 1 es "muy baja" y 5 es "muy alta").

Frecuencia: Asigna una puntuación de 1 a 5 según la probabilidad de que el fallo ocurra (donde 1 es "muy baja" y 5 es "muy alta").

Detectabilidad: Asigna una puntuación de 1 a 5 según lo fácil o difícil que es detectar el fallo antes de que cause daño (donde 1 es "muy fácil" y 5 es "muy difícil").

Luego, multiplicas los valores de los tres criterios:

Criterio	1 (Muy baja o Imposible)	2 (Baja o Remoto)	3 (Moderada u Ocasional)	4 (Alta o Frecuente)	5 (Muy alta o frecuente)
Gravedad	No afecta el funcionamiento de la máquina	Ligero inconveniente, sin impacto significativo	Produce insatisfacción, afecta el rendimiento	Crítico, puede inutilizar el sistema	Afecta gravemente el funcionamiento, detiene producción
Frecuencia	Ningún fallo esperado en procesos similares	Fallos aislados, poco probable	Puede ocurrir algunas veces en la vida útil	Ha ocurrido con regularidad en el pasado	Fallo casi inevitable, ocurrirá frecuentemente
Detectabilidad	Muy obvio, fácil de detectar con controles existentes	Fácilmente detectable, pero podría escapar inicialmente	Detectable en etapas finales de producción	Difícil de detectar con procedimientos actuales	Indetectable, solo perceptible después del impacto

Tabla N°3.12: Criterios

Fuente: Creus Solé, Antonio, *Fiabilidad y seguridad de procesos industriales* 2005.

Este criterio establece que las fallas con un NPR igual o superior a 70 se consideran de alta prioridad (Prioridad 1), aquellas con un NPR entre 14 y 70 tienen prioridad media (Prioridad 2), y las fallas con un NPR igual o menor a 14 son baja prioridad (Prioridad 3).

Nivel	Valor del NPR	Prioridad
Critico	$NPR \geq 70$	1
Moderadamente critica	$14 < NPR < 70$	2
Menos critica	$NPR \leq 14$	3

Tabla N°3.13-. Rango de ponderación

Fuente: Elaboración propia.

3.5.5 Calculo criticidad

En los tres sistemas, las fallas más críticas están relacionadas con la detención completa del proceso productivo, lo que subraya la importancia de un mantenimiento para evitar paradas imprevistas y mitigar los costos asociados.

3.6 PONDERACIONES SISTEMA DOCIFICADOR

El análisis de las fallas identificadas en los equipos muestra que varias de ellas tienen un NPR (Número de Prioridad de Riesgo) elevado, lo que las clasifica como críticas, éstas fallas, con un NPR de 70 o más, incluyen problemas que pueden detener la producción, afectar gravemente el funcionamiento del sistema o causar daños al equipo, por otro lado, las fallas con un NPR entre 14 y 70 se clasifican como moderadamente críticas, aunque no son tan urgentes, deben ser gestionadas adecuadamente para evitar que empeoren.

Efecto de la falla	NPR	Criticidad
Falta de suministro de material; interrupción del proceso.	36	Moderadamente crítica
Flujo inconsistente; posibles fallas en la calidad del producto.	36	Moderadamente crítica
Interrupciones en la operación	24	Moderadamente crítica
Posibles atascos	27	Moderadamente crítica
Falta de control en la alimentación	32	Moderadamente crítica
Operación ineficiente; variación en la calidad.	24	Moderadamente crítica
Interrupciones y paradas del proceso.	75	Crítica
Interrupciones del flujo de material; posible daño al equipo.	60	Moderadamente crítica
Desbordamiento; posibles paradas de emergencia.	27	Moderadamente crítica
Problemas de flujo; alteración en la consistencia del proceso.	32	Moderadamente crítica
Pérdida de eficiencia y material; necesidad de mantenimiento.	40	Moderadamente crítica

Efecto de la falla	NPR	Criticidad
Medición incorrecta; posible interrupción del proceso.	36	Moderadamente crítica
Pérdida de precisión en la medición.	36	Moderadamente crítica
Datos erróneos o falta de medición.	24	Moderadamente crítica
Datos inconsistentes; errores de control.	50	Moderadamente crítica
Disminución de la precisión.	48	Moderadamente crítica
Mal funcionamiento; necesidad de reemplazo.	20	Moderadamente crítica
Bloqueo parcial; medición imprecisa.	27	Moderadamente crítica
Imposibilidad de regular adecuadamente.	75	Crítica
Fluctuaciones en el control de flujo.	48	Moderadamente crítica
Ineficiencia en la operación.	20	Moderadamente crítica
Medición obstruida; potenciales fallos.	27	Moderadamente crítica
Fallo en la distribución; proceso ineficaz.	40	Moderadamente crítica
Bloqueos y detenciones del proceso.	36	Moderadamente crítica
Reducción en la eficiencia del dosificador.	45	Moderadamente crítica
Necesidad de reparación; paradas del sistema.	45	Moderadamente crítica
Paradas en el suministro de material.	45	Moderadamente crítica
Interrupciones en el proceso de dosificación.	45	Moderadamente crítica
Flujo irregular; pérdida de control.	36	Moderadamente crítica
Falta de respuesta y operación del motor.	48	Moderadamente crítica

Efecto de la falla	NPR	Criticidad
Flujo irregular; posibles atascos.	60	Moderadamente crítica
Pérdida de eficiencia y material.	80	Crítica
Pérdida de presión; fallos en el control.	80	Crítica
Problemas en la regulación.	36	Moderadamente crítica
Fallo en la función de cierre.	30	Moderadamente crítica
Descontrol en el proceso de dosificación.	80	Crítica
Ajustes incorrectos; fallos operacionales.	60	Moderadamente crítica
Interrupción de la operación.	80	Crítica
Falta de respuesta y control remoto.	45	Moderadamente crítica
Imposibilidad de interactuar con el sistema.	48	Moderadamente crítica
Pérdida de eficiencia; posibles paradas.	80	Crítica
Pérdida de material; necesidad de reparación.	80	Crítica
Riesgo de rupturas y fallos en la operación.	48	Moderadamente crítica
Parada de emergencia; posible daño al equipo.	80	Crítica
Filtraciones y deterioro de las tuberías.	36	Moderadamente crítica
Falta de control sobre el nivel de material.	60	Moderadamente crítica
Inconsistencias en la medición.	36	Moderadamente crítica
Datos incorrectos o falta de medición.	48	Moderadamente crítica
Lecturas imprecisas; errores en la operación.	60	Moderadamente crítica
Datos inconsistentes; necesidad de ajuste.	32	Moderadamente crítica

Tabla N°3.14: Ponderación sistema codificador

Fuente: Elaboración propia.

3.7 PONDERACIONES SISTEMA EXTRUSOR

Las fallas con un NPR superior a 70 representan fallas críticas, ya que tienen un gran impacto en la producción y pueden causar paradas prolongadas o daños irreversibles en la maquinaria, es necesario priorizar la atención a estas fallas para evitar detenciones en la producción. Las fallas con un NPR entre 14 y menores de 70 deben ser gestionadas, ya que pueden evolucionar hacia fallas más graves. Las fallas con un NPR menor son menos críticas, pero aún requieren monitoreo para evitar que afecten la eficiencia a largo plazo.

Efecto de Falla	NPR	Criticidad
Se detiene la caja reductora y suena la alarma	80	Crítica
Se detiene la caja reductora y suena la alarma	27	Moderadamente crítica
Ruido excesivo y sobrecalentamiento del motor	36	Moderadamente crítica
Ruido excesivo y sobrecalentamiento del motor	13	Menos crítica
Pérdida de eficiencia y daño en el motor.	75	Crítica
Impacto en el rendimiento del motor; posibles interrupciones.	80	Crítica
Se detiene la caja reductora y suena la alarma	80	Crítica
Se detiene la caja reductora y suena la alarma	27	Moderadamente crítica
Transmisión de torque ineficiente y desgaste acelerado.	36	Moderadamente crítica
Aumento de la vibración y posible daño al reductor.	36	Moderadamente crítica
Detención del sistema de transmisión.	80	Crítica
Aumento del ruido y riesgo de falla inminente.	27	Moderadamente crítica
Pérdida de lubricación, riesgo de sobrecalentamiento.	36	Moderadamente crítica
Daño progresivo a los engranajes y estructura interna.	36	Moderadamente crítica
No hace girar el husillo extrusor y suena la alarma	80	Crítica

Efecto de Falla	NPR	Criticidad
No hace girar el husillo extrusor y suena la alarma	80	Crítica
No hace girar el husillo extrusor y suena la alarma	80	Crítica
Acelerado desgaste y riesgo de falla inminente.	36	Moderadamente crítica
Riesgo de quemado del material y pérdida de eficiencia.	48	Moderadamente crítica
No comprime el material	60	Crítica
Deficiencia en la compresión del material	36	Moderadamente crítica
No comprime el material	36	Moderadamente crítica
Fuga de material	27	Moderadamente crítica
Detención del proceso de extrusión.	12	Menos crítica
Perdida de presión en el sistema	36	Moderadamente crítica
Desgaste prematuro de otros componentes del extrusor.	48	Moderadamente crítica
Aumento del desecho de material.	48	Moderadamente crítica
Fuga de material	75	Crítica
Zonas frías en el material, resultando en un calentamiento desigual que afecta la calidad del extruido.	36	Moderadamente crítica
Material tarda en fundirse y se reduce la velocidad	48	Moderadamente crítica
Exceso de calor, que puede dañar la extrusora y afectar la calidad del producto; aumenta el riesgo de incendio.	75	Crítica
La extrusora opera a temperaturas no óptimas, afectando la calidad del film	36	Moderadamente crítica
Material tarda en fundirse y se reduce la velocidad	75	Crítica
Inconsistencias en la extrusión, resultando en productos defectuosos o paradas de producción.	75	Crítica

Efecto de Falla	NPR	Críticidad
Pérdida de material, riesgo de daños por fugas.	48	Moderadamente crítica
Irregularidades en la extrusión y variaciones en la calidad del producto.	36	Moderadamente crítica
Sobrecalentamiento de ciertas áreas, reduce la calidad del producto.	48	Moderadamente crítica
Lamina de material con variación de medidas	75	Crítica
Lamina de material con variación de medidas	6	Menos crítica
Lecturas de temperatura inconsistentes, afectando el control del proceso	48	Moderadamente crítica
La respuesta lenta genera fluctuaciones en la temperatura del proceso	13	Menos crítica
No se regula la temperatura de manera adecuada	48	Moderadamente crítica
No se puede regular la temperatura de la camisa extrusora	75	Crítica
No se puede regular la temperatura de la camisa extrusora	13	Menos crítica
Film con variaciones de espesor y debilidad estructural	75	Crítica
Material no se estira adecuadamente, afectando la calidad del producto	48	Moderadamente crítica
Pérdida de presión y mal funcionamiento de los cilindros	48	Moderadamente crítica
Desgaste desigual del film, causando fallas en el proceso de estiramiento	36	Moderadamente crítica
Dificultad para controlar el proceso de estiramiento, afectando la calidad del film	75	Crítica
Pérdida de eficiencia y calidad del estiramiento	75	Crítica
Dificultad para regular la temperatura del film extruido.	75	Crítica
Pérdida de rendimiento en el enfriamiento.	13	Menos crítica
Ruido excesivo y disminución en la eficiencia del enfriamiento.	12	Menos crítica
Ruido en la zona de extrusión y posible falla del ventilador.	9	Menos crítica

Efecto de Falla	NPR	Criticidad
El film no se enfría correctamente, afectando su calidad.	48	Moderadamente crítica
Pérdida de eficiencia en el enfriamiento del film.	48	Moderadamente crítica
El film puede presentar variaciones en el grosor.	13	Menos crítica
Ineficiencia en el enfriamiento del film.	75	Crítica

Tabla N°3.15: Ponderación sistema extrusor

Fuente: Elaboración propia.

3.8 PONDERACIONES SISTEMA ESTIRADO Y TEMPLADO

Las fallas críticas en el sistema de estirado y templado están principalmente relacionadas con la detención de componentes clave como la caja reductora y los rodillos, el mal funcionamiento de los variadores y la tensión inadecuada del material, estás fallas pueden llevar a paradas de producción prolongadas, pérdida de material y defectos en la calidad del producto, por lo que deben ser priorizadas en el mantenimiento preventivo. Las fallas moderadamente críticas como desgaste, vibraciones y mal funcionamiento de sensores afectan la eficiencia y pueden llevar a un deterioro progresivo si no se gestionan adecuadamente, estas deben ser monitoreadas y corregidas oportunamente para evitar que se conviertan en fallas crítica.

Efecto de Falla	NPR	Criticidad
Se detiene la caja reductora, se rompe la rafia y se atasca	75	Crítica
Elementos atascados impiden el movimiento del motor.	48	Moderadamente crítica
Mal funcionamiento de los sistemas que regulan el motor, como contactores o relés.	36	Moderadamente crítica
Se detiene la caja reductora, se rompe la rafia y se atasca	75	Crítica
Ruido excesivo y sobrecalentamiento del motor	48	Moderadamente crítica
Vibración continua genera tensiones en materiales, llevando a fatiga.	36	Moderadamente crítica
Aumento del desgaste y daños internos.	48	Moderadamente crítica
Descomposición o mal funcionamiento del variador que regula la velocidad del motor.	80	Crítica

Efecto de Falla	NPR	Críticidad
Sensor defectuoso que no reporta correctamente la velocidad al sistema de control.	36	Moderadamente crítica
Se detienen los rodillos, se rompe la rafia y se atasca	75	Crítica
Se detienen los rodillos, se rompe la rafia y se atasca	75	Crítica
Se detienen los rodillos, se rompe la rafia y se atasca	80	Crítica
Pérdida de lubricación, aumentando el desgaste.	48	Moderadamente crítica
Se detiene la caja reductora, se rompe la rafia y se atasca	75	Crítica
Mal funcionamiento de los sistemas que regulan el motor, como contactores o relés, provocando interrupciones.	18	Moderadamente crítica
Interrupción en el funcionamiento del motor, causando paradas y reducción de productividad.	80	Moderadamente crítica
Ruido excesivo y sobrecalentamiento del motor	75	Crítica
Ruido excesivo y posible sobrecalentamiento del motor, lo que reduce su vida útil.	75	Moderadamente crítica
Aumento del desgaste en los componentes, lo que puede resultar en daños internos y fallos.	36	Moderadamente crítica
Causado por la acumulación de suciedad o desgaste irregular, puede provocar una vibración anormal y daños a largo plazo.	45	Moderadamente crítica
Los pernos y fijaciones que sostienen el motor o componentes pueden aflojarse, causando vibraciones adicionales.	36	Moderadamente crítica
Se detienen los rodillos, se rompe la rafia y se atasca	75	Crítica
Descomposición o mal funcionamiento del variador que regula la velocidad del motor	20	Moderadamente crítica
Se detienen los rodillos, se rompe la rafia y se atasca, llevando a paradas significativas en la producción.	80	Crítica
Se detienen los rodillos, se rompe la rafia y se atasca	75	Crítica

Efecto de Falla	NPR	Criticidad
Pérdida de la superficie lisa, generando un estirado desigual	75	Moderadamente crítica
Generación de calor adicional, incremento en consumo de energía y posible daño a la materia	48	Moderadamente crítica
Desviación del material, causando arrugas y problemas en la uniformidad del estirado.	75	Crítica
Riesgo de rotura, paradas no planificadas y posible daño al material en proceso.	75	Crítica
Material flojo o demasiado tenso, causando roturas, arrugas o deformaciones.	75	Crítica
Variación en la tensión durante el proceso, afectando la uniformidad y calidad del material estirado	75	Crítica
Falta de respuesta a cambios en la tensión, provocando roturas o arrugas en el material.	75	Crítica
Tensión inadecuada en distintas fases del proceso, impactando la calidad y provocando desperdicio de material.	75	Crítica

Tabla N°3.16: Ponderación sistema estirado y templado
Fuente: Elaboración propia.

3.9. ANALISIS COMPARATIVO CONSECUENCIAS ANTES Y DESPUES.

En este apartado se detalla el impacto económico si se aplicara el FMEA, focalizándose en los tres sistemas críticos: dosificación, extrusión y estirado y templado. El "Después" representa los resultados al haber identificado y eliminado las principales fallas de estos sistemas, en comparación con la situación "Antes".

DESPUES	
Costo de lo que no se produjo	\$ 9.597.060
Costo mano de obra	\$ 3.698.562
Repuestos	\$1.569.824
Total	\$ 14.865.446
ANTES	
Costo de lo que no se produjo	\$37.354.824
Costo mano de obra	\$11.359.276,19
Repuestos	\$6.169.829,81
Total	\$54.883.930

Tabla N°3.17: costos comparativos
Fuente: Elaboración propia.

Además de los ahorros económicos, se observa un aumento significativo en la disponibilidad de la máquina después de implementar el FMEA. La disponibilidad de la máquina Polystar 1 pasó de 74% a 94%, lo que representa un aumento del 20% en la eficiencia operativa. Este incremento en la disponibilidad refleja la mejora en el rendimiento de la máquina, ya que al reducir las paradas no programadas y optimizar las condiciones operativas, la máquina está disponible para la producción durante un mayor porcentaje de tiempo.

Disponibilidad (%)	Antes	Después	Aumento
	74%	94%	20%

Tabla N°3.18: Estimación disponibilidad de maquina Polystar 1.

Fuente: Elaboración propia.

3.9.1 Estimación de Disponibilidad Futura de la Planta

En el estado actual, la disponibilidad la planta del sistema se encuentra en un 83%, lo que indica que el 17% del tiempo total planificado está siendo afectado por fallas, paradas o mantenimientos no programados.

Con un incremento del 20%, la disponibilidad alcanza 86%.

Nivel de Mejora	Disponibilidad	Impacto
Nivel Inicial	83%	Representa la situación actual del sistema, con un 17%
Con Incremento del 20%	86%	Disponibilidad optimizada.

Tabla N°3.19 estimación disponibilidad de planta

Fuente: Elaboración propia.

3.10 PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

Este informe detalla la propuesta para un plan de mantenimiento basado en el análisis FMEA (Análisis de Modos de Fallo y Efectos). El plan de mantenimiento para la Extrusora Polystar 1 aborda diversas actividades organizadas en función de su frecuencia y los responsables designados para ejecutarlas.

El propósito del plan es establecer un mantenimiento eficiente que permita prevenir fallos críticos y prolongar la vida útil de los componentes esenciales de los sistemas, basándose en el análisis FMEA, se identifican los modos de fallo más significativos y se propone un conjunto de acciones específicas para su mitigación, tal y como se muestra en las Tablas

3.20,3.21 y 3.22, adicionando los componentes y la prioridad de cada actividad, para este último punto emplearemos el NPR determinado en el AMEF donde lo clasificaremos según la Tabla 3.13.

A continuación, se describen cada uno de los componentes de los sistemas, con las actividades propuestas, su prioridad, frecuencia y los encargados de llevarlas a cabo.

	PLAN DE MANTENIMIENTO				
	Máquina:	Sistema:		Fecha:	
	Extrusora Polystar 1	Sistema extrusor		2025	
Componente	Actividad a ejecutar	Prioridad	Frecuencia	A realizarse por	Costo
Motor principal	Verificar el aislamiento del motor	1	4 Meses	Técnico electricista	\$ 80.000
	Verificar y reajustar las conexiones de la bornera	2	3 Meses	Técnico electricista	\$ 120.000
	Cambiar los rodamientos del motor	2	12 Meses	Técnico mecánico	\$ 150.000
	Verificar el estado de las tapas y lubricar	3	12 Meses	Técnico mecánico	\$ 100.000
	Revisar el sistema de refrigeración.	1	6 Meses	Técnico mecánico	\$ 120.000
	Monitorear el suministro eléctrico y realizar pruebas	1	6 Meses	Técnico electricista	\$ 250.000
Cardan	Verificar estado de componentes del cardan	1	1 Mes	Técnico mecánico	\$ 50.000
	Realizar alineación del cardán.	2	6 Meses	Técnico mecánico	\$ 200.000
	Verificar el eje y lubricar si es necesario.	2	6 Meses	Técnico mecánico	\$ 130.000
	Verificar y reemplazar el acople si es necesario.	1	6 Meses	Técnico mecánico	\$ 200.000
	Revisar los rodamientos del cardán	2	12 Meses	Técnico mecánico	\$ 150.000
	Verificar estado de los elementos de fijacion	2	1 Mes	Técnico mecánico	\$ 50.000

Componente	Actividad a ejecutar	Prioridad	Frecuencia	A realizarse por	Costo
Caja reductora principal	Verificar sellos y reemplazar si es necesario.	2	3 Meses	Técnico mecánico	\$ 530.000
	Revisar y cambiar los cojinetes	2	3 Meses	Técnico mecánico	\$ 120.000
	Verificar estado de los dientes	1	6 Meses	Técnico mecánico	\$ 150.000
	Verificar estado de todos los elementos internos	1	6 Meses	Técnico mecánico	\$ 180.000
	Verificar estado de acople	1	2 Meses	Técnico mecánico	\$ 90.000
Husillo extrusor	Verificar estado de husillo	1	2Meses	Técnico mecánico	\$ 90.000
	Revisar y reemplazar los soportes si es necesario.	2	12 Meses	Técnico mecánico	\$ 280.000
	Verificar el estado de lubricación y sellos.	2	2 Meses	Técnico mecánico	\$ 190.000
	Verificar medidas de husillo	2	4 Meses	Técnico mecánico	\$ 100.000
	Realizar limpieza de husillo	2	4 Meses	Técnico mecánico	\$ 85.000
Camisa extrusora	Verificar ajuste de pernos	2	1 Mes	Técnico mecánico	\$ 50.000
	Realizar limpieza regular de la camisa y sus componentes.	3	6 meses	Técnico mecánico	\$ 800.000
	Evaluar si hay daño y reemplazar la camisa si es necesario.	2	6 Meses	Técnico mecánico	\$ 350.000
	Ajustar controles de temperatura	2	6 Meses	Técnico electricista	\$ 90.000
	Verificar y reemplazar juntas defectuosas.	2	12 Meses	Técnico mecánico	\$ 450.000
	Verificar estado de los pernos	1	1 Mes	Técnico mecánico	\$ 50.000
	Verificar medidas de la camisa	2	4 Meses	Técnico mecánico	\$ 80.000
Resistencias de calentamiento	Verificar estado de las borneras, cambiar si lo requiere	2	1 Mes	Técnico electricista	\$ 160.000

Componente	Actividad a ejecutar	Prioridad	Frecuencia	A realizarse por	Costo
	Verificar estado de los terminales, reajustar si lo	1	1 Mes	Técnico electricista	\$ 50.000
					\$ 120.000
	Reemplazar termostato	1	6 Meses	Técnico electricista	\$ 100.000
	Verificar y reemplazar sensor de temperatura	2	5 Meses	Técnico electricista	\$ 200.000
	Cambiar la resistencia	1		Técnico electricista	\$ 90.000
Cabezal extrusor(dado)	Inspeccionar y reemplazar los sellos si es necesario.	1	2 Meses	Técnico mecánico	\$ 120.000
	Alinear el cabezal y verificar los soportes.	2	6 Meses	Técnico mecánico	\$ 330.000
	Realizar limpieza interna del cabezal.	2	4 Meses	Técnico mecánico	\$ 650.000
	Verificar el paralelismo de los labios del cabezal	1	2Meses	Técnico mecánico	\$ 70.000
	Realizar limpieza del cabezal	3	4 Meses	Técnico mecánico	\$ 60.000
Termocuplas	Limpiar y revisar la conexión de la termocupla	2	5 Meses	Técnico electricista	\$1.350.000
	Sustituir termocupla si se detecta envejecimiento	3	12 Meses	Técnico electricista	\$ 160.000
	Inspeccionar y reemplazar cableado dañado	2	6 Meses	Técnico electricista	\$ 150.000
	Cambiar la resistencia tipo banda	1	4 Meses	Técnico electricista	\$ 50.000
	Verificar el ajuste del conector, reajustar si lo requiere	3	1 Mes	Técnico electricista	\$ 180.000
Cilindros de Estiramiento	Inspeccionar y reemplazar cilindros desgastados	1	6 Meses	Técnico mecánico	\$ 100.000
	Revisar sistemas de calefacción y termostatos	2	4 Meses	Técnico mecánico	\$ 80.000

Componente	Actividad a ejecutar	Prioridad	Frecuencia	A realizarse por	Costo
	Reemplazar sellos y revisar niveles de aceite	2	2Meses	Técnico mecánico	\$ 120.000
	Alinear cilindros y ajustar soportes	2	6 Meses	Técnico mecánico	\$ 110.000
	Verificar y calibrar sensores de velocidad	1	2Meses	Técnico de Instrumentación	\$ 90.000
	Verificar sistema de refrigeración	1	6 Meses	Técnico mecánico	\$ 550.000
Ventilador de zonas	Verificar el aislamiento del motor.	1	3 Meses	Técnico electricista	\$ 50.000
	Verificar y reajustar las conexiones de la bornera.	3	3 Meses	Técnico electricista	\$ 220.000
	Ajustar el ventilador a su posición correcta.	3	2 Meses	Técnico electricista	\$ 50.000
	Apretar los pernos de sujeción.	3	1 Mes	Técnico electricista	\$ 80.000
Anillo de Aire	Verificar y limpiar los ductos de aire.	2	3 Meses	Técnico mecánico	\$ 100.000
	Revisar y reemplazar juntas o sellos si es necesario.	2	6 Meses	Técnico mecánico	\$ 160.000
	Reajustar el anillo de aire a su posición correcta.	3	3 Meses	Técnico mecánico	\$ 300.000
	Verificar el estado del ventilador y conexiones.	1	6 Meses	Técnico electricista	\$ 90.000

Tabla N°3.20: Plan de mantenimiento sistema extrusor

Fuente: Elaboración propia.

	PLAN DE MANTENIMIENTO				
	Máquina:	Sistema:		Fecha:	
	ExtrusoraPolystar1	Sistema dosificador		2025	
Componente	Actividad ejecutar	Prioridad	Frecuencia	A realizarse por	Costo
Tolva de Alimentación	Verificar que las tolvas estén limpias y en buen estado de funcionamiento.	2	6 meses	Técnico mecánico	\$ 80.000
	Realizar calibraciones	2	6 meses	Técnico de Instrumentación	\$ 120.000
	Inspeccionar niveles de material en la tolva	2	1 mes	Técnico mecánico	\$ 35.000
	Ajustar los controles automáticos de nivel	2	3 meses	Técnico mecánico	\$ 50.000
	Revisar y reemplazar si es necesario sensores	2	6 meses	Técnico mecánico	\$ 160.000
	Ajustar controles automáticos y alarmas de nivel.	2	3 meses	Técnico mecánico	\$ 90.000
	Revisar estado de sensores	1	1 mes	Técnico mecánico	\$ 50.000
	Realizar lubricación de piezas internas	2	6 meses	Técnico mecánico	\$ 85.000
	Ajustar controles de nivel	2	3 meses	Técnico mecánico	\$ 50.000

Componente	Actividad ejecutar	Prioridad	Frecuencia	A realizarse por	Costo
	Realizar limpieza de la tolva	2	Semanal	Técnico mecánico	\$ 70.000
	Reemplazo de juntas, revisión de sellos y mantenimiento.	2	12 meses	Técnico mecánico	\$ 150.000
Sensor de Flujo	Realizar calibración del sensor	2	6 meses	Técnico de Instrumentación	\$ 80.000
	Verificar y si es necesario realizar limpieza del sensor	2	3 meses	Técnico mecánico	\$ 50.000
	Inspección de las conexiones y cables	2	3 meses	Técnico mecánico	\$ 50.000
	Revisar que el sensor este calibrado	2	6 meses	Técnico de Instrumentación	\$ 120.000
	verificar las alertas automáticas	2	3 meses	Técnico de Instrumentación	\$ 60.000
	verificar estado de sensor y reemplazar si estuviese dañado	2	6 meses	Técnico mecánico	\$ 220.000
	Limpieza residuos	2	3 meses	Técnico mecánico	\$ 550.000
	Verificar que el sensor reciba la señal correcta	1	1 mes	Técnico mecánico	\$ 50.000
	verificar y Ajustar si es necesario la calibración.	2	6 meses	Técnico de Instrumentación	\$ 80.000

Componente	Actividad ejecutar	Prioridad	Frecuencia	A realizarse por	Costo
	Verificar si sensor esta dañado	2	4 meses	Técnico mecánico	\$ 20.000
	Reemplazar sensor	2	6 meses	Técnico mecánico	\$ 190.000
Cuerpo del Dosificador	Realizar limpieza	2	3 meses	Técnico mecánico	\$ 60.000
	Revisar salidas y limpieza del sistema.	2	3 meses	Técnico mecánico	\$ 70.000
	Verificar presión y ajustar si es necesario	2	6 meses	Técnico mecánico	\$ 80.000
	Realizar inspección detallada	2	6 meses	Técnico mecánico	\$ 270.000
Motor/Accionador	Realizar diagnóstico	2	6 meses	Técnico mecánico	\$ 360.000
	Verificar y ajustar si es necesario el sistema de accionamiento	2	6 meses	Técnico mecánico	\$ 70.000
	Inspección de los controles y sistemas de velocidad.	2	3 meses	Técnico mecánico	\$ 80.000
	Verificar sensores y sistema de control	2	3 meses	Técnico mecánico	\$ 60.000
Válvulas	Realizar limpieza y regulación de valvulas	2	3 meses	Técnico mecánico	\$ 80.000

Componente	Actividad ejecutar	Prioridad	Frecuencia	A realizarse por	Costo
	Verificar estado de filtros para evitar obstrucciones.	1	1 mes	Técnico mecánico	\$ 100.000
	Reemplazar sellos y verificar conexiones de válvulas.	1	6 meses	Técnico mecánico	\$ 150.000
	Cambiar filtros	2	3 meses	Técnico mecánico	\$ 240.000
	Verificar estado de valvulas y reemplazar si es necesario	2	4 meses	Técnico mecánico	\$ 90.000
Controles Electrónicos	Revisar el controlador central	1	1 mes	Técnico mecánico	\$ 100.000
	Realizar una revisión del código y las programaciones	2	4 meses	Técnico mecánico	\$ 70.000
	Verificar sistemas eléctricos.	1	1 mes	Técnico mecánico	\$ 180.000
	verificar conexión de los sensores y el sistema de comunicación	2	4 meses	Técnico mecánico	\$ 100.000
	verificar que la interfaz funcione correctamente	2	4 meses	Técnico mecánico	\$ 50.000
Tuberías	Limpiar tuberías	1	1 Mes	Técnico mecánico	\$ 320.000

Componente	Actividad ejecutar	Prioridad	Frecuencia	A realizarse por	Costo
	Verificar estado de sistemas de detección de fugas	1	1 mes	Técnico mecánico	\$ 150.000
	verificar estado de tuberías y reemplazar si es necesario	2	4 meses	Técnico mecánico	\$ 90.000
	Verificar presión de válvulas	1	1 Mes	Técnico mecánico	\$ 10.000
	Realizar tratamiento anticorrosión en las tuberías	2	1 Mes	Técnico mecánico	\$ 245.000
Interruptores de Nivel	verificar estado de sensores y reemplazarlos si es necesario	2	4 meses	Técnico mecánico	\$ 80.000
	Recalibrar los límites de los sensores y revisar el sistema de configuración	2	4 meses	Técnico de Instrumentación	\$ 200.000
	Realizar limpieza de sensores	2	4 meses	Técnico mecánico	\$ 150.000

Componente	Actividad ejecutar	Prioridad	Frecuencia	A realizarse por	Costo
	Revisar y recalibrar los sensores	2	4 meses	Técnico de Instrumentación	\$ 180.000
	verificar la protección contra interferencias eléctricas	2	3 meses	Técnico de Instrumentación	\$ 55.000

Tabla N°3.21: Plan de mantenimiento sistema dosificador

Fuente: Elaboración propia.

	PLAN DE MANTENIMIENTO				
	Máquina:	Sistema:		Fecha:	
	Extrusora Polystar 1	Sistema estirado y templado		2025	
Componente	Actividad a ejecutar	Prioridad	Frecuencia	A realizarse por	Costo
Motorreductor de estirado	Verificar estado de motor	1	6 meses	Técnico especializado	\$ 120.000
	Realizar limpieza de componente	2	3 meses	Técnico de mantenimiento	\$ 60.000
	Realizar diagnóstico de contactores y relés	2	12 meses	Eléctrico especializado	\$ 200.000
	Verificar y apretar conexiones eléctricas	1	6 meses	Técnico eléctrico	\$ 80.000
	Lubricar rodamientos	2	3 meses	Técnico de mantenimiento	\$ 20.000
	Realizar inspecciones para detectar vibraciones anormales.	2	1 mes	Técnico de Instrumentación	\$ 50.000
	Realizar alineaciones	2	6 meses	Técnico especializado	\$ 60.000
	Inspeccionar y reemplazar componentes defectuosos del variador	1	12 meses	Técnico eléctrico	\$ 400.000
	Verificar y calibrar el sensor	2	4 meses	Técnico eléctrico	\$ 60.000
	Realizar inspecciones de los engranajes y reemplazar los que estén dañados	1	6 meses	Técnico mecánico	\$ 120.000
	lubricar engranajes	1	6 meses	Técnico mecánico	\$ 60.000
	Verificar estado de crucetas y reemplazar si es necesario	1	4 meses	Técnico mecánico	\$ 30.000
	Verificar temperatura del motor, limpiar el sistema de ventilación para evitar sobrecalentamientos	2	4 meses	Técnico eléctrico	\$ 120.000
Motorreductor de templado	Revisar y calibrar los sistemas de control (contactores y relés)	1	6 meses	Técnico de Instrumentación	\$ 150.000
	Inspeccionar todas las conexiones eléctricas	2	3 meses	Técnico eléctrico	\$ 30.000
	Inspeccionar monitoreo de vibraciones	2	1 mes	Técnico de Instrumentación	\$ 600.000
	Lubricar rodamientos	1	6 meses	Técnico mecánico	\$ 50.000

Componente	Actividad a ejecutar	Prioridad	Frecuencia	A realizarse por	Costo
	Verificar desgaste de rodamientos y cojinetes regularmente	2	6 meses	Técnico especializado	\$ 60.000
	Revisiones alineación de los componentes	2	4 meses	Técnico mecánico	\$ 50.000
	Revisar lubricación de componentes y lubricar si es necesario	2	4 meses	Técnico mecánico	\$ 40.000
	Realizar pruebas	2	12 meses	Técnico mecánico	\$ 300.000
	Revisar engranajes en cada parada programada, reemplazar aquellos que presenten fracturas o desgaste excesivo.	1	12 meses	Técnico eléctrico	\$ 400.000
	Verificar los variadores de frecuencia	2	4 meses	Técnico mecánico	\$ 30.000
	Inspeccionar la cruceta	1	4 meses	Técnico mecánico	\$ 30.000
	Reemplazar rodillos con recubrimiento desgastado.	1	6 meses	Técnico mecánico	\$ 250.000
Rodillos cromados	Verificar el recubrimiento de cromo reemplazar o reparar rodillos con desgaste visible.	2	6 meses	Técnico mecánico	\$ 300.000
	verificar temperatura regular, ajuste del proceso para reducir fricción, reemplazo de rodillos con alto desgaste.	2	4 meses	Técnico mecánico	\$ 250.000
	Inspección de la alineación de los rodillos y ajuste según sea necesario	1	4 meses	Técnico mecánico	\$ 150.000
	Inspección visual de fisuras o grietas, reemplazo inmediato de rodillos con fisuras.	1	1 mes	Técnico mecánico	\$ 250.000
Controlador de Tensión	Verificación y calibración regular del sistema de control de tensión	1	4 meses	Técnico de Instrumentación	\$ 60.000
	Inspección de los sistemas automáticos de ajuste	1	6 meses	Técnico eléctrico	\$ 50.000
	Inspeccionar sensores de tensión	1	1 mes	Técnico eléctrico	\$ 80.000

Componente	Actividad a ejecutar	Prioridad	Frecuencia	A realizarse por	Costo
	Verificación de la sincronización entre los sistemas de tensión y los rodillos	1	4 meses	Técnico eléctrico	\$ 80.000

Tabla N°3.22: Plan de mantenimiento sistema estirado y templado
Fuente: Elaboración propia.

3.11 Evaluación financiera de la propuesta

Flujo de caja:

	mes 1	mes 2	mes 3	mes 4	mes 5	mes 6	mes 7	mes 8	mes 9	mes 10	mes 11	mes 12
Ingresos de la mejora	\$3.334.874	\$3.334.874	\$3.334.874	\$3.334.874	\$3.334.874	\$3.334.874	\$3.334.874	\$3.334.874	\$3.334.874	\$3.334.874	\$3.334.874	\$3.334.874
Costos de repuestos y mantenciones	\$ 980.000	\$ 980.000	\$ 1.170.000	\$ 1.910.000	\$ 980.000	\$ 2.230.000	\$ 980.000	\$ 1.910.000	\$ 1.170.000	\$ 980.000	\$ 980.000	\$ 4.700.000
Total gastos de operación mejora	\$ 980.000	\$ 980.000	\$ 1.170.000	\$ 1.910.000	\$ 980.000	\$ 2.230.000	\$ 980.000	\$ 1.910.000	\$ 1.170.000	\$ 980.000	\$ 980.000	\$ 4.700.000
Rentabilidad	\$2.354.874	\$2.354.874	\$2.164.874	\$1.424.874	\$2.354.874	\$1.104.874	\$2.354.874	\$1.424.874	\$2.164.874	\$2.354.874	\$2.354.874	\$-1.365.126

Tasa de descuento	10%
Inversión inicial	\$ 10.112.000

TIR	16,05%
VAN	\$ 2.750.104

Tabla N°3.23: Flujo de caja

Antes de implementar el FMEA (Análisis de Modos de Fallo y Efectos), las paradas de las máquinas generaban pérdidas anuales de \$54.883.930, distribuidas entre los costos asociados a la producción no realizada debido a detenciones, mano de obra y repuestos.

El análisis FMEA permitió identificar tres sistemas críticos como prioritarios para el análisis y la mejora, las fallas relacionadas con estos sistemas fueron extraídas de los registros operativos del año 2023 a partir de esta información, se diseñó un plan de mejora que no solo reducirá las pérdidas operativas, sino que también optimizara la producción y aumentara la disponibilidad de las máquinas, logrando un impacto positivo en la eficiencia general de la operación.Tras implementar el plan de mejora basado en FMEA, se estima que las pérdidas anuales se reducirán a \$14.865.446, la diferencia entre las pérdidas antes y después de la mejora, equivalente a \$40.018.488, representa el ingreso adicional que la empresa obtendrá anualmente tras la implementación del plan, esté ingreso adicional se divide en 12 meses, resultando en una ganancia mensual constante de \$3.334.874.

En resumen, el proyecto generará ingresos mensuales de \$3.334.874 desde el mes 1 hasta el mes 12, acumulando un total anual de \$40.018.488. Estos ingresos se derivan principalmente de la reducción de las paradas de las máquinas, que anteriormente representaban una fuente significativa de pérdidas económicas.

El VAN positivo demuestra que el proyecto no solo recupera la inversión inicial de \$10.112.000, sino que también genera un excedente financiero, creando valor adicional a lo largo del período de implementación.

La TIR del 16,05%, indica que el proyecto supera el rendimiento mínimo esperado (tasa de descuento del 10%).

Aunque los flujos de caja muestran ligeras variaciones a lo largo del período, los meses anteriores al mes 12 presentan resultados positivos (ingresos mayores que costos), lo que contribuye a mantener una rentabilidad favorable. La pérdida puntual registrada en el mes 12 responde a un gasto excepcional asociado con una intervención profunda y costosa en la máquina, tras acumular un año completo de operación. Este mantenimiento intensivo es necesario para garantizar la sostenibilidad del proyecto, pero no afecta significativamente la rentabilidad global.

-CONCLUSIONES

La planta de fabricación de envases plásticos enfrenta desafíos críticos relacionados con la baja disponibilidad de sus equipos, generando tiempos improductivos, interrupciones en la producción y un aumento en los costos operativos, este problema se ve agravado por un enfoque reactivo en el mantenimiento, donde las reparaciones se realizan únicamente después de que ocurren las fallas, incrementando significativamente los costos y los tiempos de inactividad.

El análisis de los indicadores clave MTTR (Mean Time To Repair) y MTBF (Mean Time Between Failures) identificó que la etapa de extrusión es la más afectada dentro de la cadena de producción, con una disponibilidad del 90,66%, un desempeño inferior al de otras áreas como impresión y corte/sellado, que superan el 93%, dentro de esta etapa crítica, la extrusora Polystar 1 presenta la menor disponibilidad con un 74%, concentrando una proporción significativa de las fallas y paradas no planificadas, este hallazgo subraya la importancia de optimizar sus sistemas críticos, como dosificación, extrusión, estirado y templado, para reducir el tiempo de inactividad y mejorar la disponibilidad global de la planta.

Se aplicó la metodología FMEA (Análisis de Modos de Fallo y Efectos) a la extrusora Polystar 1, centrándose en los sistemas más relevantes, este análisis permitió identificar las causas raíz de las fallas recurrentes y formular un plan de mantenimiento preventivo orientado a optimizar su desempeño.

Con la aplicación del plan de mejora basado en FMEA, se estima un incremento del 20% en la disponibilidad de la extrusora Polystar 1, alcanzando un 94%, este cambio tendrá impactos positivos en la planta, tales como:

Incrementó en la disponibilidad operativa: Reducción de tiempos de inactividad, maximizando la capacidad productiva.

Optimización de la producción: Flujos constantes en los procesos, mejorando tiempos de entrega y volumen de producción.

Reducción de costos operativos: Menores costos por reparaciones no planificadas y desperdicio de materiales.

Mayor rentabilidad: Mejora en los márgenes de ganancia al reducir pérdidas y maximizar los recursos.

Antes de aplicar el FMEA, las paradas generaban pérdidas anuales de \$54.883.930, tras aplicar el plan de mejora, las pérdidas se reducirían a \$14.865.446, representando una disminución de \$40.018.488. Este ingreso adicional refuerza la viabilidad del proyecto, que además muestra un VAN positivo de \$2.750.104 y una TIR del 16,05%, superior a la tasa de descuento del 10%. Es importante destacar que el gasto excepcional en el mes 12, relacionado con un mantenimiento intensivo de la Polystar 1, forma parte de una estrategia de inversión necesaria para garantizar la operatividad y prevenir fallas graves en el futuro.

Si la empresa implementa este proyecto, no solo se cubrirá la inversión inicial, sino que también se generarán beneficios financieros y operativos. La aplicación del FMEA mejorará la disponibilidad de la máquina identificada como crítica, que actualmente tiene la menor disponibilidad en la planta (EXTRUSORA POLYSTAR 1) y además, a su vez servirá como referencia para optimizar otras máquinas en la planta, con ello, se incrementará la disponibilidad general de la planta y, en su defecto, se reducirá la frecuencia de paradas no planificadas, lo que garantizará su sostenibilidad y continuidad a largo plazo, mediante la implementación de una estrategia de mantenimiento eficiente y continua.

-BIBLIOGRAFIA

- Arata Andreani, A. (2005). *Manual de gestión de activos y mantenimiento*. Chile: RIL editores.
- Arata Andreani, A. (2009). *Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales : aplicación de la plataforma R-MES*. CHILE: RIL Editores.
- Crespo, C. P. (2015). *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada en la Gestión de Activos*. ESPAÑA: INGEMAN.
- Gutiérrez Pulido, H. (2014). *Calidad y productividad*. Mexico: Mc Graw Hill Education,.
- Mora, L. A. (2009). *Mantenimiento: planeación, ejecución y control*. Mexico: Alfaomega.
- Moubray, J. M. (2004). *Mantenimiento centrado en confiabilidad (Reliability-centred maintenance)*. Madrid España: Aladon LLC.
- Peidro Barrachina, J. L. (2012). *Ejercicios prácticos de ingeniería del mantenimiento*. ESPAÑA: Editorial Upv.
- Pistarelli, A. J. (2010). *Manual de mantenimiento ingeniería, gestión y organización*. Buenos Aires: El Autor :Talleres Gráficos R y C,.
- SOLE, A. C. (2005). *FIABILIDAD Y SEGURIDAD*. ESPAÑA: MARCOMBO.
- Stamatis, D. H. (1995). *Failure mode and effect analysis : FMEA from theory to execution*. Milwaukee, Wisconsin. : Prensa de calidad ASQC.
- Stamatis, D. H. (2003). *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution*. USA: merican Society for Quality (ASQ) Quality Press.
- Zhang, P. (2010). *Advanced industrial control technology /*. USA: Elsevier,.
- Gestión de riesgos : Técnicas de evaluación de riesgos (IEC 31010:2019)
Norma europea
- AMEF. (2008). *Análisis de Modo y Efecto de Fallas Potenciales*, Cuarta Edición.
- EN - European Norm. (2011). *Terminología del Mantenimiento UNE – EN 13306:2011*. Madrid.
- GARCÍA Palencia, Oliverio. (2012). *Gestión moderna del mantenimiento industrial*. Colombia, Ediciones de la U.

-ANEXOS

FMEA SISTEMA EXTRUSOR

FMEA SISTEMA EXTRUSOR															
Sistema/Com- ponente		Funcion		Falla funcional		Modos de falla		Efecto de Falla		G	F	D	NPR	Criticidad	
Motor principal	1	Impulsar movimiento a la caja reductora, que a su vez ajusta la velocidad y el torque necesarios para el correcto funcionamiento del tornillo del extrusor.	1.1	El motor no arranca al encender la máquina	1.1.1	Motor quemado	Se detiene la caja reductora y suena la alarma	5	4	4	80	Crítica			
					1.1.2	Conexiones, bornera de motor flojas	Se detiene la caja reductora y suena la alarma	3	3	3	27	Moderadamente crítica			
			1.2	Motor funciona, pero con excesiva vibración	1.2.1	Falla en desarrollo de rodamientos	Ruido excesivo y sobrecalentamiento del motor	4	3	3	36	Moderadamente crítica			
					1.2.2	Asientos de la tapa con desgaste	Ruido excesivo y sobrecalentamiento del motor	2	2	3	13	Menos crítica			
			1.3	Motor se sobrecalienta.	1.3.1	Fallas en el sistema de refrigeración	Pérdida de eficiencia y daño en el motor	3	5	5	75	Crítica			
					1.4	Pérdida de potencia.	1.4.1	Problemas en la alimentación eléctrica.	Impacto en el rendimiento del motor, posibles interrupciones.	4	5	4	80	Crítica	
Cardan	2	Transmitir movimiento del motor hacia el reductor	2.1	No transmitir movimiento a la caja reductora	2.1.1	Rotura del cardan	Se detiene la caja reductora y suena la alarma	5	4	4	80	Crítica			
					2.1.2	Elementos de fijación flojos	Se detiene la caja reductora y suena la alarma	3	3	3	27	Moderadamente crítica			
			2.2	Pérdida de alineación con el reductor.	2.2.1	Desalineación del cardán	Transmisión de torque ineficiente y desgaste acelerado.	4	3	3	36	Moderadamente crítica			
					2.3	Movimiento irregular.	2.3.1	Desgaste en el eje del cardán.	Aumento de la vibración y posible daño al reductor.	3	3	4	36	Moderadamente crítica	
			2.4	Falla de transmisión de torque.	2.4.1	Fisura en el acople	Detención del sistema de transmisión.	5	4	4	80	Crítica			
					2.5	Ruido excesivo durante el funcionamiento.	2.5.1	Desgaste en los rodamientos	Aumento del ruido y riesgo de falla inminente.	3	3	3	27	Moderadamente crítica	
Caja reductora principal	3	Reducir la velocidad del motor para ajustar el torque necesario del husillo del extrusor.	3.1	Fuga de lubricante.	3.1.1	Fuga en los sellos	Pérdida de lubricación, riesgo de sobrecalentamiento.	4	3	3	36	Moderadamente crítica			
					3.2	Vibraciones excesivas durante operación	3.2.1	Desgaste en los cojinetes	Daño progresivo a los engranajes y estructura interna.	3	4	3	36	Moderadamente crítica	
			3.3	No reduce la velocidad del motor	3.3.1	Fractura de engranajes	No hace girar el husillo extrusor y suena la alarma	5	4	4	80	Crítica			
					3.3.2	Atascamiento de engranajes	No hace girar el husillo extrusor y suena la alarma	4	5	4	80	Crítica			
			3.3	No reduce la velocidad del motor	3.3.3	Fractura de acople	No hace girar el husillo extrusor y suena la alarma	4	5	4	80	Crítica			
					4.1	Ruido excesivo.	4.4.1	Desgaste de los soportes	Acelerado desgaste y riesgo de falla inminente.	3	3	4	36	Moderadamente crítica	
Husillo extrusor	4	Mezclar uniformemente el polipropileno	4.2	Sobrecalentamiento del material.	4.2.1	Fuga de lubricante en la camisa extrusora.	Riesgo de quemado del material y pérdida de eficiencia.	4	3	4	48	Moderadamente crítica			
					4.3.1	Rotura de husillo extrusor	No comprime el material	5	3	4	60	Crítica			
			4.3	No mezcla uniformemente el polipropileno	4.3.2	Desgaste de husillo extrusor	Deficiencia en la compresión del material	4	3	3	36	Moderadamente crítica			
					4.3.3	Atascamiento de husillo extrusor	No comprime el material	4	3	3	36	Moderadamente crítica			
			5.1	No contiene el polipropileno	5.1.1	Pernos de amarrar sueltos	Fuga de material	3	3	3	27	Moderadamente crítica			
					5.1.2	Acumulación de material no procesado	Detención del proceso de extrusión.	2	3	2	12	Menos crítica			
Camisa extrusora	5	Contener el polipropileno durante el proceso de extrusión.	5.3	No contiene el polipropileno	5.1.3	Agrietamiento de la camisa	Pérdida de presión en el sistema	4	3	3	36	Moderadamente crítica			
					5.1.4	Deformación de la camisa por sobrecalentamiento	Desgaste prematuro de otros componentes del extrusor.	4	3	4	48	Moderadamente crítica			
			5.5	No contiene el polipropileno	5.1.5	Fugas en las juntas de la camisa	Aumento del desecho de material.	4	3	4	48	Moderadamente crítica			
					5.1.6	Pernos de amarrar rotos	Fuga de material	3	5	5	75	Crítica			
			5.7	No contiene el polipropileno	5.1.7	Desgaste de camisa extrusora	Zonas frías en el material, resultando en un calentamiento desigual que afecta la calidad del extruido.	4	3	3	36	Moderadamente crítica			
					6.1	No calienta uniformemente	6.1.1	Desgaste del elemento resistivo	Material tarda en fundirse y se reduce la velocidad	4	3	4	48	Moderadamente crítica	
Resistencias de calentamiento	6	Generan el calor necesario para fundir el plástico, manteniendo temperaturas adecuadas para el proceso de extrusión.	6.2	Sobrecalentamiento	6.2.1	Falla en el sistema de control de temperatura	Exceso de calor, que puede dañar la extrusora, aumenta el riesgo de incendio.	3	5	5	75	Crítica			
					6.3	Temperatura fuera de control	6.3.1	Sensor de temperatura defectuoso	La extrusora opera a temperaturas no óptimas.	4	3	3	36	Moderadamente crítica	
			6.4	No alcanza la temperatura adecuada	6.4.1	La resistencia no logra calentar lo suficiente para fundir el material de manera óptima	Material tarda en fundirse y se reduce la velocidad	3	5	5	75	Crítica			
					6.5	No Proporcionar velocidad de giro del husillo	6.4.2	Falla del motor o reductora	Inconsistencias en la extrusión o paradas de producción.	3	5	5	75	Crítica	
			Cabezal extrusor (dado)	7	Alinear el polipropileno fundido	7.1	Fugas de material fundido.	7.1.1	Sellos desgastados.	Pérdida de material, riesgo de daños por fugas.	4	3	4	48	Moderadamente crítica
								7.2	Desalineación del cabezal.	7.2.1	Soportes desgastados o flojos	Irregularidades en la extrusión y variaciones en la calidad del producto.	4	3	3
7.3	Variación de temperatura en el cabezal	7.3.1				Bloqueo parcial del conducto.	Sobrecalentamiento de ciertas áreas.	4	3	4	48	Moderadamente crítica			
		7.4				No lamina el polipropileno fundido al denier requerido	7.4.1	Desgaste en los labios del cabezal	Lamina de material con variación de medidas	3	5	5	75	Crítica	
7.4	No lamina el polipropileno fundido al denier requerido	7.4.2				Cabezal con suciedad	Lamina de material con variación de medidas	3	1	2	6	Menos crítica			
		8.1				Mide con fluctuaciones	8.1.1	Conexión de termocupla sucia	Lecturas de temperatura inconsistentes.	3	4	4	48	Moderadamente crítica	
Termocuplas	8	Medir la temperatura de la camisa extrusora y del cabezal para asegurar la regulación térmica adecuada.	8.2	Mide con retardo	8.2.1	Termocupla envejecida	La respuesta lenta genera fluctuaciones en la temperatura del proceso	2	2	3	13	Menos crítica			
					8.3	No se detecta en el sistema de control	8.3.1	Cableado defectuoso	No se regula la temperatura de manera adecuada	4	3	4	48	Moderadamente crítica	
			8.4	No mide la temperatura de la camisa extrusora	8.4.1	Termocupla abierta	No se puede regular la temperatura de la camisa extrusora	3	5	5	75	Crítica			
					8.4.2	Termocupla suelta	No se puede regular la temperatura de la camisa extrusora	2	2	3	13	Menos crítica			
			Cilindros de Estiramiento	9	Estirar el film plástico extruido para lograr el espesor y características mecánicas deseadas	9.1	No estira adecuadamente	9.1.1	Cilindros desgastados	Film con variaciones de espesor y debilidad estructural	3	5	5	75	Crítica
								9.2	No mantiene la temperatura correcta	9.2.1	Problemas de calefacción en cilindro	Material no se estira adecuadamente, afectando la calidad del producto	4	3	4
9.3	Fugas de aceite	9.3.1				Sellos deteriorados	Pérdida de presión y mal funcionamiento de los cilindros	4	3	4	48	Moderadamente crítica			
		9.4				Falta de alineación	9.4.1	Desalineación de los cilindros	Desgaste desigual del film, causando fallas en el proceso de estiramiento	4	3	3	36	Moderadamente crítica	
9.5	Problemas en el control de velocidad	9.5.1				Sensor de velocidad defectuoso	Dificultad para controlar el proceso de estiramiento, afectando la calidad del film	3	5	5	75	Crítica			
		9.6				Efectos de desgaste por calor	9.6.1	Falta de refrigeración adecuada	Pérdida de eficiencia y calidad del estiramiento	3	5	5	75	Crítica	
Ventiladores	10	Regulan la temperatura del film extruido mediante enfriamiento controlado.	10.1	No generan flujo de aire.	10.1.1	Motor quemado	Dificultad para regular la temperatura del film extruido.	3	5	5	75	Crítica			
					10.2	Conexiones, bornera de motor flojas.	10.2.1	Conexiones sueltas	Pérdida de rendimiento en el enfriamiento.	2	2	3	13	Menos crítica	
			10.3	Ventilador suelto.	10.3.1	Fijaciones flojas	Ruido excesivo y disminución en la eficiencia del enfriamiento.	2	3	2	12	Menos crítica			
					10.4	Pernos de sujeción flojos.	10.4.1	Pernos no ajustados.	Ruido en la zona de extrusión y posible falla del ventilador.	3	1	3	9	Menos crítica	
Anillo de Aire	11	Proporciona un flujo de aire controlado para enfriar el film extruido.	11.1	No genera el flujo de aire adecuado.	11.1.1	Obstrucción en los ductos de aire	El film no se enfría correctamente, afectando su calidad.	4	3	4	48	Moderadamente crítica			
					11.2	Fugas en el anillo.	11.2.1	Juntas o sellos dañados	Pérdida de eficiencia en el enfriamiento del film.	4	3	4	48	Moderadamente crítica	
			11.3	Desajuste del anillo.	11.3.1	Mal ajuste durante la instalación.	El film puede presentar variaciones en el grosor.	2	2	3	13	Menos crítica			
					11.4	Problemas en el ventilador del anillo.	11.4.1	Motor quemado o conexiones flojas	Ineficiencia en el enfriamiento del film.	3	5	5	75	Crítica	

FMEA SISTEMA DOSIFICADOR

FMA SISTEMA DOSIFICADOR												
Sistema/compon ente	Función	Falla funcional		Modos de falla		Efecto de la falla		G	F	D	NPR	Criticidad
Tolva de Alimentación	1	1.1	No suministra material o lo suministra de manera irregular	1.1.1	Bloqueo en la tolva	Falta de suministro de material.	4	3	3	36	Moderadamente crítica	
				1.1.2	Desajuste del flujo	Flujo inconsistente.	3	4	3	36	Moderadamente crítica	
				1.1.3	Material insuficiente	Interrupciones en la operación.	4	3	2	24	Moderadamente crítica	
				1.1.4	Material en exceso	Posibles atascos.	3	3	3	27	Moderadamente crítica	
		1.2	No controla el nivel de material	1.2.1	Sensor de nivel defectuoso	Falta de control en la alimentación	4	2	4	32	Moderadamente crítica	
				1.2.2	Falta de control en el nivel	variación en la calidad.	4	2	3	24	Moderadamente crítica	
				1.2.3	Falta de alimentación continua	Interrupciones y paradas del proceso.	5	3	5	75	Crítica	
		1.3	Obstrucción del flujo	1.3.1	Material atascado	Interrupciones del flujo de material, posible daño al equipo.	5	3	4	60	Moderadamente crítica	
				1.3.2	Sobrellenado del material	Posibles paradas de emergencia.	3	3	3	27	Moderadamente crítica	
				1.3.3	Variación en el tipo de material	Problemas de flujo, alteración en la consistencia del proceso.	4	2	4	32	Moderadamente crítica	
		1.4	Pérdida de material o fugas	1.4.1	Fugas de material	Pérdida de eficiencia y material.	5	2	4	40	Moderadamente crítica	
Sensor de Flujo	2	2.1	No mide el flujo correctamente	2.1.1	Sensor descalibrado	Medición incorrecta,posible interrupción del proceso.	4	3	3	36	Moderadamente crítica	
				2.1.2	Obstrucción del sensor	Pérdida de precisión en la medición.	3	3	4	36	Moderadamente crítica	
				2.1.3	Fallo en la conexión del sensor	Datos erróneos o falta de medición.	4	2	3	24	Moderadamente crítica	
		2.2	Error en la señal del sensor	2.2.1	Calibración incorrecta	Datos inconsistentes,errores de control.	5	2	5	50	Moderadamente crítica	
				2.2.2	Desajuste en la calibración	Disminución de la precisión.	4	3	4	48	Moderadamente crítica	
				2.2.3	Daño físico al sensor	Mal funcionamiento, necesidad de reemplazo.	5	1	4	20	Moderadamente crítica	
		2.3	Error en la calibración del sensor	2.2.4	Acumulación de suciedad	Bloqueo parcial; medición imprecisa.	3	3	3	27	Moderadamente crítica	
				2.3.1	Calibración incorrecta	Imposibilidad de regular adecuadamente.	5	3	5	75	Crítica	
				2.3.2	Desajuste en la calibración	Fluctuaciones en el control de flujo.	4	3	4	48	Moderadamente crítica	
				2.3.3	Daño físico al sensor	Ineficiencia en la operación.	5	1	4	20	Moderadamente crítica	
				2.3.4	Acumulación de suciedad	Medición obstruida.	3	3	3	27	Moderadamente crítica	
Cuerpo del Dosificador	3	3.1	No distribuye correctamente el material	3.1.1	Daño en el cuerpo del dosificador	Fallo en la distribución.	5	2	4	40	Moderadamente crítica	
				3.1.2	Obstrucción en la salida	Bloqueos y detenciones del proceso.	4	3	3	36	Moderadamente crítica	
		3.2	Pérdida de presión en el cuerpo	3.2.1	Fugas internas	Reducción en la eficiencia del dosificador.	5	3	4	45	Moderadamente crítica	
		3.3	Daño estructural	3.3.1	Deformación o fisura en el cuerpo	Paradas del sistema.	5	2	4	45	Moderadamente crítica	
Motor/Accionador	4	4.1	No acciona el dosificador correctamente	4.1.1	Fallo en el motor	Paradas en el suministro de material.	5	3	3	45	Moderadamente crítica	
				4.1.2	Fallo en el sistema de accionamiento	Interrupciones en el proceso de dosificación.	5	3	3	45	Moderadamente crítica	
		4.2	Variación en la velocidad de	4.2	Fallo en el controlador de velocidad	Flujo irregular; pérdida de control.	4	3	4	36	Moderadamente crítica	
		4.3	El motor no responde al control del sistema	4.3	Fallo en los sensores de control	Falta de respuesta y operación del motor.	5	3	4	48	Moderadamente crítica	
Válvulas	5	5.1	No regula el flujo adecuadamente	5.1.1	Obstrucción en la válvula	Flujo irregular; posibles atascos.	5	4	3	60	Moderadamente crítica	
				5.1.2	Fugas de material	Pérdida de eficiencia y material.	5	4	4	80	Crítica	
		5.2	No cierra completamente	5.1.3	Desgaste de sellos	Fallos en el control.	5	4	4	80	Crítica	
		5.3	Se bloquea parcialmente	5.3.1	Acumulación de residuos	Problemas en la regulación.	4	3	3	36	Moderadamente crítica	
5.3.2	Corrocion interna			Fallo en la función de cierre.	5	3	2	30	Moderadamente crítica			
Controles Electrónicos	6	6.1	No regula correctamente los parámetros del dosificador	6.1.1	Fallo en el controlador central	Descontrol en el proceso de dosificación.	5	4	4	80	Crítica	
				6.1.2	Error en la programación	Ajustes incorrectos.	5	3	4	60	Moderadamente crítica	
				6.1.3	Cortocircuito o fallo eléctrico	Interrupción de la operación.	5	4	4	80	Crítica	
		6.2	No responde a las señales	6.2.1	Pérdida de comunicación	Falta de respuesta y control remoto.	5	3	3	45	Moderadamente crítica	
				6.2.2	Fallo en la interfaz de usuario	Imposibilidad de interactuar con el sistema.	4	3	4	48	Moderadamente crítica	
Tuberías	7	7.1	Obstrucción en las tuberías	7.1.1	Material bloqueado en la tubería	Posibles paradas.	5	4	4	80	Crítica	
				7.1.2	Fugas de material	Pérdida de material.	5	4	4	80	Crítica	
				7.1.3	Daño en la estructura de la tubería	Riesgo de rupturas y fallos en la operación.	4	4	3	48	Moderadamente crítica	
		7.2	Ruptura de tuberías	7.2.1	Presión excesiva	Parada de emergencia,posible daño al equipo.	5	4	4	80	Crítica	
				7.2.2	Daño por corrosión	Filtraciones y deterioro de las tuberías.	4	3	3	36	Moderadamente crítica	
Interruptores de Nivel	8	8.1	No detecta el nivel correctamente	8.1.1	Sensor defectuoso	Falta de control sobre el nivel de material.	5	4	3	60	Moderadamente crítica	
				8.1.2	Desajuste en los límites de nivel	Inconsistencias en la medición.	4	3	3	36	Moderadamente crítica	
				8.1.3	Obstrucción del sensor	Datos incorrectos o falta de medición.	4	4	3	48	Moderadamente crítica	
		8.2	Da señales incorrectas	8.2.1	Falla en la calibración del sensor	Lecturas imprecisas,errores en la operación.	5	4	3	60	Moderadamente crítica	
				8.2.2	Interferencia eléctrica	Datos inconsistentes.	4	4	2	32	Moderadamente crítica	

FMEA SISTEMA ESTIRADO Y TEMPLADO

FMEA SISTEMA EXTIRADO Y TEMPLADO												
Sistema /Componente	Función		Falla funcional	Modos de falla		Efecto de Falla	G	F	D	NPR	Criticidad	
Motorreductor de estirado	1	Hacer girar los rodillos estándares y calientes	1.1	Se detiene el motor	1.1.1	Motor quemado	Se detiene la caja reductora, se rompe la rafia y se atasca	5	3	5	75	Crítica
					1.1.2	Obstrucción mecánica	Elementos atascados impiden el movimiento del motor.	4	3	4	48	Moderadamente crítica
					1.1.3	Problemas en el sistema de control	que regulan el motor, como contactores o relés.	4	3	3	36	Moderadamente crítica
					1.1.4	Conexiones, bornera de motor flojas	Se detiene la caja reductora, se rompe la rafia y se atasca	3	5	5	75	Crítica
			1.2	Exceso de vibración	1.2.1	Desgaste en cojinetes y rodamientos	Ruido excesivo y sobrecalentamiento del motor.	4	3	4	48	Moderadamente crítica
					1.2.2	Fatiga del Material	Vibración continua genera tensiones en materiales, llevando a fatiga.	4	3	3	36	Moderadamente crítica
					1.2.3	Desalineación de componentes	Aumento del desgaste y daños internos.	4	3	4	48	Moderadamente crítica
			1.3	No reduce la velocidad del motor	1.3.1	Fallo en el variador de frecuencia	Descomposición o mal funcionamiento del variador que regula la velocidad del motor.	5	4	4	80	Crítica
					1.3.2	Mal funcionamiento del sensor de velocidad	Sensor defectuoso que no reporta correctamente la velocidad al sistema de control.	4	3	3	36	Moderadamente crítica
					1.3.3	Fractura de engranajes	Se detienen los rodillos, se rompe la rafia y se atasca	5	3	5	75	Crítica
					1.3.4	Atascamiento de engranajes	Se detienen los rodillos, se rompe la rafia y se atasca	3	5	5	75	Crítica
					1.3.5	Rotura de cruceta	Se detienen los rodillos, se rompe la rafia y se atasca	5	4	4	80	Crítica
			1.4	Fugas de lubricante	1.4.1	Sellos dañados o mal ajustados	Pérdida de lubricación, aumentando el desgaste.	4	3	4	48	Moderadamente crítica
Motorreductor de templado	2	Hacer girar los rodillos fríos	2.1	Se detiene el motor	2.1.1	Motor quemado	Se detiene la caja reductora, se rompe la rafia y se atasca	5	3	5	75	Crítica
					2.1.2	Problemas en el sistema de control	Mal funcionamiento de los sistemas que regulan el motor, como contactores o relés, provocando	3	3	2	18	Moderadamente crítica
					2.1.3	Conexiones, bornera de motor flojas	Interrupción en el funcionamiento del motor, causando paradas y reducción de productividad.	5	4	4	80	Moderadamente crítica
			2.2	excesiva vibración	2.2.1	Falla incipiente de rodamientos	Ruido excesivo y sobrecalentamiento del motor	5	3	5	75	Crítica
					2.2.2	Desgaste en cojinetes y rodamientos	Ruido excesivo y posible sobrecalentamiento del motor, lo que reduce su vida útil.	3	5	5	75	Moderadamente crítica
					2.2.3	Desalineación de componentes	Aumento del desgaste en los componentes, lo que puede resultar en daños internos y fallos.	4	3	3	36	Moderadamente crítica
					2.2.4	Desequilibrio en el rotor o en los componentes rotativos	Causado por la acumulación de suciedad o desgaste irregular, puede provocar una vibración anormal y daños a largo plazo.	3	5	3	45	Moderadamente crítica
					2.2.5	Problemas en el sistema de transmisión	el motor o componentes pueden aflojarse, causando vibraciones adicionales.	4	3	3	36	Moderadamente crítica
			2.3	No reduce la velocidad del motor	2.3.1	Fractura de engranajes	Se detienen los rodillos, se rompe la rafia y se atasca	5	3	5	75	Crítica
					2.3.2	Fallo en el variador de frecuencia	Descomposición o mal funcionamiento del variador que regula la velocidad del motor.	1	5	4	20	Moderadamente crítica
					2.3.3	Rotura de cruceta	Se detienen los rodillos, se rompe la rafia y se atasca,generando paradas.	5	4	4	80	Crítica
					2.3.4	Atascamiento de engranajes	Se detienen los rodillos, se rompe la rafia y se atasca	5	3	5	75	Crítica
			Rodillos cromados	3	Estiran y templan el material uniformemente.	3.1	No asegura la uniformidad en el estirado	3.1.1	Desgaste del recubrimiento de cromo	Pérdida de la superficie lisa, generando un estirado desigual y defectos en la superficie del material.	3	5
3.1.2	Aumento de fricción por desgaste	Generación de calor adicional, incremento en consumo de energía y posible daño al materia						4	3	4	48	Moderadamente crítica
3.2	No mantiene la alineación del material	3.2.1				Desalineación de los rodillos	Desviación del material, causando arrugas y problemas en la uniformidad del estirado.	5	3	5	75	Crítica
3.3	No soportar el material sin daños	3.3.1				Fisuras o agrietamiento	Riesgo de rotura, paradas no planificadas y posible daño al material en proceso.	5	3	5	75	Crítica
Controlador de Tensión	4	Regula la tensión del material durante el proceso.	4.1	No regular la tensión adecuada del material	4.1.1	Configuración incorrecta de la tensión	Material flojo o demasiado tenso, causando roturas, arrugas o deformaciones en el producto final.	5	3	5	75	Crítica
					4.1.2	Fallo en el sistema de ajuste automático	Variación en la tensión durante el proceso, afectando la uniformidad y calidad del material estirado.	5	3	5	75	Crítica
			4.2	No detectar variaciones en la tensión	4.2	Fallo en el sensor de tensión	Falta de respuesta a cambios en la tensión, provocando roturas o arrugas en el material.	5	3	5	75	Crítica
			4.3	No sincroniza con otros sistemas	4.3	Desincronización con los rodillos	Tensión inadecuada en distintas fases del proceso, impactando la calidad y provocando desperdicio de material.	5	5	3	75	Crítica

FICHA TECNICA

Ficha Técnica: Máquina Sopladora de Película Plástica - PolyStar-X / HA

La máquina Star-X / HA es una solución avanzada para la producción de películas plásticas de alta calidad, ideal para diversas aplicaciones como bolsas de plástico y empaques.

A continuación, se detallan sus especificaciones técnicas:

Especificación	Detalle
Modelo	PolyStar-X / HA
Producto Final	Película HDPE / LDPE / LLDPE
Aplicaciones	Film para empaques plásticos, Bolsas tipo camiseta, Bolsas de basura, Bolsas de compras
Material Compatible	Material reciclado, mezclas de HDPE / LDPE, material biodegradable o virgen, CaCO3, aditivos y masterbatches
Productividad	75-150 kg/hr (dependiendo del tamaño del tornillo)
Capas de la Película	Monocapa (1 capa)
Especificaciones del Tornillo	Diámetro: 55 mm, 65 mm, 75 mm L/D: 28/1, 30/1, 32/1 Material: SACM-645 o bimetálico
Rango de Dimensiones de Película	Ancho: 500 mm - 1500 mm (personalizado) Espesor: 8 - 100 micrones
Dispositivos Opcionales	Alimentador automático, Sistema de dosificación, Dado giratorio, Tratador de corona, EPC, Dispositivo de descarga hidráulico, Bobinador automático doble, Sistema de control de tensión

Vista de la Máquina

