

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR - JOSÉ MIGUEL CARRERA**

**PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO A EQUIPO CRITICO DE
EMPRESA MANUFACTURA DE PLÁSTICOS VIJOM LTDA.**

Trabajo de Titulación para optar al
Título profesional de Ingeniero en
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Alumno:

Rodrigo Sebastián Bruna Silva

Profesor Guía:

Mg. Ing. Sr. Carlos Baldi González

RESUMEN

El presente trabajo propone un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM para las extrusoras de plástico de la empresa Manufacturas de Plásticos Vijom Ltda., con el objetivo de mejorar la confiabilidad de los equipos críticos, optimizar la eficiencia operativa y minimizar las pérdidas económicas. derivados de paradas imprevistas.

La propuesta se fundamenta en un análisis exhaustivo de los modos de falla, efectos y criticidad de los subsistemas de las extrusoras. A partir de esta información, se identificaron 14 modos de falla prioritarios y se definieron tareas específicas de mantenimiento preventivo y predictivo. Estas actividades incluyen inspecciones regulares, reemplazos cíclicos y tareas de reacondicionamiento, con frecuencias planificadas según la criticidad de cada falla. Para facilitar su implementación, se diseñan herramientas de gestión, como hojas de decisión, fichas de inspección y pautas de trabajo, que estandarizan los procedimientos y garantizan su eficacia.

El análisis económico de la propuesta plantea un presupuesto anual total de \$28.083.439, a incluir costos de repuestos, insumos, herramientas y mano de obra. Mediante el análisis del punto de equilibrio, se concluyó que una producción mínima de 6000 kilogramos es suficiente para cubrir estos costos, demostrando la viabilidad financiera del plan. Además, la implementación del plan permitirá reducir a la mitad los tiempos de inactividad, mitigando las pérdidas económicas y optimizando la producción.

Esta propuesta no solo ofrece una solución técnica y económica a los problemas actuales de mantenimiento de la empresa, sino que también posiciona a Vijom Ltda. como una organización preparada para afrontar los desafíos del mercado, garantizando la calidad de sus productos y la continuidad operativa de sus procesos.

ÍNDICE

RESUMEN.....	2
INTRODUCCIÓN	7
OBJETIVOS	8
Objetivo General.....	8
Objetivos Específico.....	8
CAPITULO 1: ANTECEDENTES GENERALES, DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y JERARQUIZACIÓN DE EQUIPOS VIJOM LTDA.....	9
1. ANTECEDENTES GENERALES, DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y JERARQUIZACIÓN DE EQUIPOS VIJOM LTDA.....	10
1.1. EMPRESA VIJOM LTDA.	10
1.1.1. Descripción de la empresa	10
1.2. MATERIA PRIMA.....	10
1.3. PROCESO PRODUCTIVO DE LA EMPRESA	10
1.4. MARCO GENERAL	12
1.5. PROBLEMÁTICA	13
1.6. EXTRUSORA PARA BOLSAS	13
1.6.1. Sistemas principales de maquina extrusora para bolsas.....	14
1.7. ANÁLISIS DE CRITICIDAD EN EQUIPOS	18
1.7.1. Matriz cualitativa de riesgo	19
1.7.2. Jerarquización de equipos.....	22
CAPITULO 2: MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (FMECA)..	24
2. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (FMECA)	25
2.1. DEFINICIÓN DE LA INTENCIÓN DEL DISEÑO	25
2.1.1. Intención de diseño de extrusora para bolsas.....	25
2.1.2. Análisis funcional basado en diagrama SIPOC	27
2.2. IDENTIFICACIÓN DE MODOS DE FALLA, EFECTOS Y CONSECUENCIA..	29
2.3. JERARQUIZACIÓN DE LOS MODOS DE FALLA	33
2.3.1. Severidad de los modos de falla	33
2.3.2. Ocurrencia de los modos de falla.....	35
2.3.3. Detección de los modos de falla	35
2.4. NUMERO DE PRIORIDAD DE RIESGO.....	36
2.5. CONSECUENCIA Y EFECTOS DE MODOS DE FALLA.....	39
2.6. DIAGRAMA DE DECISIÓN RCM.....	47
2.6.1. Evaluación de consecuencias.....	48
2.7. RESULTADOS ANÁLISIS RCM.....	51

CAPITULO 3: PLANIFICACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO Y COSTOS ASOCIADOS	55
3. PLANIFICACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO Y COSTOS ASOCIADOS	56
3.1. PLANIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO.....	56
3.1.1. Ficha de inspección	57
3.1.2. Pauta de trabajo	59
3.1.3. Orden de trabajo	60
3.1.4. Medidas de seguridad	62
3.2. COSTOS ASOCIADOS A LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO	64
3.2.1. Impacto producción	64
3.2.2. Costos de repuestos, insumos y equipos de protección personal	64
3.2.3. Costos de mano de obra.....	67
3.2.4. Inversión en Herramientas	69
3.2.5. Análisis de factibilidad	70
CONCLUSIÓN	75
BIBLIOGRAFIA	76
ANEXOS	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Diagrama de procesos empresa Vijom Ltda.	12
Figura 1-2 Extrusora de plástico para bolsas.....	14
Figura 1-3 Sistema tolva.....	14
Figura 1-4 Sistema extrusor.....	15
Figura 1-5 Sistema de calefactores.....	16
Figura 1-6 Sistema tiro superior.....	16
Figura 1-7 Sistema elevación de torre.....	17
Figura 1-8 Sistema de enfriamiento.....	17
Figura 1-9 Sistema bobinador.....	18
Figura 1-10 Matriz cualitativa de riesgo.....	22
Figura 2-1 Intención de diseño extrusora para bolsas.....	27
Figura 2-2 Diagrama de proceso extrusora de bolsas.....	29
Figura 2-3 Diagrama de decisiones RCM	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Frecuencia de fallas.....	20
Tabla 1-2 Impacto operacional.....	20
Tabla 1-3 Flexibilidad operacional.....	20
Tabla 1-4 Costos de mantenimiento.....	21
Tabla 1-5 Seguridad y Medio ambiente.....	21
Tabla 1-6 Jerarquización de equipos.....	22
Tabla 2-1 Análisis Funcional SIPOC	28
Tabla 2-2 Identificación de modos de falla Tolva.....	30
Tabla 2-3 Identificación de modos de falla Extrusor.....	30
Tabla 2-4 Identificación de modos de falla Calefactores.....	30
Tabla 2-5 Identificación de modos de falla Tiro Superior.....	31
Tabla 2-6 Identificación de modos de falla Elevación de torre.....	31
Tabla 2-7 Identificación de modos de falla Tiro Superior.....	32
Tabla 2-8 Identificación de modos de falla Bobinador.....	32
Tabla 2-9 Evaluación de severidad Norma SAE J1739	34
Tabla 2-10 Evaluación de ocurrencia Norma SAE J1739.....	35
Tabla 2-11 Evaluación de detección Norma SAE J1739.....	36
Tabla 2-12 Escala determinación nivel de prioridad modos de falla.....	36
Tabla 2-13 Asignación de número de prioridad subsistema tolva.....	37
Tabla 2-14 Asignación de número de prioridad subsistema extrusor.....	37
Tabla 2-15 Asignación de número de prioridad subsistema calefactores.....	37
Tabla 2-16 Asignación de número de prioridad subsistema enfriamiento.....	38
Tabla 2-17 Asignación de número de prioridad subsistema elevación de torre.....	38
Tabla 2-18 Asignación de número de prioridad subsistema tiro superior.....	38
Tabla 2-19 Asignación de número de prioridad subsistema bobinador.....	39
Tabla 2-20 Efectos de falla subsistema tolva.....	40
Tabla 2-21 Efectos de falla subsistema extrusor.....	41
Tabla 2-22 Efectos de falla subsistema calefactores.....	42
Tabla 2-23 Efectos de falla subsistema enfriamiento.....	43
Tabla 2-24 Efectos de falla subsistema elevación de torre.....	44
Tabla 2-25 Efectos de falla subsistema tiro superior.....	45
Tabla 2-26 Efectos de falla subsistema bobinador.....	46
Tabla 2-27 Formato de hoja de decisión.....	47
Tabla 2-28 Hoja de decisión extrusor.....	51
Tabla 2-29 Hoja de decisión calefactores.....	52
Tabla 2-30 Hoja de decisión enfriamiento	52
Tabla 2-31 Hoja de decisión elevación de torre	53
Tabla 2-32 Hoja de decisión tiro superior	53
Tabla 2-33 Hoja de decisión bobinador.....	54
Tabla 3-1 Ficha de inspección.....	58
Tabla 3-2 Pauta de trabajo	60
Tabla 3-3 Orden de trabajo	61
Tabla 3-4 AST análisis seguridad en el trabajo.....	63
Tabla 3-5 Impacto producción.....	64
Tabla 3-6 Costos insumos	65
Tabla 3-7 Costos de Equipos de Protección Personal	65

Tabla 3-8 Costos de Repuestos.....	66
Tabla 3-9 Remuneración mensual	67
Tabla 3-10 Costos de mano de obra	68
Tabla 3-11 Inversión en Herramientas	69
Tabla 3-12 Inversión en Herramientas Especializadas.....	70
Tabla 3-13 Flujo de caja base	72
Tabla 3-14 Escenario estático con aumento fijo del 3%	72
Tabla 3-15 Escenario dinámico A con un crecimiento del 1%	73
Tabla 3-16 Escenario dinámico B con un crecimiento del 3%.....	73
Tabla 3-17 Costos por no producción	74

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1 Cálculo de riesgo.....	19
Ecuación 1-2 Cálculo de consecuencia	19
Ecuación 2-1 Cálculo de número de prioridad.....	33

SIGLAS

PEAD: polietileno de alta densidad.

PEBD: Lineal de baja densidad.

SPC: Según especificación.

USDA: Estados unidos.

EURO: Europa.

RCM: Mantenimiento centrado en la confiabilidad.

FMECA: Análisis de modos, efectos de fallos y criticidad.

FF: Frecuencia de falla.

CF: Consecuencia.

IO: impacto operacional.

FO: Flexibilidad operacional.

CM: Costo de mantenimiento.

SHA: Impacto en seguridad, ambiental e higiene.

SIPOC: supplier, input, process, output and customer.

SAE: Sociedad de ingenieros automotrices.

NPR: Número de prioridad.

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento es una función esencial en cualquier industria, encargada de reparar, preservar, mejorar y asegurar el funcionamiento óptimo de los sistemas. En las últimas seis décadas, el campo del mantenimiento ha avanzado significativamente, dejando de ser visto como un "mal necesario" asignado a técnicos, para convertirse en un factor clave en la competitividad y rentabilidad de las empresas. Su impacto abarca tanto la eficiencia de producción como los costos operativos. A raíz de estos avances, han surgido metodologías sofisticadas que permiten la implementación de planes de mantenimiento más efectivos en entornos industriales.

Sin embargo, muchas pequeñas y medianas empresas aún no han adoptado una mentalidad moderna sobre la importancia del mantenimiento industrial, y mucho menos han incorporado metodologías adecuadas para su planificación. Este es el caso de "Manufacturas de Plásticos Vijom Ltda.", donde existe una falta de preocupación por el mantenimiento adecuado de los activos industriales, lo que compromete su estado y funcionamiento.

El propósito de esta investigación es aplicar la metodología RCM (Reliability-Centered Maintenance) para seleccionar las tareas de mantenimiento óptimas, garantizando así la confiabilidad de los equipos críticos. A través de este enfoque, se busca reducir el riesgo de fallas inesperadas que provoquen paradas en la planta y afecten la continuidad de la producción en Manufacturas de Plásticos Vijom Ltda. Actualmente, la empresa opera sus extrusoras 24 horas al día, 6 días a la semana, pero las fallas imprevistas en estos equipos generan pérdidas que pueden alcanzar hasta 6.381.257 CLP por día en las extrusoras pequeñas y 8.508.343 CLP en las grandes. Además, la falta de personal para cubrir todos los turnos y el escaso control sobre los costos de mantenimiento y el stock de repuestos agravan la situación, lo que hace necesario un enfoque preventivo para minimizar las interrupciones y optimizar la eficiencia operativa.

OBJETIVOS

Objetivo General

Elaborar plan de mantenimiento a extrusoras de plástico para bolsas de la empresa manufacturas de plásticos Vijom Ltda., mediante el proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad, asegurando la función optima y confiabilidad en el sistema de extrusión.

Objetivos Específico

1. Analizar el proceso productivo de Vijom Ltda. en la fabricación de bolsas, para selección del equipo crítico mediante una matriz cualitativa de riesgo, priorizando actividades de mantenimiento y optimizando la eficiencia operativa.
2. Jerarquizar los modos de fallo de equipo crítico mediante el análisis de modos, efectos de fallos y criticidad “FMECA”, para la selección de las labores de mantenimiento.
3. Planificar las tareas de mantenimiento mediante análisis técnico y económico, utilizando flujo de caja para la evaluación de factibilidad del plan propuesto.

**CAPITULO 1: ANTECEDENTES GENERALES, DESCRIPCIÓN DE LA
EMPRESA Y JERARQUIZACIÓN DE EQUIPOS VIJOM LTDA.**

1. ANTECEDENTES GENERALES, DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y JERARQUIZACIÓN DE EQUIPOS VIJOM LTDA.

1.1. EMPRESA VIJOM LTDA.

El trabajo de título se realizará en la empresa “Manufacturas de plásticos Vijom” Esta empresa se ubica en calle troncal, S.N, El escorial, Panquehue.

Manufacturas de plásticos Vijom se dedica a la fabricación de bolsas plásticas por extrusión de polietileno de alta densidad como bolsas camiseta, bolsas para exportación de uva, rollos predicados, láminas, mangas para secado de fruta, etc., En gran variedad de medidas, color y espesor.

1.1.1. Descripción de la empresa

La Planta de Manufacturas de plásticos Vijom fundada en 1988 en el valle de Aconcagua esta tiene una construcción de 2.300 m² y una producción del año 2020 de 1.269.652 kilos.

Producción de bolsas para fruta 33.557.000 bolsas / 614.520 kilos

Producción de bolsas camisa 86.002.500 bolsas / 372.900 kilos

Producción de bolsas prepicadas 33.983 rollos / 282.232 kilos

Dentro de la planta trabajan alrededor de 29 personas las cuales tienen diferentes cargos como administración, mantención, operadores, ventas, logística, control de calidad, supervisión de trabajo, carga de pallets de bultos de bolsas.

1.2. MATERIA PRIMA

La materia prima utiliza para el proceso de extrusión es polietileno de alta densidad aglomerado (PEAD) el cual se mezcla con lineal de baja densidad (PEBD) para darle elasticidad a la manga y pigmento el cual le da color a la manga como, azul, rojo, negro, verde, etc. El color depende netamente del cliente.

1.3. PROCESO PRODUCTIVO DE LA EMPRESA

Comprender el proceso productivo de la empresa es fundamental para identificar los procesos críticos que están directamente relacionados con la maquinaria y equipos más importantes en la producción (Ver figura 1-1.). Estos requieren una atención prioritaria. El proceso comienza

con la materia prima, que incluye polietileno de alta densidad (PEAD), polietileno lineal de baja densidad (PEBD) y pigmentos, los cuales otorgan color a la manga de polietileno (PE). Estos materiales se mezclan en diferentes proporciones: 88% de PEAD, 8% de PEBD y 4% de pigmento. En los casos en que las bolsas no llevan pigmento, la mezcla consiste en un 91% de PEAD y un 9% PEBD.

Una vez realizada la mezcla, esta se envía al proceso de extrusión. Según el orden de producción, se procede a extruir las mangas de polietileno siguiendo las especificaciones técnicas establecidas. Durante la extrusión, la mezcla se vacía y se genera una burbuja de polietileno, que es estirada y transformada en un tubo. En esta etapa se controlan parámetros clave como el ancho, el fuelle, el largo, el grosor (micronaje), la velocidad del aire y la temperatura, asegurando que la burbuja tenga una salida concéntrica.

En algunos casos, según los requisitos del cliente, se imprime información en la manga de polietileno, como el porcentaje de ventilación, el logotipo o el código del producto. Esto es habitual en la producción de bolsas para exportación de uva. En esta etapa, el control de calidad verifica el micronaje, el ancho y el largo.

Tras la extrusión, el operador retira el rollo de film del bobinador, lo pesa y lo envuelve para evitar contaminación. Se registra el diámetro de la manga, el grosor y el peso en una etiqueta que se adhiere al rollo. El rollo se envía luego al proceso de perforado, sellado, corte, envasado y etiquetado, donde se controla la longitud de la bolsa.

Al igual que en proceso anterior se recibe una orden de producción de acuerdo con SPC cliente media – con o sin prepicado – perforaciones (9% USDA y 3% EURO) y volumen necesario. Control de calidad chequea en esta etapa el sellado, prepicado, corte, perforado y kilos.

Finalmente, las bolsas ya cortadas, selladas y perforadas se embalan en lotes de acuerdo con las especificaciones del cliente (1000 unidades por bulto, con 10 paquetes de 100 unidades cada uno). A cada bulto se le añade una etiqueta de trazabilidad que incluye la fecha, el turno, la máquina selladora y el nombre del operador. Estos bultos se acumulan en pallets, los cuales

se envuelven con film stretch antes de ser enviados a la bodega de producto terminado, donde permanecen hasta su despacho al cliente.

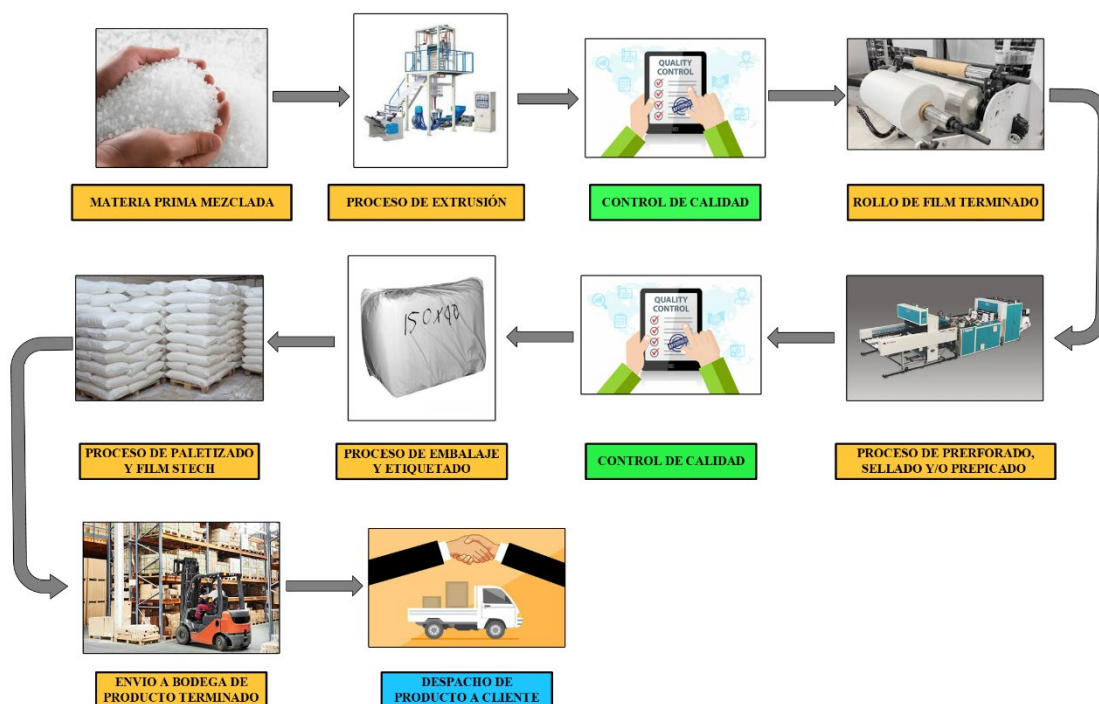


Figura 1-1 Diagrama de procesos empresa Vijom Ltda.

Fuente: Elaboración propia.

1.4. MARCO GENERAL

Las ganancias obtenidas por Vijom Ltda. Están focalizados a la fabricación de bolsas y venta de estas, a través del proceso productivo se nombra “proceso de extrusión” la cual se encarga de crear la manga de polietileno por ende esta etapa es la base del proceso de fabricación por lo que se debe tener un particular cuidado ya que ahí se concentran las ganancias de la empresa.

El área de mantenimiento de la empresa ha tenido percances el último año debido a fallas inesperadas que le han sucedido al proceso de extrusión, provocando la detención completa del proceso por efecto genera pérdida de producción y ganancias a la empresa. Las mantenciones las realizan a base de la experiencia laboral que ha adquirido dentro de los años en el área industrial.

El mantenimiento que realizan los técnicos en la empresa no es el más adecuado ya que se interviene la máquina cuando se detiene o cuando algún componente o sistema presenta alguna anomalía dejando de lado una correcta gestión del mantenimiento. Este método que tiene la empresa actualmente no favorece en nada dado que van en aumento las fallas imprevistas.

1.5. PROBLEMÁTICA

La principal problemática en la empresa Vijom Ltda. Radica en la ausencia de un plan de mantenimiento preventivo, lo que ha derivado en una fuerte dependencia del mantenimiento correctivo. Las extrusoras en la producción de bolsas plásticas, trabajan 24 horas al día, 6 días a la semana. Sin embargo, las fallas imprevistas en las extrusoras generan paradas de producción que pueden resultar en pérdidas significativas. Las extrusoras pequeñas, con una capacidad de 60 kg/hora, pueden generar pérdidas de hasta \$6.381.257 por día de inactividad, mientras que las extrusoras grandes, que producen 80 kg/hora, pueden ocasionar pérdidas de \$8.508.343 diarias. Además, la empresa solo cuenta con un mantenedor y un eléctrico, cubriendo 2 de los 3 turnos, lo que deja sin atención las posibles fallas en el tercer turno. Este modelo reactivo, junto con la falta de stock de repuestos y el escaso control de los costos de mantenimiento, ha ocasionado paradas variables que pueden durar horas o días, afectando gravemente la producción. Adicionalmente, la falta de manuales técnicos y el conocimiento limitado sobre una gestión de mantenimiento adecuada agravan la situación, lo que pone en riesgo la continuidad operativa de la empresa.

1.6. EXTRUSORA PARA BOLSAS

La extrusora de plástico para bolsas funciona mediante la alimentación de un material plástico en un extremo de la máquina a través de una tolva, donde es calentado en un cilindro a temperaturas superiores a 200 grados Celsius hasta alcanzar un estado viscoso y procesado bajo condiciones controladas de temperatura y presión. A medida que el tornillo de la extrusora gira, el plástico fundido es empujado a través de una boquilla que le da forma de manga. (Ver figura 1-2)

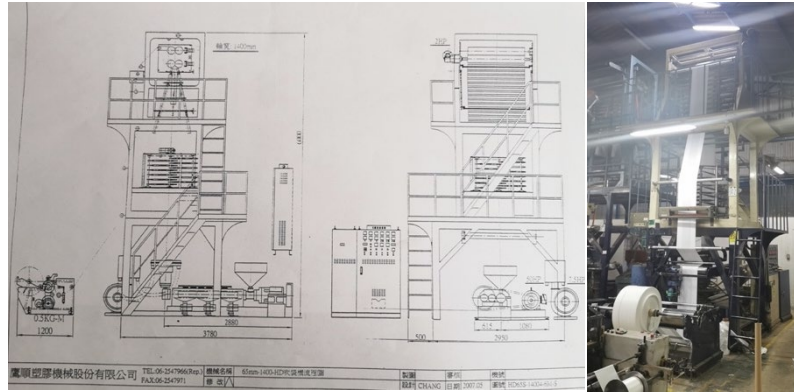


Figura 1-2 Extrusora de plástico para bolsas.

Fuente: Vijom Ltda.

1.6.1. Sistemas principales de maquina extrusora para bolsas

1.6.1.1. Sistema tolva

Se encarga de almacenar y alimentar el extrusor de materia prima, almacena aproximadamente 75 kilos de materia prima. (Ver figura 1-3.)

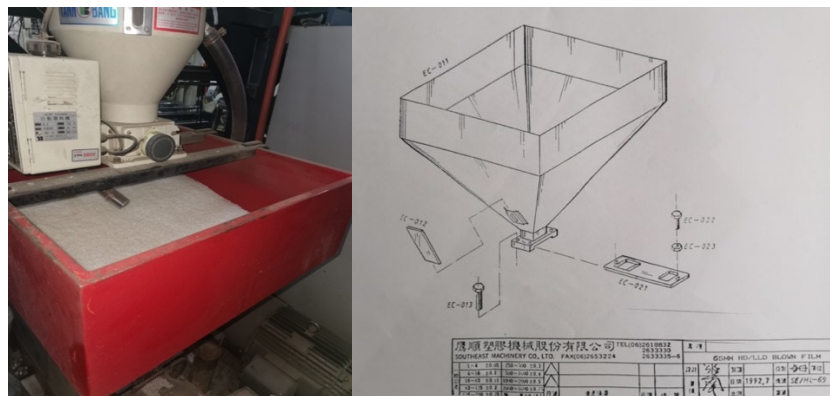


Figura 1-3 Sistema tolva.

Fuente: Vijom Ltda.

1.6.1.2. Sistema extrusor

El extrusor cuenta con un motor eléctrico AC que acciona una caja reductora mediante una correa de transmisión la cual le da movimiento al extrusor el cual es un eje sin fin el que lleva la materia prima entregada por la tolva. (Ver figura 1-4.)



Figura 1-4 Sistema extrusor.

Fuente: Vijom Ltda.

1.6.1.3. Sistema de calefactores

Los calefactores son componentes con forma de C los cuales abrazan la camisa exterior desde la zona de tornillo, filtro, cabezal cuerpo y cabezal corona son los encargados de fundir la materia prima. Los calefactores se configuran con diferentes temperaturas. En las extrusoras pequeñas las temperaturas suelen ser más elevadas que en las extrusoras grandes, ya que el tramo de tornillo extrusor es más pequeño. (ver figura 1-5.) Las temperaturas empiezan aproximadamente en 220 grados Celsius empiezan a descender en los demás calefactores. Empieza en el tornillo extrusor zona 1 a 225 grados Celsius, zona 2 a 220 grados Celsius zona 3 a 215 grados Celsius. (la zona 3 depende de la extrusora ya que las pequeñas solo tienen 2 zonas y las grandes 3 zonas). El filtro se encuentra zona 4 a 210 grados Celsius. El cabezal cuerpo se encuentra zona 5 a 200 grados Celsius. El cabezal corona se encuentra zona 6 a 198 grados Celsius. (Ver figura 1-5.)

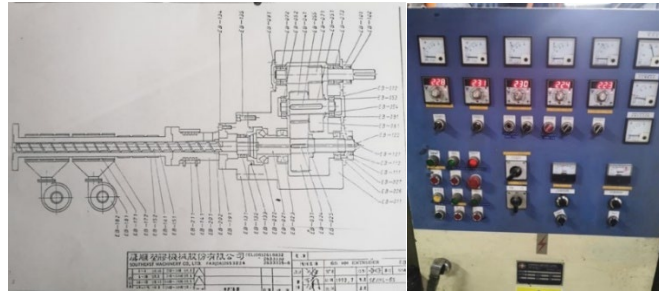


Figura 1-5 Sistema de calefactores.

Fuente: Vijom Ltda.

1.6.1.4. Sistema de tiro superior

El tiro superior es un conjunto de 2 rodillos uno de goma y otro de acero el cual un motor AC conectado a una caja reductora le transmite movimiento al rodillo de goma el cual se adhiere a la manga para mantener la manga estirada y darle el espesor dependiendo de la velocidad que le dé el operador. (Ver figura 1-6.)

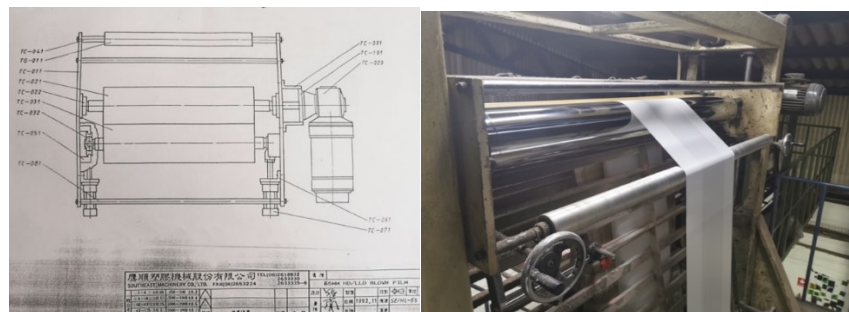


Figura 1-6 Sistema tiro superior.

Fuente: Vijom Ltda.

1.6.1.5. Sistema de elevación de torre

La elevación de torre consta de un motor AC conectado a una caja reductora la cual transmite movimiento a eje mediante cadena. El eje cuenta con unos piñones en cada extremo los cuales están acoplados a dos ejes sin fin. Al ser accionado la botonera del motor procede a elevar o descender la torre. La cual su función es determinar el largo de la manga de polietileno y dar mayor periodo de enfriamiento. (Ver figura 1-7.)

1.6.1.7. Sistema bobinador

El sistema bobinador consta con un motor reductor el cual transmite movimiento a 2 rodillos por medio de una cadena a un 1 rodillo de goma y 1 rodillo de acero inoxidable, El rodillo de goma mantiene la manga estirada y el rodillo de acero inoxidable entrega la manga de polietileno al cono donde bobina el rollo de film terminado. (Ver figura 1-9.)

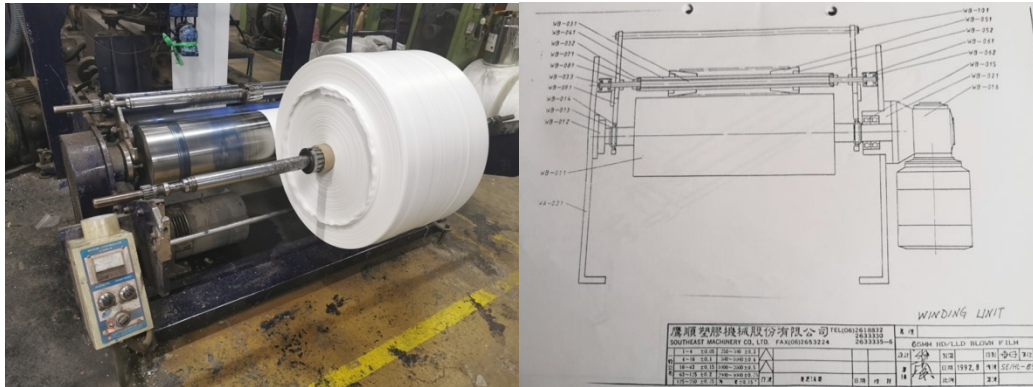


Figura 1-9 Sistema bobinador.

Fuente: Vijom Ltda.

1.7. ANÁLISIS DE CRITICIDAD EN EQUIPOS

El primer paso para implementar la metodología RCM, es realizar un análisis de criticidad para identificar el o los equipos de alto riesgo, los cuales, a causa de su importancia, serán los elegidos para implementar un análisis de modos de falla, efectos y criticidad (FMECA), para escoger gracias a este, el trabajo de mantenimiento más adecuado para atacar las fallas.

1.7.1. Matriz cualitativa de riesgo

La metodología elegida para jerarquizar los equipos será la matriz cualitativa de riesgos, esta permite evaluar los equipos según sus fallas mediante dos factores importantes, el primer factor es la frecuencia de fallas y el segundo factor la consecuencia de fallas.

Ecuación 1-1 Cálculo de riesgo.

$$RIESGO = FRECUENCIA (FF) \cdot CONSECUENCIA (CF)$$

Ecuación 1-2 Cálculo de consecuencia

$$CF = [(IO \cdot FO) + CM + SHA]$$

FF: Frecuencia de falla.

CF: Consecuencia.

IO: Impacto operacional.

FO: Flexibilidad operacional.

CM: Costo de mantenimiento.

SHA: Impacto en seguridad, ambiental e higiene.

FF: Indica la cantidad de fallas que posee cualquier equipo en un tiempo determinado.

CF: Indica la gravedad de la falla ocurrida.

IO: Es el porcentaje o capacidad de producción que se afecta cuando ocurre la falla, es un indicador que representa el efecto en la continuidad operacional de la planta.

FO: Es el tiempo de reparación de la falla (actividades de logística y ejecución de la reparación), está enfocado a la disponibilidad de función de los equipos, es importante este criterio, ya que determina el grado de impacto de los equipos en la empresa.

CM: Costo de falla, enfocado a los costos asociados al mantenimiento, reparación y operación del equipo.

SHA: Es la posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños a personas, instalaciones y/o daños al ambiente.

Tabla 1-1 Frecuencia de fallas.

Frecuencia de fallas (FF)	Cifra
Mayor a 8 fallas / año	5
Entre 7 y 6 fallas / año	4
Entre 5 y 4 fallas / año	3
Entre 3 y 2 fallas / año	2
Menor a 1 falla / año	1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1-2 Impacto operacional.

Impacto operacional (IO)	Cifra
Detiene la producción	5
Disminuye la producción	4
Produce costos operacionales graves	3
Produce costos operacionales bajos	2
No origina ningún efecto negativo	1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1-3 Flexibilidad operacional.

Flexibilidad operacional (FO)	Cifra
La reparación dura más de 24 horas	5
La reparación dura entre 24 y 20 horas	4
La reparación dura entre 20 y 12 horas	3
La reparación dura entre 12 y 6 horas	2
La reparación dura menos de 6 horas	1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1-4 Costos de mantenimiento.

Costos de Mantenimiento (CM)	Cifra
Sobre \$700.000	5
entre \$700.000 y \$500.000	4
entre \$500.000 y \$200.000	3
entre \$200.000 y \$50.000	2
entre \$50.000 y \$0	1

Fuente: elaboración propia.

Tabla 1-5 Seguridad y Medio ambiente.

Seguridad y Medio ambiente (SHA)	Cifra
Alto impacto en la seguridad humana / ambiental	5
Afecta las instalaciones causando severos daños.	4
Provoca daños menores (accidentes e incidentes), impacto ambiental bajo.	3
Provoca molestias mínimas en las instalaciones y ambiente.	2
No provoca ningún daño y ningún impacto ambiental	1

Fuente: Elaboración propia.

1.7.2. Jerarquización de equipos

La jerarquización permite identificar los equipos más críticos para el proceso productivo, priorizando los que pueden afectar la producción, seguridad, o impacto ambiental, y sirve como base para el análisis de criticidad en el mantenimiento basado en confiabilidad. Este enfoque facilita la priorización de acciones de mantenimiento.

Tabla 1-6 Jerarquización de equipos.

EQUIPO		FRECUENCIA	I.O	F.O	C.M	S.H.A	CF	TOTAL
1	Extrusoras	5	5	5	4	5	34	170
2	Prepicadoras	4	4	3	3	2	17	68
3	Selladoras	3	4	3	3	3	18	54
4	Grúa Horquilla	3	2	1	2	2	6	18
5	Camión	2	2	1	3	2	7	14

Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-10 Matriz cualitativa de riesgo.

Frecuencia	5							1
	4		2					
	3	4		3				
	2		5					
	1							
		5	10	15	20	25	30	35
		Consecuencia						

Riesgo por clasificación	Critico	
	Semi critico	
	No critico	

Fuente: Elaboración propia.

El contexto general de la empresa y el proceso productivo junto con la identificación y jerarquización de equipos que intervienen en la fabricación de bolsas plásticas. Por medio del análisis de parámetros como frecuencia de fallas, impacto en la operación, costos de mantenimiento, aspectos seguridad y medioambiente se estableció una clasificación de criticidad que permite priorizar adecuadamente los recursos y esfuerzos del área de mantenimiento.

La jerarquización realizada demuestra que las extrusoras son los equipos más críticos del proceso, al tener el mayor puntaje de riesgo. Poo esto lo posiciona como el foco principal para aplicarle estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo.

Este análisis es fundamental para abordar con mayor profundidad la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM). La información identificada en permite establecer una base sólida para la toma de decisiones.

CAPITULO 2: MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (FMECA)

2. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (FMECA)

2.1. DEFINICIÓN DE LA INTENCIÓN DEL DISEÑO

La primera etapa en la implementación de un Análisis de Modo de Falla, Efectos y Criticidad (FMECA) es establecer la intención del diseño. Esta etapa es crucial para comprender a fondo cómo opera el sistema, identificando las condiciones y los parámetros bajo los cuales se lleva a cabo el proceso. La intención del diseño proporciona la base para realizar un análisis funcional detallado, una tarea fundamental que se apoya en la estructura del diagrama SIPOC (Proveedores, Entradas, Proceso, Salidas y Clientes)

A través del análisis funcional, las distintas funciones del proceso se dividen y describen claramente, permitiendo una comprensión más profunda de cómo interactúan sus componentes. Este desarrollo no solo ayuda a identificar las funciones primarias y secundarias, sino que también sirve como base para la detección de los posibles modos de falla que pueden afectar el rendimiento del sistema. De esta manera, la intención del diseño guía el enfoque del FMECA hacia una identificación precisa de los riesgos, asegurando que las decisiones de mantenimiento y mitigación de fallas estén alineadas con el propósito operativo del sistema.

2.1.1. Intención de diseño de extrusora para bolsas

El proceso de extrusión comienza en la tolva, que tiene una capacidad de aproximadamente 75 kg de polietileno de alta densidad, previamente mezclado con pigmentos y polietileno lineal de baja densidad. Esta mezcla es transportada al sistema extrusor, cuyo elemento principal es un tornillo sin fin. Este tornillo tiene la función de mover, comprimir y fundir la materia prima, que debe alcanzar temperaturas operativas dentro del rango de 190°C a 210°C. El sistema de calefacción, alimentado por energía eléctrica de 380 V, está estratégicamente colocado alrededor del tornillo sin fin para asegurar la distribución uniforme del calor y el correcto procesamiento del material.

A medida que el polietileno fundido avanza por el tornillo, la temperatura desciende gradualmente desde el filtro hasta el cabezal, donde la masa fundida toma la forma de una burbuja tubular. Esta burbuja es generada por un sistema de enfriamiento que utiliza una

turbina accionada por un motor eléctrico, la cual inyecta aire del exterior. El aire no solo enfría la burbuja, sino que también le da su forma tubular característica. Este enfriamiento controlado es fundamental para garantizar la integridad y consistencia del film plástico, evitando deformaciones.

La burbuja es posteriormente transportada hacia el sistema de tiro superior, que está compuesto por rodillos de goma y acero inoxidable. Estos rodillos, accionados por un motor eléctrico y una caja reductora, estiran la película y la mantienen en movimiento continuo. La tensión de la burbuja debe ser mantenida de manera precisa para evitar imperfecciones, y para ello se utiliza un sistema de elevación de torre. Este sistema, también impulsado por un motor eléctrico y husillos, ajusta la altura de la burbuja según sea necesario para mantener la estabilidad del proceso.

Después de pasar por el sistema de tiro, la película tubular sigue su recorrido a través de una serie de rodillos diseñados para mantenerla estirada y libre de arrugas. Estos rodillos garantizan que el material llegue en condiciones óptimas al sistema bobinador, donde es enrollado en un cono de cartón para formar el rollo de película plástica final. El sistema bobinador utiliza un motor reductor para transmitir movimiento a los rodillos de goma y acero inoxidable, garantizando un bobinado uniforme y libre de defectos.

Los parámetros operativos, tales como la velocidad de los motores, el grosor de la película y las temperaturas en diferentes etapas del proceso, son controlados manualmente por el operador de la extrusora. La capacidad de producción de las máquinas varía en función de estos parámetros. En condiciones normales, la extrusora grande puede producir alrededor de 80 kg de film plástico por hora, mientras que la extrusora pequeña produce aproximadamente 60 kg/hora. Esto se traduce en una producción diaria aproximada de 1.920 kg en la extrusora grande y 1.440 kg en la extrusora pequeña, en un ciclo continuo de 24 horas.

El diseño de las extrusoras permite un control preciso de los parámetros operacionales, lo que garantiza la eficiencia del proceso y la calidad del producto final. Además, su operación constante minimiza el riesgo de paradas imprevistas, asegurando la continuidad de la producción de bolsas plásticas. (Ver figura 2-1.)

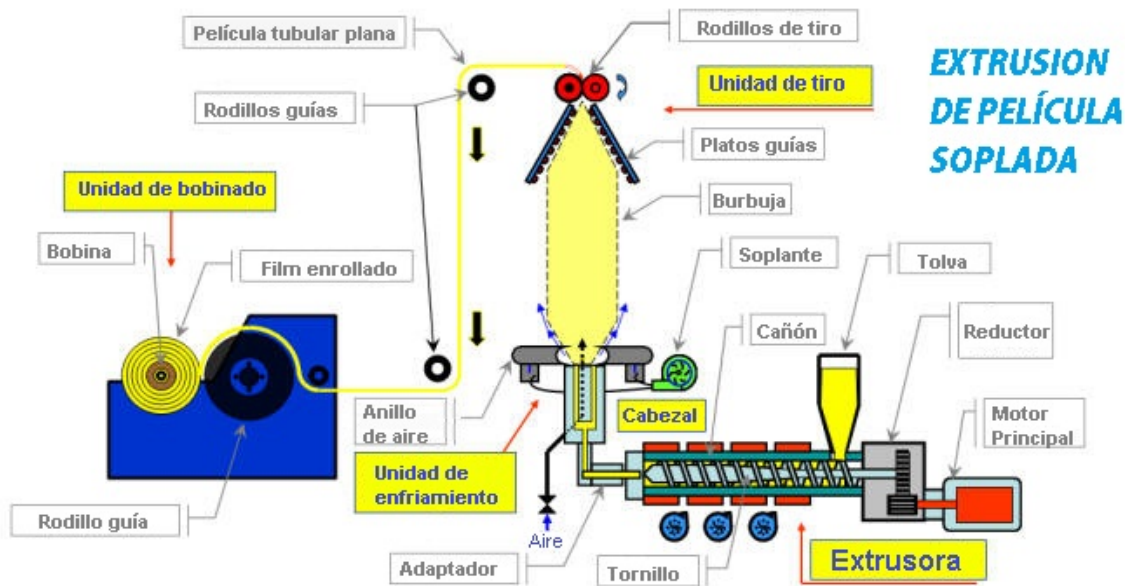


Figura 2-1 Intención de diseño extrusora para bolsas.

Fuente: informaticaaplicadaaenj.wordpress.com

2.1.2. Análisis funcional basado en diagrama SIPOC

El diagrama SIPOC (sigla de supplier, input, process, outer and customer) es una herramienta fundamental en el análisis funcional de cualquier sistema, ya que proporciona una visión estructurada y global de los procesos involucrados.

Este análisis funcional, basado en el diagrama SIPOC, se alinea directamente con las etapas definidas en la intención del diseño de la extrusora. El desglose funcional de las etapas del proceso se convierte en la base sobre la cual se identifican y analizan los modos de falla potenciales dentro del sistema. Al tener una visión clara de cada componente del proceso, desde la recepción de la materia prima hasta la producción y la entrega de las bobinas de film plástico, es posible detectar puntos críticos donde podrían surgir fallos, que afectan la calidad, la productividad o la eficiencia del sistema. (Ver tabla 2-1.)

Tabla 2-1 Análisis Funcional SIPOC

Sistema	Proveedor/Supplier	Entrada/Input	Proceso/Process	Salida/Output	Cliente/Customer
Tolva	Operador	Polietileno de alta densidad aglomerado	Almacena y suministra polietileno de alta densidad mezclado	Polietileno de alta densidad aglomerado	Extrusor
Extrusor	Tolva	Polietileno de alta densidad aglomerado	Transporta el polietileno de alta densidad desde la entrada de la tolva hasta la salida del cabezal	Polietileno de alta densidad fundido entre 190° y 200° Celsius.	Tiro superior
Calefactores	Controladores de temperatura	Energía eléctrica 380V	Encargados de fundir el polietileno de alta densidad	Temperatura de trabajo 190°-200° Celsius.	Extrusor
Sistema de enfriamiento	Operador	Aire exterior Energía 220V	Responsable de mantener la temperatura a margen dentro del cabezal y genera la burbuja formando la manga	Genera y elevar la burbuja de polietileno de alta densidad formando la manga.	Extrusor / Tiro superior
Elevación de torre	Operador	Energía eléctrica 220V	Eleva o desciende la torre determinando la altura adecuada del tiro superior	Determina la altura adecuada del tiro superior.	Tiro superior
Tiro Superior	Extrusor	Energía eléctrica 220V	Recibe la burbuja en forma de manga desde el extrusor y la aplana dejándola en una película	Aplana la manga dejándola en una película tubular plana.	Bobinador
Bobinador	Tiro Superior	Energía eléctrica 380V	Recibe la película tubular plana y la enrolla en un cono de cartón formando un rollo de film de polietileno de alta densidad	Rollo de película de polietileno de alta densidad.	Proceso completo

Fuente: Elaboración propia.

2.2. IDENTIFICACIÓN DE MODOS DE FALLA, EFECTOS Y CONSECUENCIA

Para cada falla identificada en el equipo crítico, es esencial definir los modos de falla, es decir, las maneras específicas en que el equipo pierde su capacidad de cumplir su función designada. A continuación, se deben establecer los efectos de dichas fallas, las repercusiones inmediatas en el proceso o el equipo. Finalmente, se debe evaluar detalladamente las consecuencias de cada falla, determinando el impacto que estas generan en términos de producción, seguridad, costos operativos y calidad del producto. Este análisis permitirá priorizar las acciones correctivas y preventivas basadas en el riesgo asociado a cada modo de falla. (Ver figura 2-2.)

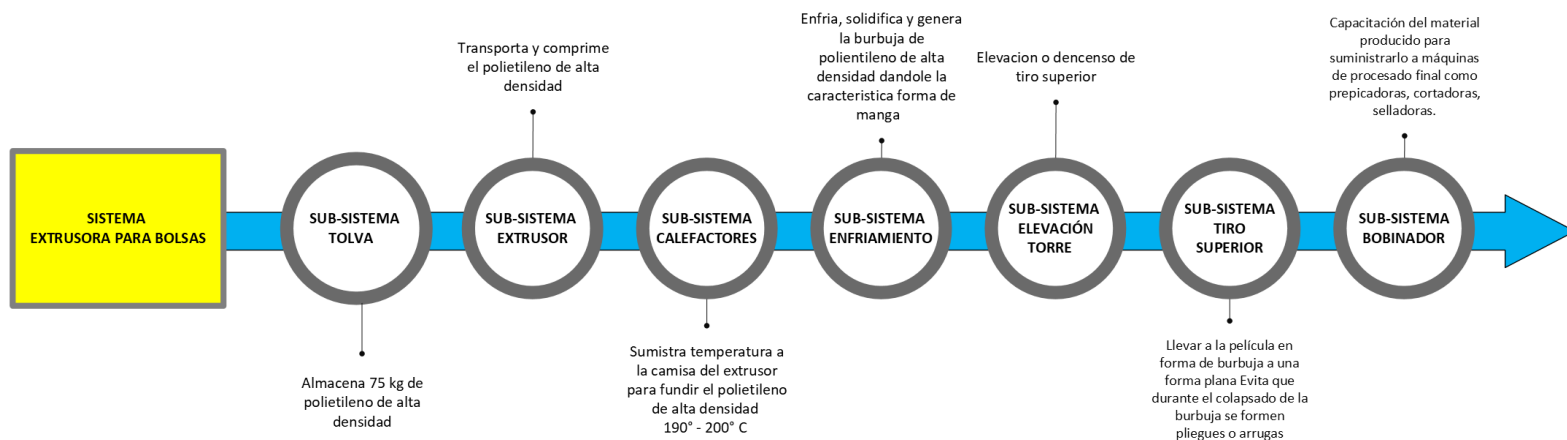


Figura 2-2 Diagrama de proceso extrusora de bolsas

Fuente: Elaboración propia.

Anticipar los eventos antes de que se presenten es una herramienta fundamental en el manejo de los modos de falla, ya que permite prevenir y mitigar situaciones que podrían ocurrir en las extrusoras. Cada modo de falla, junto con sus efectos asociados, debe ser considerado cuidadosamente para mantener un control efectivo de los posibles incidentes futuros. A través de esta anticipación, se busca detectar, corregir y prevenir cada modo de falla, asegurando que se implemente el mantenimiento más adecuado en cada situación. La identificación precisa de los modos de falla es clave para seleccionar las mejores acciones preventivas y correctivas, las cuales serán fundamentales en el plan de mantenimiento.

Tabla 2-2 Identificación de modos de falla Tolva.

Hoja de información RCM	Sistema Activo: Extrusora			
	Subsistema / Componente: Tolva			
Función	Falla funcional		Modo de falla	
1: Almacenar y suministrar polietileno al extrusor. Capacidad: 75 Kg Velocidad de alimentación: 2-5 Kg/min	A	Incapacidad de suministrar material al extrusor	1	Obstrucción en la compuerta de alimentación
	B	Material contaminado entregado al extrusor	1	Contaminación del material en la tolva

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-3 Identificación de modos de falla Extrusor.

Hoja de información RCM	Sistema Activo: Extrusora			
	Subsistema / Componente: Extrusor			
Función	Falla funcional		Modo de falla	
1: Fundir y transportar polietileno a través del tornillo. Velocidad del tornillo: 20-80 RPM Presión: 150 -250 bar	A	Falta de transmisión de potencia al tornillo sin aleta, afectando la capacidad de operación en los rangos de velocidad (20-80 RPM), y presión (150-250 bar)	1	Motor eléctrico 380V quemado
			2	Ruptura de correas de transmisión
			3	Poleas quebradas
			4	Piñón de caja reductora quebrado
			5	Contactador en corto circuito
	B	Transporte y mezcla ineficientes del polietileno	1	Desgaste excesivo del tornillo sin fin
			2	Filtro parcialmente bloqueado
			3	Desalineación de tornillo sin fin

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-4 Identificación de modos de falla Calefactores.

Hoja de información RCM	Sistema Activo: Extrusora			
	Subsistema / Componente: Calefactores			
Función	Falla funcional		Modo de falla	
1: Proveer calor para fundir el polietileno. Potencia: 10-30 KW Temperatura por zona: Entrada: 210°C Media: 200°C Cabezal: 190°C	A	Incapacidad de fundir el polietileno adecuadamente	1	Cables cortados
			2	Contactores en corto circuito
			3	Calefactor quemado
			4	Controladores de temperatura quemados
			5	Sensores de temperatura defectuoso

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-5 Identificación de modos de falla Tiro Superior.

Hoja de información RCM	Sistema Activo: Extrusora			
	Subsistema / Componente: Enfriamiento			
Función	Falla funcional		Modo de falla	
1: Controlar la temperatura de la burbuja y enfriarla para darle forma. Velocidad de la turbina: 1500-3000 RPM Flujo de aire: 500-1000 m ³ /h Temperatura del aire: 20-25°C	A	Incapacidad para mantener la forma de la burbuja debido a parámetro fuera del rango (Velocidad: 1500-3000 RPM, Flujo: 500-1000 m ³ /h, Temperatura: 20-25°C)	1	Obstrucción en las tomas o salidas de aire
			2	Motor eléctrico 220V quemado
			3	Conexión eléctrica defectuosa o suelta
			4	Ductos de aire cortados
	B	Disminución del caudal de aire en el sistema de enfriamiento por debajo del rango óptimo de 500-1000 m ³ /h, afectando el control de la burbuja	1	Desgaste de rodamientos
			2	Vibración excesiva en el ventilador
			3	Aspas de ventilador dañadas
			4	Ductos con fugas

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-6 Identificación de modos de falla Elevación de torre.

Hoja de información RCM	Sistema Activo: Extrusora			
	Subsistema / Componente: Elevación de torre			
Función	Falla funcional		Modo de falla	
1: Ajustar la altura de la torre para estabilizar la burbuja. Altura: 4-6 metros Velocidad de ajuste: 0.5-2 metros/minuto	A	Falta de movimiento en la torre	1	Ruptura de correa de transmisión
			2	Piñón de caja reductora quebrado
			3	Motor eléctrico 220V quemado
			4	Contactor en corto circuito
	B	Movimiento irregular o lento en el sistema de elevación	1	Desgaste o falta de lubricación en husillo
			2	Desgaste de rodamientos del husillo
			3	Botoneras de elevación sulfatadas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-7 Identificación de modos de falla Tiro Superior.

Hoja de información RCM	Sistema Activo: Extrusora			
	Subsistema / Componente: Tiro superior			
Función	Falla funcional		Modo de falla	
1: Aplanar y estirar la burbuja para formar una pelicular Velocidad de rodillos:10-50 metros/minuto Presión de contacto: 1-3 bar	A	No transmite potencia hacia rodillo de tiro	1	Correa de transmisión cortada
			2	Motor eléctrico 220V quemado
			3	Conexiones eléctricas flojas o sulfatadas
			4	Engranajes de transmisión quebrados
	B	Aplanado incorrecto de la burbuja	1	Presión de contacto inadecuada
			2	Rodillo de goma desgastado
			3	Rodamientos desgastados

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-8 Identificación de modos de falla Bobinador.

Hoja de información RCM	Sistema Activo: Extrusora			
	Subsistema / Componente: Bobinador			
Función	Falla funcional		Modo de falla	
1: Enrollar la película en un rollo uniforme Velocidad de bobinado: 20-60 metros/minutos Presión de contacto: 1-3 bar	A	Paradas frecuentes del sistema	1	Sobrecalentamiento del motor debido a sobrecarga o falta de enfriamiento
			2	Fallos eléctricos o cortocircuitos en sistema de control
			3	Cadena de transmisión cortada
			4	Engranajes de motor reductor quebrado
	B	Tensión incorrecta en el bobinado	1	Rodillo de goma desgastado
			2	Desalienación de rodillo guía
			3	Presión de contacto inadecuado

Fuente: Elaboración propia

2.3. JERARQUIZACIÓN DE LOS MODOS DE FALLA

En el análisis de jerarquización de modos de falla para la extrusora de plástico para bolsas, se estableció una clasificación priorizada de las fallas potenciales mediante el uso del número de prioridad de riesgo (NPR), tomando en cuenta factores de severidad, frecuencia de frecuencia de ocurrencia y capacidad de detección de cada falla potencial. Todo esto con la finalidad de realizar labores de mantenimiento para evitar cada modo de falla.

Ecuación 2-1 Cálculo de número de prioridad.

$$NPR = SEVERIDAD (S) \cdot OCURRECIA (O) \cdot DETECTABILIDAD (D)$$

Donde:

S: Severidad

O: Ocurrencia

D: Detectabilidad

S: Estimación de la gravedad del efecto de falla según el impacto en el sistema.

O: Frecuencia con la que es probable que ocurra cada modo de falla.

D: Probabilidad de detectar la falla antes de que cause un problema significativo.

2.3.1. Severidad de los modos de falla

La severidad de los modos de falla se refiere al impacto potencial que un modo de falla puede tener sobre el sistema, el operador, el producto, de seguridad y medioambientales.

En la siguiente tabla 2-9, se muestran los niveles de severidad según norma SAE J1739.

Tabla 2-9 Evaluación de severidad Norma SAE J1739

Efecto	Criterio: Severidad del efecto	Ranking
Peligros sin advertencias	Ponga en peligro la seguridad del operador. Muy alto ranking de severidad cuando el modo de falla afecta la seguridad operativa y/o envuelve el no cumplimiento de regulaciones gubernamentales. La falla no se advierte al ocurrir.	10
Peligro con advertencia	Ponga en peligro la seguridad del operador. Muy alto ranking de severidad cuando el modo de falla afecta la seguridad operativa y/o envuelve el no cumplimiento de regulaciones gubernamentales. La falla se advierte al ocurrir.	9
Muy alto	Perturbación grave en la línea productiva. Las pérdidas pueden alcanzar al 100% del producto. Equipo inoperable, pérdida de la función primaria. Cliente muy insatisfecho.	8
Alto	Perturbación menor en la línea productiva. La producción puede necesitar ser adaptada, y una parte debe desecharse (menos del 100%). Equipo operable, pero con un nivel de calidad reducido. Cliente insatisfecho.	7
Moderado	Perturbación menor en la línea productiva. Una porción (menor al 100%) puede tener que ser desecheda (no ordenada). Equipo operable, pero con algunos elementos de confort con un nivel de calidad reducido. El cliente experimenta incomodidad.	6
Bajo	Perturbación menor en la línea productiva. 100% del producto tiene que ser adaptado. Equipo operable, pero con algunos ítems de confort con un nivel de calidad reducido. El cliente experimenta algo de insatisfacción.	5
Muy Bajo	Perturbación menor en la línea productiva. El producto puede ser ordenado y una porción (menor al 100%) adaptada. Ajuste y terminaciones y sonido en el ítem no están en conformidad. Defecto notado por la mayoría de los clientes.	4
Menor	Perturbación menor en la línea productiva. Una parte (menor al 100%) puede ser modificada en línea, pero fuera de la estación. Se presentan desajustes y chirridos que no están en conformidad. Defecto notado por el promedio de los clientes.	3
Muy menor	Perturbación menor en la línea productiva. Una parte (menor al 100%) puede ser modificada en línea, pero fuera de la estación. Se presentan desajustes y pequeñas vibraciones en el ítem que no están en conformidad. Defecto notado por la minoría de los clientes.	2
Ninguno	Sin efectos	1

Fuente: Norma SAE J1739

2.3.2. Ocurrencia de los modos de falla

La ocurrencia de los modos de falla se refiere al criterio que mide la frecuencia con la que un modo de falla podría manifestarse en un proceso. La probabilidad de ocurrencia se evalúa según la frecuencia histórica.

En la siguiente tabla 2-10, se muestran los niveles ocurrencia según norma SAE J1739.

Tabla 2-10 Evaluación de ocurrencia Norma SAE J1739

Probabilidad de falla	Posible tasa de falla	Ranking
Muy alta: La falla es casi inevitable	≥ 1 en 2	10
	1 en 3	9
Alta: Generalmente asociadas a procesos similares o procesos previos, que presentan fallas con frecuencia	1 en 8	8
	1 en 20	7
Moderada: Generalmente asociadas a procesos similares o procesos previos que experimentan fallas ocasionales, pero no en mayores proporciones	1 en 80	6
	1 en 400	5
	1 en 2.000	4
Bajas: Fallas aisladas asociadas con procesos similares	1 en 15.000	3
Muy bajas: Solo fallas aisladas asociadas con procesos casi idénticos	1 en 150.000	2
Remota: La falla es poco probable. No se repiten las fallas de procesos casi idénticos	≤ 1 en 1.500.000	1

Fuente: Norma SAE J1739.

2.3.3. Detección de los modos de falla

La detección de los modos de falla se refiere a la capacidad de los controles actuales para identificar un modo de falla antes que impacte negativamente en el proceso.

En la siguiente tabla 2-11, se muestran los niveles detección según norma SAE J1739.

Tabla 2-11 Evaluación de detección Norma SAE J1739.

Detección	Criterios: Probabilidad de detección de un modo de falla	Ranking
Casi imposible	No existen controles disponibles para detectar el modo de falla	10
Muy remota	Muy remota probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	9
Remota	Remota probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	8
Muy baja	Muy baja probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	7
Baja	Baja probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	6
Moderada	Moderada probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	5
Moderadamente alta	Moderadamente alta probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	4
Alta	Alta probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	3
Muy alta	Muy alta probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	2
Casi cierta	Los actuales controles son casi ciertos para detectar el modo de falla Detección confiable	1

Fuente: Norma SAE J1739.

2.4. NUMERO DE PRIORIDAD DE RIESGO

El Número de Prioridad de Riesgo (NPR), como se mencionó anteriormente, se obtiene multiplicando la severidad, ocurrencia y detectabilidad de un modo de falla. Su propósito es jerarquizar los modos de falla de un equipo o sistema en relación con su función principal, asignándoles un valor representativo. A partir de la siguiente tabla 2-12, se identificaron los modos de falla más críticos, de modo que, para aquellos con un nivel de prioridad alto, se implementen acciones que mitiguen sus efectos.

Tabla 2-12 Escala determinación nivel de prioridad modos de falla.

Nivel de prioridad	Rango de criticidad según NPR
Alto	[150 – 1000]
Medio	[75 – 150[
Bajo	[0 – 75[

Fuente: Elaboración propia en base NPR

Tabla 2-13 Asignación de número de prioridad subsistema tolva.

Subsistema: Tolva						
Falla funcional	Modos de falla		Consecuencia de la falla			
			S	O	D	NPR
A	1	Incapacidad de suministrar material al extrusor	7	3	4	84
B	1	Material contaminado entregado al extrusor	7	3	6	126

Fuente: Elaboración propia en función de modos de falla.

Tabla 2-14 Asignación de número de prioridad subsistema extrusor.

Subsistema: Extrusor						
Falla funcional	Modos de falla		Consecuencia de la falla			
			S	O	D	NPR
A	1	Motor eléctrico 380V quemado	9	4	3	108
	2	Ruptura de correas de transmisión	8	5	4	160
	3	Poleas quebradas	7	3	3	63
	4	Piñón de caja reductora quebrado	7	3	6	126
	5	Contactor en corto circuito	7	3	4	84
B	1	Desgaste excesivo del tornillo sin fin	8	5	4	160
	2	Filtro parcialmente bloqueado	7	4	6	168
	3	Desalineación de tornillo sin fin	8	3	7	168

Fuente: Elaboración propia en función de modos de falla.

Tabla 2-15 Asignación de número de prioridad subsistema calefactores.

Subsistema: Calefactores						
Falla funcional	Modos de falla		Consecuencia de la falla			
			S	O	D	NPR
A	1	Cables cortados	8	2	5	80
	2	Contactores en corto circuito	7	6	3	126
	3	Calefactor quemado	6	5	5	150
	4	Controladores de temperatura quemados	8	3	4	96
	5	Sensores de temperatura defectuosos	6	4	4	96

Fuente elaboración propia en función de modos de falla.

Tabla 2-16 Asignación de número de prioridad subsistema enfriamiento.

Subsistema: Enfriamiento						
Falla funcional	Modos de falla		Consecuencia de la falla			
			S	O	D	NPR
A	1	Obstrucción en las tomas o salidas de aire	8	5	4	160
	2	Motor eléctrico 220V quemado	8	3	5	120
	3	Conexión eléctrica defectuosa o suelta	7	4	5	140
	4	Ductos de aire cortados	8	3	2	48
B	1	Desgaste de rodamientos	7	5	5	175
	2	Vibración excesiva en el ventilador	7	4	4	112
	3	Aspas de ventilador dañadas	6	2	3	36
	4	Ductos con fugas	7	3	4	140

Fuente: Elaboración propia en función de modos de falla.

Tabla 2-17 Asignación de número de prioridad subsistema elevación de torre.

Subsistema: Elevación de torre						
Falla funcional	Modos de falla		Consecuencia de la falla			
			S	O	D	NPR
A	1	Ruptura de correa transmisión	8	5	3	120
	2	Piñón de caja reductora quebrado	9	2	5	90
	3	Motor eléctrico 220V quemado	8	3	5	120
	4	Contactor en cortocircuito	7	6	3	126
B	1	Desgaste o falta de lubricación en husillo	8	7	3	168
	2	Desgaste de rodamientos del husillo	8	5	4	160
	3	Botoneras de elevación sulfatadas	7	2	4	56

Fuente: Elaboración propia en función de modos de falla.

Tabla 2-18 Asignación de número de prioridad subsistema tiro superior.

Subsistema: Tiro superior						
Falla funcional	Modos de falla		Consecuencia de la falla			
			S	O	D	NPR
A	1	Correa de transmisión cortada	8	4	4	128
	2	Motor eléctrico 200V quemado	9	2	4	72
	3	Conexiones eléctricas flojas o sulfatadas	7	5	5	175
	4	Engranajes de transmisión quebrados	8	2	5	80
B	1	Presión de contacto inadecuada	7	5	4	140
	2	Rodillo de goma desgastado	8	5	4	160
	3	Desgaste de rodamientos	7	5	4	140

Fuente: Elaboración propia en función de modos de falla.

Tabla 2-19 Asignación de número de prioridad subsistema bobinador.

Subsistema: Bobinador						
Falla funcional	Modos de falla		Consecuencia de la falla			
			S	O	D	NPR
A	1	Sobrecarga del motor debido a sobrecarga o falta de enfriamiento	8	3	4	96
	2	Fallos eléctricos o cortocircuito en sistema de control	8	4	5	160
	3	Cadena de transmisión cortada	8	3	4	96
	4	Engranajes de motor reductor quebrado	8	2	5	80
B	1	Rodillo de goma desgastado	8	5	4	160
	2	Desalineación de rodillo guía	6	5	3	90
	3	Presión de contacto inadecuado	7	5	4	140

Fuente: Elaboración propia en función de modos de falla.

2.5. CONSECUENCIA Y EFECTOS DE MODOS DE FALLA

Una vez identificados los modos de falla del equipo, es fundamental considerar que cada uno lleva asociado un efecto de falla, se debe incluir toda la información necesaria para evaluar la falla adecuadamente. Para una descripción completa, es recomendable considerar los siguientes aspectos:

- Impacto en la seguridad y medio ambiente: Especificar como la falla podría comprometer la seguridad de las personas o el incumplimiento de las normas ambientales.
- Repercusión en producción u operación: Detallar cómo y en qué medida la falla afecta la producción, ya sea mediante las paradas del equipo o la interrupción de la línea de proceso.
- Daños físicos causados por la falla: Cuantificar los daños provocados para evaluar el alcance del impacto sobre el equipo.

Tabla 2-20 Efectos de falla subsistema tolva.

Hoja de información RCM	Sistema/activo		Subsistema/ componente	Facilitador	Fecha
	Extrusora N°		Tolva		
Función	Falla funcional		Modo de falla (causa de la falla)	Efecto de la falla (que sucede cuando falla)	Numero de prioridad NPR
1: Almacenar y suministrar polietileno al extrusor. Capacidad: 75 Kg Velocidad de alimentación: 2-5 Kg/min	A	Incapacidad de suministrar material al extrusor	1 Obstrucción en la compuerta de alimentación	Evidente/ no evidente: Si Afecta SHA: No Efectos operacionales: Si Genera interrupciones en el suministro de polietileno, lo que provoca parada de producción. Pérdida de eficiencia, el extrusor podría sobrecalentarse al operar vacío.	84 [Medio]
	B	Material contaminado entregado al extrusor	1 Material contaminado entregado al extrusor	Evidente/ no evidente: No Afecta SHA: SI Efectos operacionales: SI Afecta la calidad del producto final, provocando defectos en la película extruida. Además, la contaminación puede obstruir el sistema de alimentación y dañar el tornillo extrusor.	126 [Medio]

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-21 Efectos de falla subsistema extrusor.

Hoja de información RCM	Sistema/activo		Subsistema/ componente	Facilitador	Fecha	
	Extrusora N°1		Extrusor			
Función	Falla funcional		Modo de falla (causa de la falla)	Efecto de la falla (que sucede cuando falla)	Numero de prioridad NPR	
1: Fundir y trasportar polietileno a través del tornillo. Velocidad del tornillo: 20-80 RPM Presión: 150 -250 bar	A	Falta de transmisión de potencia al tornillo sin aleta, afectando la capacidad de operación en los rangos de velocidad (20-80 RPM), y presión (150-250 bar)	1	Motor eléctrico 380V quemado	Evidente/ no evidente: Si Afecta SHA: No Efectos operacionales: Si Detiene la operación del tornillo sin fin, interrumpiendo completamente la producción y requiriendo reemplazo del motor para restaurar la funcionalidad.	108 [Medio]
			2	Ruptura de correas de transmisión	Evidente/ no evidente: Si Afecta SHA: No Efectos operacionales: Si rotura de las correas impide la transmisión de potencia al tornillo, causando una parada de producción. La reparación implica la sustitución de las correas.	160 [Alto]
			3	Poleas quebradas	Evidente/ no evidente: Si Afecta SHA: No Efectos operacionales: SI poleas dañadas impiden la transmisión de potencia, interrumpiendo la operación del extrusor y requiriendo la sustitución de las piezas dañadas.	63 [Medio]
			4	Piñón de caja reductora quebrado	Evidente/ no evidente: NO Afecta SHA: No Efectos operacionales: Si ruptura del piñón de la caja reductora interrumpe la transmisión de potencia al tornillo, deteniendo el proceso de extrusión. La reparación requiere reemplazar el piñón.	126 [Medio]
			5	Contactor en corto circuito	Evidente/ no evidente: No Afecta SHA: Si Efectos operacionales: Si contactor interrumpe la operación del motor, deteniendo el tornillo sin fin y el proceso de extrusión. Es necesario reemplazar el contactor.	84 [Medio]
	B	Transporte y mezcla ineficientes del polietileno	1	Desgaste excesivo del tornillo sin fin	Evidente/ no evidente: SI Afecta SHA: No Efectos operacionales: Si Reduce la eficiencia de mezcla y transporte, afecta la homogeneidad del polietileno, provoca baja calidad en el producto final.	160 [Alto]
			2	Filtro parcial mente bloqueado	Evidente/ no evidente: No Afecta SHA: No Efectos operacionales: Si Restringe el flujo de polietileno, lo que afecta la eficiencia de la mezcla y transporte. Esto puede llevar a paradas para limpiar el filtro, afectando la continuidad de la producción.	168 [Alto]
			3	Desalineación del tornillo sin fin	Evidente/ no evidente: No Afecta SHA: No Efectos operacionales: Si afecta la transmisión de potencia y el flujo uniforme del material, disminuyendo la calidad del producto y aumentando el desgaste en otros componentes.	168 [Alto]

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-22 Efectos de falla subsistema calefactores.

Hoja de información RCM	Sistema/activo		Subsistema/ componente	Facilitador	Fecha	
	Extrusora N°1		Calefactores			
Función	Falla funcional		Modo de falla (causa de la falla)	Efecto de la falla (que sucede cuando falla)	Numero de prioridad NPR	
1: Proveer calor para fundir el polietileno. Potencia: 10-30 KW Temperatura por zona: Entrada: 210°C Media: 200°C Cabezal: 190°C	A	Incapacidad de fundir el polietileno adecuadamente	1	Cables cortados Evidente/ no evidente: Si Afecta SHA: Si Efectos operacionales: Si Falta de alimentación en los calefactores impide alcanzar las temperaturas requeridas (210°C en la entrada, 200°C en el medio, y 190°C en el cabezal), lo que compromete el proceso de fusión del polietileno y puede detener la producción.	80 [Medio]	
			2	Contactores en corto circuito Evidente/ no evidente: Si Afecta SHA: Si Efectos operacionales: Si Falla de los contactores impide el control de temperatura, resultando en una incapacidad para calentar el polietileno a los niveles necesarios, lo que afecta la eficiencia y continuidad del proceso.	126 [Medio]	
			3	Calefactor quemado Evidente/ no evidente: No Afecta SHA: No Efectos operacionales: Si La pérdida de un calefactor afecta la distribución de calor en la extrusora, impidiendo alcanzar la temperatura adecuada para fundir el polietileno. Esto puede resultar en un producto de baja calidad y posibles paradas de producción para reemplazar el calefactor.	150 [Alto]	
			4	Controladores de temperatura quemados Evidente/ no evidente: No Afecta SHA: No Efectos operacionales: Si Sin controladores de temperatura funcionales, es imposible regular las zonas de temperatura (entrada, media y cabezal) dentro de los rangos requeridos. Esto compromete la calidad del producto final.	96 [Medio]	
			5	Sensores de temperatura defectuoso Evidente/ no evidente: No Afecta SHA: No Efectos operacionales: Si Sensores defectuosos pueden proporcionar lecturas incorrectas, lo que impide el ajuste preciso de la temperatura. Esto puede llevar a una fusión incompleta del polietileno o al sobrecalentamiento, afectando la calidad del proceso y del producto final.	96 [Medio]	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-23 Efectos de falla subsistema enfriamiento.

Hoja de información RCM	Sistema/activo		Subsistema/ componente	Facilitador	Fecha	
	Extrusora N°1		Enfriamiento			
Función	Falla funcional		Modo de falla (causa de la falla)	Efecto de la falla (que sucede cuando falla)	Numero de prioridad NPR	
1: Controlar la temperatura de la burbuja y enfriarla para darle forma. Velocidad de la turbina: 1500-3000 RPM Flujo de aire: 500-1000 m³/h Temperatura del aire: 20-25°C	A	Incapacidad para mantener la forma de la burbuja debido a parámetro fuera del rango (Velocidad: 1500-3000 RPM, Flujo: 500-1000 m³/h, Temperatura: 20-25°C)	1	Obstrucción en las tomas o salidas de aire Evidente/ no evidente: Si Afecta SHA: No Efectos operacionales: Si Afecta el enfriamiento uniforme de la burbuja. Esto provoca deformidades en la burbuja y variaciones de grosor en la película.	160 [Alto]	
			2	Motor eléctrico 220V quemado Evidente/ no evidente: Si Afecta SHA: No Efectos operacionales: Si Deja de suministrar el flujo de aire necesario para el enfriamiento de la burbuja. Esto provoca la interrupción del proceso y la baja calidad del producto por falta de forma en la burbuja.	120 [Medio]	
			3	Conexión eléctrica defectuosa o suelta Evidente/ no evidente: No Afecta SHA: Si Efectos operacionales: Si Provoca pérdida de potencia en el sistema de enfriamiento, afectando la estabilidad de la burbuja y la consistencia del producto final.	140 [Medio]	
			4	Ductos de aire cortados Evidente/ no evidente: Si Afecta SHA: No Efectos operacionales: Si Los ductos cortados interrumpen el flujo de aire, disminuyendo la capacidad de enfriamiento de la burbuja y resultando en una forma y grosor inconsistentes de la película plástica.	48 [Bajo]	
	B	Disminución del caudal de aire en el sistema de enfriamiento por debajo del rango óptimo de 500-1000 m³/h, afectando el control de la burbuja.	1	Desgaste de rodamientos Evidente/ no evidente: No Afecta SHA: No Efectos operacionales: Si El desgaste de los rodamientos reduce la eficiencia del ventilador, disminuyendo el caudal de aire y afectando el control de la forma de la burbuja.	175 [Alto]	
			2	Vibración excesiva en el ventilador Evidente/ no evidente: No Afecta SHA: No Efectos operacionales: Si Vibración excesiva afecta la estabilidad del ventilador, provocando variaciones en el flujo de aire y comprometiendo el enfriamiento uniforme de la burbuja.	112 [Medio]	
			3	Aspas de ventilador dañadas Evidente/ no evidente: Si Afecta SHA: No Efectos operacionales: Si Aspas dañadas reducen el rendimiento del ventilador, afectando el flujo de aire y el enfriamiento de la burbuja. Esto puede causar deformidades en la burbuja.	36 [Bajo]	
			4	Ductos con fugas Evidente/ no evidente: No Afecta SHA: No Efectos operacionales: Si Fugas en los ductos de aire reducen el caudal disponible para el enfriamiento, lo que impacta negativamente en el control de la temperatura de la burbuja y, en consecuencia, en la calidad y consistencia de la película.	140 [Medio]	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-24 Efectos de falla subsistema elevación de torre.

Hoja de información RCM	Sistema/activo	Subsistema/ componente	Facilitador	Fecha
	Extrusora N°1	Elevación de torre		
Función	Falla funcional	Modo de falla (causa de la falla)	Efecto de la falla (que sucede cuando falla)	Numero de prioridad NPR
1: Ajustar la altura de la torre para estabilizar la burbuja. Altura: 4-6 metros Velocidad de ajuste: 0.5-2 metros/minuto	A Falta de movimiento en la torre	1 Ruptura de correa de transmisión	Evidente/ no evidente: Si Afecta SHA: No Efectos operacionales: Si La torre queda inmóvil, impidiendo ajustar la altura para estabilizar la burbuja.	120 [Medio]
		2 Piñón de caja reductora quebrado	Evidente/ no evidente: No Afecta SHA: No Efectos operacionales: Si Pérdida de transmisión de potencia, lo que impide el movimiento de la torre y afecta la estabilidad de la burbuja.	90 [Medio]
		3 Motor eléctrico 220V quemado	Evidente/ no evidente: Si Afecta SHA: No Efectos operacionales: Si La torre queda inoperativa, deteniendo el ajuste de altura.	120 [Medio]
		4 Contactor en corto circuito	Evidente/ no evidente: Si Afecta SHA: Si Efectos operacionales: Si Pérdida de control sobre el sistema, dejando la torre inmóvil y afectando el proceso de extrusión.	126 [Medio]
	B Movimiento irregular o lento en el sistema de elevación	1 Desgaste o falta de lubricación en husillo	Evidente/ no evidente: No Afecta SHA: No Efectos operacionales: Si Movimiento lento e inconsistente, dificultando el ajuste preciso de la altura.	168 [Alto]
		2 Desgaste de rodamientos del husillo	Evidente/ no evidente: No Afecta SHA: No Efectos operacionales: Si Reducción de la eficiencia del sistema, causando un movimiento irregular.	160 [Alto]
		3 Botoneras de elevación sulfatadas	Evidente/ no evidente: Si Afecta SHA: Si Efectos operacionales: Si Las botoneras responden de forma intermitente o lenta, afectando la precisión en el ajuste de altura y la operación de la torre.	56 [Bajo]

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-25 Efectos de falla subsistema tiro superior.

Hoja de información RCM		Sistema/activo		Subsistema/ componente		Facilitador		Fecha	
		Extrusora N°1		Tiro superior					
Función		Falla funcional		Modo de falla (causa de la falla)		Efecto de la falla (que sucede cuando falla)		Numero de prioridad NPR	
1: Aplanar y estirar la burbuja para formar una pelicular Velocidad de rodillos:10-50 metros/minuto Presión de contacto: 1-3 bar		A	No transmite potencia hacia rodillo de tiro	1	Correa de transmisión cortada	Evidente/ no evidente: Si Afecta SHA: No Efectos operacionales: Si El rodillo de tiro se detiene, interrumpiendo el proceso de aplanado y estirado, afectando la calidad de la película.		128 [Medio]	
				2	Motor eléctrico 220V quemado	Evidente/ no evidente: Si Afecta SHA: No Efectos operacionales: Si La potencia no se transfiere al rodillo de tiro, impidiendo el aplanado correcto de la burbuja y causando paradas en la producción.		72 [Bajo]	
				3	Conexiones eléctricas flojas o sulfatadas	Evidente/ no evidente: No Afecta SHA: Si Efectos operacionales: Si La intermitencia en la transmisión de potencia provoca una operación irregular, afectando la uniformidad de la película.		175 [Alto]	
				4	Engranajes de transmisión quebrados	Evidente/ no evidente: No Afecta SHA: No Efectos operacionales: Si Sin transmisión de potencia, el rodillo no gira, afectando el proceso de estirado y la calidad final del producto.		80 [Medio]	
		B	Aplanado incorrecto de la burbuja	1	Presión de contacto inadecuada	Evidente/ no evidente: No Afecta SHA: No Efectos operacionales: Si La falta de presión adecuada impide un aplanado uniforme.		84 [Medio]	
				2	Rodillo de goma desgastado	Evidente/ no evidente: No Afecta SHA: No Efectos operacionales: Si Superficie desgastada provoca un aplanado inconsistente, afectando la uniformidad de la película.		160 [Alto]	
				3	Rodamientos desgastados	Evidente/ no evidente: No Afecta SHA: Si Efectos operacionales: Si El desgaste de los rodamientos provoca movimiento irregular en el rodillo, dificultando el aplanado homogéneo de la burbuja.		140 [Medio]	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-26 Efectos de falla subsistema bobinador.

Hoja de información RCM	Sistema/activo	Subsistema/ componente	Facilitador	Fecha
	Extrusora N°1	Bobinador		
Función	Falla funcional	Modo de falla (causa de la falla)	Efecto de la falla (que sucede cuando falla)	Numero de prioridad NPR
1: Enrollar la película en un rollo uniforme Velocidad de bobinado: 20- 60 metros/minutos Presión de contacto: 1-3 bar	A Paradas frecuentes del sistema	1 Sobrecarga del motor debido a sobrecarga o falta de enfriamiento	Evidente/ no evidente: Si Afecta SHA: No Efectos operacionales: Si Parada del bobinador, interrupción en el enrollado y posibles daños al motor que requieren reparación o reemplazo.	96 [Medio]
		2 Fallos eléctricos o cortocircuito en sistema de control	Evidente/ no evidente: Si Afecta SHA: Si Efectos operacionales: Si Paradas intermitentes o permanentes del sistema, afectando la continuidad de producción y la calidad del producto final.	160 [Alto]
		3 Cadena de transmisión cortada	Evidente/ no evidente: Si Afecta SHA: No Efectos operacionales: Si Pérdida de movimiento en el bobinador, deteniendo el proceso de enrollado y generando paradas de producción.	96 [Medio]
		4 Engranajes de motor reductor quebrado	Evidente/ no evidente: No Afecta SHA: No Efectos operacionales: Si Sin transmisión de potencia, el bobinador se detiene, lo que afecta la continuidad.	[Medio]
	B Tensión incorrecta en el bobinado Desalineación de rodillo guía Evidente/ no evidente: No Afecta SHA: No Efectos operacionales: Si Distribución irregular de la tensión, afectando la calidad del enrollado.	1 Rodillo de goma desgastado	Evidente/ no evidente: No Afecta SHA: No Efectos operacionales: Si Tensión irregular en el bobinado, causando deformidades y posibles daños en el producto final.	160 [Alto]
		2 Desalineación de rodillo guía	Evidente/ no evidente: No Afecta SHA: No Efectos operacionales: Si Distribución irregular de la tensión, afectando la calidad del enrollado.	60 [Medio]
		3 Presión de contacto inadecuado	Evidente/ no evidente: No Afecta SHA: No Efectos operacionales: Si La falta de presión adecuada causa problemas en la tensión del bobinado.	84 [Medio]

Fuente: Elaboración propia.

2.6. DIAGRAMA DE DECISIÓN RCM

En el diagrama de decisión para el análisis RCM de la extrusora de plástico, se consideraron todos los modos de falla y sus efectos identificados en los subsistemas. Cada modo de falla fue evaluado mediante un análisis de criticidad basado en el Número de Prioridad de Riesgo (NPR). Esta información permitió seleccionar las estrategias de mantenimiento más adecuadas, optimizando la confiabilidad del equipo y priorizando acciones preventivas o correctivas de acuerdo con los riesgos asociados a cada modo de falla.

La hoja de decisión, dividida en dieciséis columnas, incluye las columnas F, FF y FM, las cuales identifican el modo de falla específico analizado en cada línea. Estas columnas permiten correlacionar las referencias de las Hojas de Información y las Hojas de Decisión.

Tabla 2-27 Formato de hoja de decisión.

Hoja de decisión RCM			Sistema: Extrusora N°1				Facilitador:						Fecha		Hoja N°
			Subsistema:				Auditor:								
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acción de falta de:			Tarea propuesta	Intervalo inicial	Realizar por
							S1	S2	S3						
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	H6			
							N1	N2	N3						

Fuente. Elaboración propia.

Para completar la hoja de decisiones, se debe seguir un diagrama que define el proceso de toma de decisiones. La hoja de información, al ser llenada, debe responder a las siguientes preguntas:

- ¿Qué tareas de mantenimiento se propondrán para abordar cada falla funcional identificada?
- ¿Qué fallas poseen son lo suficientemente serias para justificar el rediseño del equipo?
- ¿En qué casos se toma la decisión deliberada de dejar que la falla ocurran y optar por un mantenimiento correctivo?

A continuación, se presenta el diagrama de toma de decisiones que debe seguirse para completar correctamente la hoja de decisiones.

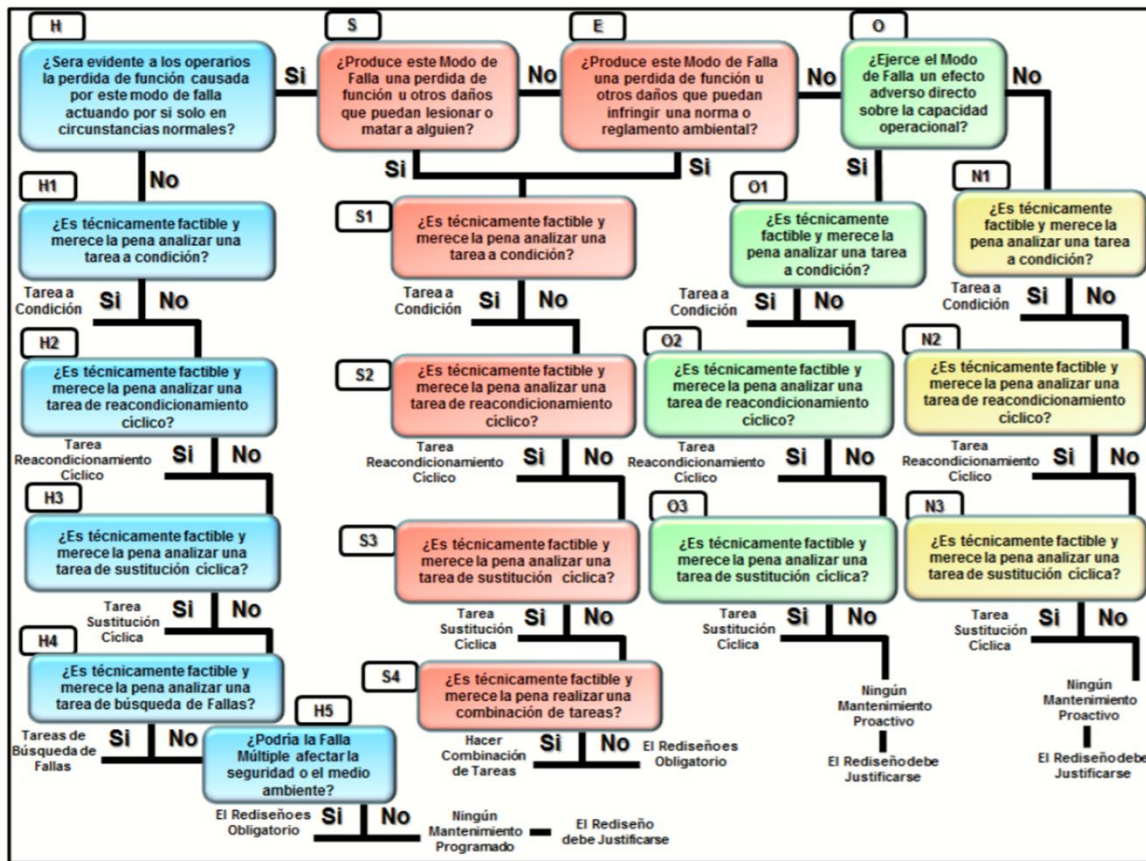
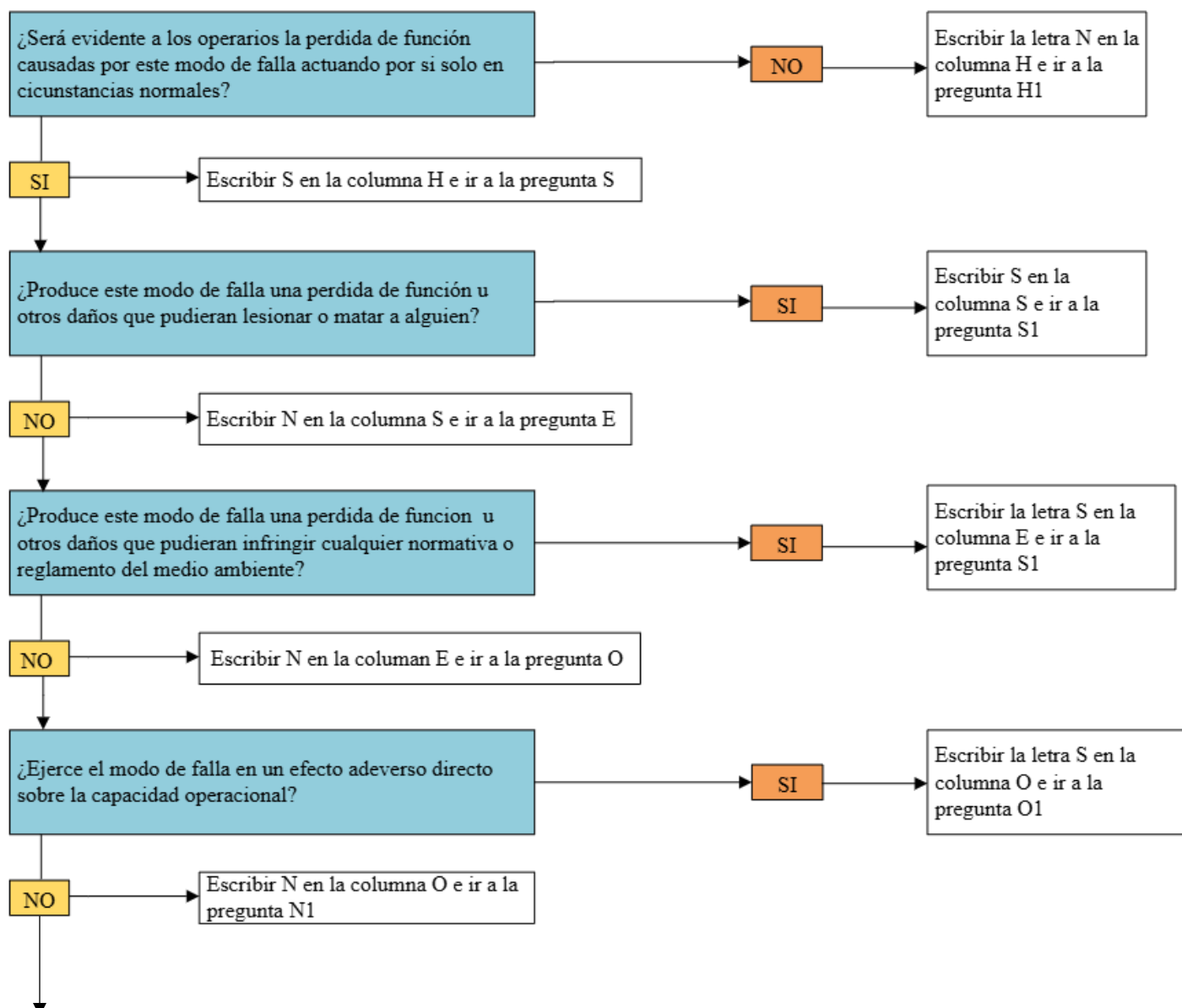


Figura 2-3 Diagrama de decisiones RCM

Fuente: Libro Mantenimiento Centrado en confiabilidad John Moubray

2.6.1. Evaluación de consecuencias

Para el llenado de la hoja de decisión RCM hay que seguir un orden de preguntas que se hacen para cada modo de falla, y las respuestas son registradas en la hoja de decisión. Los significados precisos de las preguntas H,S,E y O se muestran a continuación.



Referencia de información			Evaluación de consecuencia				
F	FF	MF	H	S	E	O	
1	A	1	N				Falla oculta
2	A	1	S	S			Consecuencia para la seguridad
2	B	2	S	N	S		Consecuencia para el medio ambiente
3	A	1	S	N	N	S	Consecuencia operacional
3	B	2	S	N	N	N	Consecuencia No-operacional

En la hoja de decisiones las columnas de la octava a la décima son utilizadas para el registro de las tareas proactivas, de la siguiente manera:

- Columna H1/S1/O1/N1: Permite registrar si se pudo una tarea de condición adecuada para anticipar el modo de falla a tiempo para evitar las consecuencias.
- Columna H2/S2/O2/N2: Permite registrar si se pudo encuentran una tarea de reacondicionamiento programado apropiado para prevenir las fallas.
- Columna H3/S3/O3/N3: Permite registrar si se pudo encontrar una tarea de sustitución cíclica para prevenir fallas.

H1	H2	H3	
S1	S2	S3	
O1	O2	O3	
N1	N2	N3	
S			Condición
N	S		Reacondicionamiento
N	N	S	Sustitución

2.7. RESULTADOS ANÁLISIS RCM

Por medio del número de prioridad de riesgo (NPR), se identificaron 14 modos de falla con prioridad alta, los cuales representan los riesgos más críticos para el funcionamiento de la extrusora de plástico para bolsas. A partir de estos resultados, se elaboraron hojas de decisión que detallan las acciones de mantenimiento propuestas para cada subsistema de la extrusora. Las tareas propuestas incluyen sustituciones cíclicas, mantenimiento a condición y reacondicionamiento cíclico, con frecuencias específicas según la criticidad de cada falla. Esta metodología permitió desarrollar un plan de mantenimiento preventivo, predictivo optimizado, proporcionado una base sólida para mejorar la gestión del mantenimiento.

Tabla 2-28 Hoja de decisión extrusor

Hoja de decisión RCM			Sistema: Extrusora N°1										Facilitador:		Fecha	Hoja N°	
			Subsistema: Extrusor										Auditor:			N°1	
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acción de falta de:			Tarea Propuesta			Frecuencia inicial	A realizar por
							S1	S2	S3								
							O1	O2	O3								
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	H6					
1	A	2	S	N	N	S	N	S					Tarea de sustitución cíclica: Reemplazo cíclico de correas de transmisión			12 meses	Tec. Mantenimiento
1	B	1	S	N	N	S	S						Tarea a condición: Inspección y monitoreo de desgaste en el tornillo sin fin, medición de las dimensiones del tornillo para evaluar condición			3 meses	Tec. Mantenimiento
1	B	2	N				S						Tarea a condición: Inspección visual condición filtro malla, remplazo en caso de daño			2 meses	Tec. Mantenimiento
1	B	3	N				S						Tarea a condición: Monitoreo de tornillo sin fin mediante análisis de vibraciones y alineación			12 meses	Especialista vibraciones

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-29 Hoja de decisión calefactores

Hoja de decisión RCM			Sistema: Extrusora N°1									Facilitador:			Fecha	Hoja N°		
			Subsistema: Calefactores									Auditor:				N°2		
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acción de falta de:			Tarea Propuesta				Frecuencia inicial	A realizar por
							S1	S2	S3									
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	H6						
							N1	N2	N3									
1	A	3	N				N	N	S				Tarea de sustitución cíclica: Reemplazo de calefactores en intervalos programados que no lleguen al punto de fallo				12 meses	Tec. Eléctrico

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-30 Hoja de decisión enfriamiento

Hoja de decisión RCM			Sistema: Extrusora N°1										Facilitador:			Fecha	Hoja N°	
			Subsistema: Enfriamiento										Auditor:				N°3	
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acción de falta de:			Tarea Propuesta			Frecuencia inicial	A realizar por	
							S1	S2	S3									
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	H6						
							N1	N2	N3									
1	A	1	S	N	N	S	S						Tarea a condición: Inspección de condición y limpieza de las tomas y salidas de aire			mensual	Tec. Mantenimiento	
1	B	1	N				N	N	S				Tarea de sustitución cíclica: Reemplazo de rodamiento de turbina enfriamiento			12 meses	Tec. Mantenimiento	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-31 Hoja de decisión elevación de torre

Hoja de decisión RCM			Sistema: Extrusora N°1							Facilitador:			Fecha	Hoja N°			
			Subsistema: Elevación de torre							Auditor:				N°4			
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acción de falta de:			Tarea Propuesta			Frecuencia inicial	A realizar por
							S1	S2	S3								
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	H6					
							N1	N2	N3								
1	B	1	N				N	S					Tarea de reacondicionamiento cíclico: Realizar lubricación del husillo para evitar desgaste prematuro debido a la fricción			Mensual	Tec. Eléctrico
1	B	2	N				N	N	S				Tarea de sustitución cíclica: Reemplazo de rodamientos de husillo para prevenir desgaste excesivo			12 meses	Tec. Mantenimiento

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-32 Hoja de decisión tiro superior

Hoja de decisión RCM			Sistema: Extrusora N°1										Facilitador:		Fecha	Hoja N°	
			Subsistema: Tiro superior										Auditor:			N°4	
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acción de falta de:			Tarea Propuesta		Frecuencia inicial	A realizar por	
							S1	S2	S3								
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	H6					
							N1	N2	N3								
1	A	1	S	N	N	S	N	N	S				Tarea de sustitución cíclica: Reemplazo cíclico de correas de transmisión		12 meses	Tec. Mantenimiento	
1	A	3	N				N	S					Tarea de reacondicionamiento cíclico: Limpieza y ajuste cíclico de las conexiones eléctricas		6 meses	Tec. Eléctrico	
1	B	2	N				N	S					Tarea de reacondicionamiento cíclico: Rectificado de rodillo de goma		6 meses	Tec. mantenimiento	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-33 Hoja de decisión bobinador

Hoja de decisión RCM			Sistema: Extrusora N°1										Facilitador:		Fecha	Hoja N°		
			Subsistema: Bobinador										Auditor:			N°4		
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acción de falta de:			Tarea Propuesta				Frecuencia inicial	A realizar por
							S1	S2	S3									
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	H6						
							N1	N2	N3									
1	A	2	S	S			N	S					Tarea de condición: Limpieza y ajuste de conexiones eléctricas para eliminar suciedad o sulfatación. Inspección y prueba de los componentes del sistema de control				6 meses	Tec. Eléctrico
1	B	1	N				N	N	S				Tarea de reacondicionamiento cíclico: Rectificado de rodillo de goma				6 meses	Tec. Mantenimiento

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, el análisis RCM permitió identificar de forma estructurada las acciones de mantenimiento necesarias para mitigar los riesgos asociados a los modos de falla críticos. La aplicación de las tareas propuestas garantiza una intervención oportuna y eficiente, disminuyendo la probabilidad de fallas inesperadas de la extrusora. Además, este enfoque proporciona una herramienta fundamental para mejorar la planificación y la toma de decisiones en la gestión del mantenimiento con la finalidad de asegurar la confiabilidad y disponibilidad del equipo a largo plazo.

CAPITULO 3: PLANIFICACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO Y COSTOS ASOCIADOS

3. PLANIFICACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO Y COSTOS ASOCIADOS

3.1. PLANIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO

El proceso de fabricación de bolsas plásticas involucra diferentes etapas de trabajo y mantenimiento adecuado, más aún cuando el equipo crítico necesita mantenimientos seguros y programados con el fin de extender la producción constante. Para eso es fundamental que el equipo funcione en óptimas condiciones.

Los subsistemas de la extrusora de plástico para bolsas tienen en común que ninguno funciona sin el otro para cumplir el proceso de extrusión, por lo que cada subsistema debe estar en óptimas condiciones para así lograr un producto de calidad según especificación del cliente. Y como se vio anteriormente varios modos de falla se repiten en los subsistemas. Esto debido que comparten iguales componentes como, por ejemplo: cajas reductoras, motor eléctrico, contactores eléctricos, rodillos de goma, entre otros.

La planificación del mantenimiento es un proceso fundamental que permite garantizar la eficiencia y continuidad operativa del equipo. Para ello, se debe tener en consideración los tiempos requeridos para cada intervención, la asignación de personal técnico calificado y la descripción detallada de las tareas a realizar en función de las fallas identificadas.

En la implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), resulta indispensable diseñar formatos específicos que detallen los procedimientos a seguir por el personal responsable del mantenimiento. Estos formatos deben ser detallados y claros.

Los principales documentos propuestos para el registro y planificación del mantenimiento se incluyen:

- Check list
- Pauta de trabajo
- Orden de trabajo
- Medidas de seguridad

3.1.1. Ficha de inspección

La implementación de una ficha de inspección es fundamental ya que es una herramienta que permite el control y gestión adecuada además de verificar la ejecución de actividades específicas de manera ordenada y eficiente. En el contexto de mantenimiento al equipo crítico, la ficha de inspección cumple varias funciones claves como:

- Verificación de tareas: Permite confirmar que todas las actividades de mantenimiento, tanto preventivas como correctivas, se realicen de manera completa y en el orden establecido.
- Reducción de errores humanos: Sirve como una guía clara y estructurada para el personal de mantenimiento, disminuyendo la probabilidad de omitir pasos importantes durante el mantenimiento.
- Control de seguridad: Ayuda a garantizar que se cumplan los protocolos de seguridad, protegiendo tanto al equipo como a los trabajadores durante la ejecución de las tareas.
- Registro histórico: Documento que almacena información sobre el estado del equipo y las acciones realizadas, facilitando la planificación para futuros mantenimientos.
- Identificación de anomalías: Facilita la detección temprana de fallas potenciales o condiciones operativas anómalas.

Tabla 3-1 Ficha de inspección

FICHA DE INSPECCIÓN			
Mantenimiento Semanal	Ejecutor:		Fecha:
Característica a inspeccionar	Estado		Observaciones
	OK	ERROR	
Inspeccionar la tolva de alimentación para asegurarse de que este limpia y libre de obstrucciones.			
Verificar el mecanismo de alimentación para garantizar una entrega constante y uniforme de material.			
Revisar visualmente el barril y tornillo para detectar signos de desgaste o acumulación de material.			
Limpiar matrices y cabezales diariamente para evitar degradación del producto.			
Inspeccionar por daños o desgastes que puedan afectar la calidad del extruido.			
Mantenimiento Mensual	Ejecutor:		Fecha:
Verificar los elementos calefactores para asegurar que están funcionando a los niveles de temperatura adecuados.			
Comprobar la uniformidad de la temperatura a lo largo del barril.			
Revisar tomas y salidas del sistema de enfriamiento			
lubricación del husillo para evitar desgaste prematuro debido a la fricción			
Mantenimiento Trimestral	Ejecutor:		Fecha:
Desmontar el tornillo del barril para una inspección detallada y limpieza.			
Medir el desgaste del tornillo y planificar su reemplazo o reparación.			
Mantenimiento Semestral	Ejecutor:		Fecha:
Revisar y lubricar todos los rodamientos para asegurar su buen funcionamiento			
Inspeccionar y probar toda instalación eléctrica, incluidos motores, cables y paneles de control.			
Rectificado de rodillos de goma bobinador y tiro superior			
Mantenimiento Anual	Ejecutor:		Fecha:
Cambio de correas de transmisión			
Reemplazo de rodamientos			
Inspección detallada del tornillo sin fin mediante análisis de vibraciones.			

Fuente: Elaboración propia

3.1.2. Pauta de trabajo

La pauta de trabajo es un documento fundamental para estandarizar las actividades de mantenimiento. Este documento establece de manera detallada los procedimientos que se debe seguir durante las intervenciones de mantenimiento, asegurando la correcta ejecución de las tareas. La implementación de la pauta de trabajo permite un enfoque estructurado lo que facilita la gestión del mantenimiento y ayuda a minimizar los riesgos asociados a las fallas.

Las pautas de trabajo son específicas para cada subsistema, ya que cada uno de ellos tiene funciones y necesidades de mantenimiento diferentes. Dividir las pautas de trabajo por subsistemas permite abordar de manera más detallada las tareas de mantenimiento para asegurar el óptimo desempeño de cada subsistema del equipo. (Ver anexos pautas de trabajo)

Las funciones principales de la pauta de trabajo son:

- Registro y seguimiento: Permite documentar las actividades realizadas, facilitando el análisis y mejorando la trazabilidad de las intervenciones.
- Estandarización de proceso: Proporciona una guía clara que asegura que las tareas se realicen de manera uniforme, independiente del técnico que las lleve a cabo.
- Aseguramiento de la calidad: Garantiza que las intervenciones al equipo cumplan con los estándares técnicos y de seguridad requeridos.

Tabla 3-2 Pauta de trabajo

PAUTA DE TRABAJO		Sistema: Extrusora N°		Subsistema: Extrusor		
N°	Actividad	Nombre	Firma	Fecha	HH	
1	Detener el equipo y desconectarlo de alimentación eléctrica.					
2	Activar procedimiento de bloqueo y etiquetado (LOTO).					
3	Comprobar energía 0 para asegurar que no quede energía residual en el sistema.					
4	Retirar cubiertas protectoras del tornillo y sistema motriz.					
5	Inspeccionar visualmente estado general del equipo, incluyendo tolva, tornillo sin fin y filtro.					
6	Retirar y limpiar filtro de malla, eliminando residuos acumulados.					
7	Medir desgaste de tornillo sin fin mediante micrómetro					
8	Compare mediciones de tornillo con las tolerancias establecidas en el manual técnico.					
9	Revisar alineación del motor y tornillo sin aletas.					
10	Inspeccionar y lubricar las partes móviles según especificación del fabricante.					
11	Revisar conexiones eléctricas y comprobar el estado de cables y terminales.					
12	Sustituir las correas de transmisión si presentan desgaste.					
13	Realice la limpieza de todas las superficies internas y externas del equipo.					
14	Instale nuevamente el filtro de malla y verifique que este correctamente posicionado.					
15	Reensamblar todas las protecciones desmontadas durante el mantenimiento					
16	Encienda equipo en vacío y compruebe ausencia de ruido, vibraciones o anomalías.					
17	Compruebe la temperatura operativa del cilindro (190-210 °C)					
18	Documentar toda actividad realizada y registrar observaciones adicionales					

Fuente: Elaboración propia.

3.1.3. Orden de trabajo

La orden de trabajo es un documento clave en la gestión del mantenimiento, ya que permite formalizar y organizar las actividades de mantenimiento que se realizarán al equipo. La orden de trabajo detalla las tareas específicas, los recursos necesarios, los responsables asignados y los tiempos estimados para la ejecución de las intervenciones.

Tabla 3-3 Orden de trabajo

		ORDEN DE TRABAJO		PAGINA N°	
				ORDEN DE TRABAJO N°	
				TRABAJO PROGRAMADO N°	
FECHA DE EMISIÓN:		FECHA DE APERTURA:		FECHA DE CIERRE:	
PRIORIDAD:			CODIGO DEL PROCEDIMIENTO TECNICO: MTTO-ELC		
FRECUENCIA:			ULTIMA VEZ:		
CODIGO DEL ELEMENTO:		UBICACIÓN DEL ELEMENTO: PLANTA DE PRODUCCION, AREA DE EXTRUSION			
TIPO DE MANTENIMIENTO: PREVENTIVO ☐ CORRECTIVO ☐ PREDICTIVO ☐					
REGLAMENTOS DE SEGURIDAD Y MEDIOAMBIENTALES					
USO OBLIGATORIO EPP (guantes aislantes, lentes de seguridad, casco) PROCEDIMIENTOS DE BLOQUEO Y ETIQUETADO PARA DESENERGIZAR EL EQUIPO (LOTO) MANEJO ADECUADO DE RESIDUOS ELECTRICOS SEGÚN NORMATIVAS LOCALES					
JUSTIFICACION DE LA RETENCION:					
TAREAS Y ESPECIALISTAS					
N° Tarea	Descripción de la tarea		Especialista	Horas previstas	Respuesta
LISTA DE MATERIALES		CANTIDAD	LISTA DE HERRAMIENTAS		CANTIDAD
DIANOSTICO DEL MANTENIMIENTO:					
FIRMA SUPERVISOR DE MANTENIMIENTO			FIRMA SUPERVISOR DE PLANTA		

Fuente: Elaboración propia.

3.1.4. Medidas de seguridad

Las medidas de seguridad son esenciales para garantizar la protección del personal técnico durante las actividades de mantenimiento del equipo. Estas medidas de seguridad deben implementarse mediante un protocolo estricto el cual debe quedar documentado y registrado, asegurando el cumplimiento de normativas y estándares de seguridad. Lo que implica la implementación de un AST (análisis de seguridad en el trabajo) el cual contempla varios aspectos relevantes como:

- Descripción de la actividad: Se debe detallar la tarea que se realizará, especificando el equipo y las condiciones bajo las cuales se llevará a cabo.
- Identificación de riesgos: Cada peligro identificado debe ser evaluado considerando su probabilidad de ocurrencia y las consecuencias potenciales.
- Medidas de control: Se debe establecer acciones específicas para mitigar o eliminar los riesgos, como el uso de equipo de protección personal (EPP), procedimientos de bloque LOTO, señalización adecuada o capacitación.
- EPP requerido: El personal técnico debe contar con el equipo de protección personal (EPP) necesario para realizar la tarea de manera segura, como guantes, gafas, casco, calzado de seguridad, protectores auditivos, entre otros.
- Roles y responsabilidades: Se debe asignar las responsabilidades a cada miembro del equipo, especificando quién debe ejecutar cada acción y quién supervisará el cumplimiento de las medidas de seguridad.
- Procedimientos de emergencia: Se debe establecer las acciones específicas a realizar en caso de un incidente o emergencia durante la ejecución de la tarea.
- Autorización y registro: El AST debe incluir firmas de los responsables y de los técnicos involucrados, indicando que han revisado y entendido las medidas de seguridad propuestas.

Tabla 3-4 AST análisis seguridad en el trabajo

	ANÁLISIS DE SEGURIDAD EN EL TRABAJO (AST)		Código	XXXXXX
			Versión	01
			Fecha	
			N° 000001	

LABOR A REALIZAR : _____	FECHA: _____
CLIENTE : _____	H. INICIO : _____
UBICACIÓN : _____	H. TERMINO : _____

PERMISO REQUERIDO PARA TRABAJOS ESPECIALES			
☐ Trabajos en Espacio Confinado	☐ Trabajos Eléctricos		
☐ Trabajos en Altura	☐ No requiere permiso		
☐ Trabajos en Caliente	☐ Otros (Especificar)		

EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL (Para la labor a realizar)	
 CASCO  BOTAS  LENTES  GUANTES  PROT. AUDIT.  RESPIRADOR  PROT. FACIAL  ARNÉS  CARETA DE SOLDAR  PROT. P/CUERPO	Otros: _____ _____ _____
☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐	

ACTIVIDADES A REALIZAR (Describe la secuencia de las actividades)	EQUIPOS / MÁQUINAS / HERRAMIENTAS
1.-	1.-
2.-	2.-
3.-	3.-
4.-	4.-
5.-	5.-
6.-	6.-

RIESGOS (Marcar los riesgos asociados a las actividades a realizar)						
1	Aplastamiento	6	Atrapamiento/Aprisionamiento	11	Choque eléctrico y/o Corte Circuito	Otros (Especificar)
2	Quemaduras por temperatura	7	Exposición a gases y/o vapores	12	Contacto de sustancias peligrosas	16
3	Caída a un mismo nivel	8	Exposición a partículas extrañas	13	Esfuerzo excesivo	17
4	Caída a diferente nivel	9	Exposición a ruidos	14	Exposición a calor	18
5	Caída de objetos	10	Golpes, cortes o contusiones	15	Incendio y/o explosiones	19

N° RIESGO	MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE CONTROL	RESPONSABLE

EVALUACIÓN DEL ENTORNO Y PERSONAL A CARGO DE LA TAREA		
¿Posee de todos los elementos de protección personal (EPP) específicos para realizar correctamente la tarea?		
¿El área de trabajo está limpia, ordenada y con accesos expeditos?		
¿Las instalaciones eléctricas portátiles se encuentran en buen estado (extensiones, enchufes, etc.) y su inspección al día?		
¿La actividad cuenta con los permisos de trabajo y/o listas de chequeo requeridos?		
¿La cuadrilla de trabajo realizó la Lista de Verificación de Requisitos de Seguridad en las Actividades de Preoperacionales?		

RELACIÓN DE TRABAJADORES							
N°	APELLIDOS Y NOMBRES	CARGO	FIRMA	N°	APELLIDOS Y NOMBRES	CARGO	FIRMA
1				4			
2				5			
3				6			

Líder de grupo del equipo de trabajo		Jefe de planta		Jefe de mantenimiento	
Nombre:		Nombre:		Nombre:	
Cargo:		Cargo:		Cargo:	
Firma:		Firma:		Firma:	

Fuente: Elaboración propia

3.2. COSTOS ASOCIADOS A LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

La evaluación de factibilidad tiene como objetivo analizar los costos relacionados con la propuesta del plan de mantenimiento para determinar su viabilidad. Los aspectos considerados en esta evaluación se incluyen el tiempo requerido para las reparaciones, los costos de los repuestos e insumos, las pérdidas asociadas a la detención de la producción, los gastos por mano de obra, la frecuencia anual de las actividades de mantenimiento, así como la inversión en herramientas necesarias para su ejecución.

3.2.1. Impacto producción

La detención de la extrusora de plástico para bolsas, producto de una falla inesperada, genera una pérdida directa en el proceso productivo, lo que repercute negativamente en los ingresos de la empresa. La extrusora posee una capacidad promedio de producción de 80 kg por hora de película de polietileno aproximadamente. En una jornada continua de 24 horas, puede alcanzar una producción de 1.920 kg diarios. Considerando que el valor promedio del kilogramo de bolsa es de \$4.431, las pérdidas económicas por inactividad pueden ser significativas, tal como se detalla en la tabla 3.5. Estas cifras evidencian la importancia de contar con un plan de mantenimiento que reduzca al mínimo las detenciones no planificadas.

Tabla 3-5 Impacto producción

Tiempo de inactividad (horas)	Producción perdida (kg)	Pérdida económica (clp)
1	80	\$ 354.514
3	240	\$ 1.063.543
6	480	\$ 2.127.086
12	960	\$ 4.254.171
24	1920	\$ 8.508.343

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Costos de repuestos, insumos y equipos de protección personal

El mantenimiento de la extrusora de plástico para bolsas involucra costos significativos en tres categorías: repuestos, insumos y equipos de protección personal (EPP). Cada uno de estos elementos es fundamental para garantizar la ejecución efectiva y segura de las

actividades de mantenimiento, permitiendo asegurar la continuidad operativa de los equipos y minimizar los riesgos laborales. En detalle, el costo total de los insumos, como lubricantes, limpiadores industriales, grasas, paños de limpieza asciende a \$1.822.459. Mientras que los repuestos requeridos representan un valor de \$2.806.569 tales como correas de transmisión, rodamientos, calefactores y tornillos sin fin. Por su parte, los equipos de protección personal, ya sea guantes, gafas y zapatos tienen un costo de \$1.078.830. Resultando un total de costos de estas tres categorías de \$6.638.483. (Ver tabla 3-6, 3-7, 3-8).

Tabla 3-6 Costos insumos

Nº	Ítem	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Aceite Hidráulico Mobil Nuto H68 19 Lts	4	\$64.524	\$258.096
2	Grasa Liquida Lubricante Wurth 500ml	15	\$16.990	\$254.850
3	Grasa Mobilux Ep2 Color Ámbar Balde 16 Kg	1	\$115.953	\$115.953
4	Desengrasante Alto Poder Industrial Eox 22 L	2	\$44.600	\$89.200
5	Paños de limpieza algodón	40	\$1.650	\$66.000
6	Cinta Aisladora 3m 20Mts	48	\$10.940	\$525.120
7	Alcohol isopropílico 5Lts	6	\$19.890	\$119.340
8	Aceite penetrante wd 40 311Gr	20	\$9.990	\$199.800
9	Solvente Dieléctrico Desengrasante 5 Litros	5	\$38.820	\$194.100
			Total	\$1.822.459

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-7 Costos de Equipos de Protección Personal

Nº	Ítem	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Cascos de seguridad MSA	3	\$15.990	\$47.970
2	Arnés MSA Cuerpo Completo 4 argollas	3	\$79.960	\$239.880
3	Zapatos de seguridad	3	\$70.990	\$212.970
4	Gafas de seguridad	3	\$7.000	\$21.000
5	Guantes cabritilla	30	\$1.650	\$49.500
6	Guantes hyflex	30	\$4.167	\$125.010
7	Guantes Anti-Impacto	30	\$12.750	\$382.500
			Total	\$1.078.830

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-8 Costos de Repuestos

Sub sistemas	Modo de falla		Tarea propuesta	Lista Repuestos	Cant.	Valor unitario	Valor x cantidad	Total	FF	Total x FF
Extrusor	1.A.2	Ruptura de correas de transmisión	Reemplazo cíclico de correas de trasmisión.	Correas de transmisión	4	\$12.990	\$51.960	\$51.960	1	\$51.960
	1.B.1	Desgaste excesivo del tornillo sin fin	Inspección y monitoreo de desgaste en el tornillo sin fin, medición de las dimensiones del tornillo para evaluar condición.	Tornillo sin aleta	1	\$1.200.000	\$1.200.000	\$1.380.000	4	\$5.520.000
				Juntas y sellos	2	\$60.000	\$120.000			
				Anillos de ajuste	2	\$30.000	\$60.000			
	1.B.2	Filtro parcialmente bloqueado	Inspección visual condición filtro malla	Filtro malla OD 200mm	1	\$109.990	\$109.990	\$139.990	6	\$839.940
				Juntas y sellos	1	\$30.000	\$30.000			
	1.B.3	Desalineación de tornillo sin fin	Monitoreo de tornillo sin fin mediante análisis de vibraciones y alineación	Juntas y sellos	1	\$109.990	\$109.990	\$169.990	1	\$169.990
				Anillos de ajuste	2	\$30.000	\$60.000			
Calefactor	1.A.3	Calefactor quemado	Reemplazo de calefactores en intervalos programados que no lleguen al punto de fallo	Calefactores tipo C 200mm	10	\$18.000	\$180.000	\$330.000	1	\$330.000
				Contactores eléctricos	10	\$15.000	\$150.000			
Enfriamiento	1.A.1	Obstrucción en las tomas o salidas de aire	Inspección de condición y limpieza de las tomas y salidas de aire	Filtro malla inoxidable	1	\$15.000	\$15.000	\$40.000	12	\$480.000
				Terminales de conexión 3"	5	\$5.000	\$25.000			
	1.B.1	Desgaste de rodamientos	Reemplazo de rodamiento de turbina enfriamiento	Rodamientos	3	\$9.000	\$27.000	\$27.000	1	\$27.000
Elevación de torre	1.B.1	Desgaste o falta de lubricación en husillo	Realizar lubricación del husillo para evitar desgaste prematuro debido a la fricción	Juntas y sellos	4	\$5.000	\$20.000	\$20.000	12	\$240.000
	1.B.2	Desgaste de rodamientos del husillo	Reemplazo de rodamientos de husillo para prevenir desgaste excesivo	Rodamientos	4	\$9.000	\$36.000	\$36.000	1	\$36.000
Tiro superior	1.A.1	Correa de transmisión cortada	Reemplazo cíclico de correas de transmisión	Correas de transmisión	4	\$12.990	\$51.960	\$51.960	1	\$51.960
	1.A.3	Conexiones eléctricas flojas o sulfatadas	Limpieza y ajuste cíclico de las conexiones eléctricas	Terminales eléctricos	20	\$200	\$4.000	\$4.000	2	\$8.000
	1.B.2	Rodillo de goma desgastado	Rectificado de rodillo de goma	Rodillo de goma 100mm	2	\$350.000	\$700.000	\$748.000	2	\$1.496.000
				Rodamientos	4	\$12.000	\$48.000			
Bobinador	1.A.2	Fallos eléctricos o cortocircuito en sistema de control	Limpieza y ajuste de conexiones eléctricas para eliminar suciedad o sulfatación. Inspección y prueba de los componentes del sistema de control	Contactores eléctricos	4	\$15.000	\$60.000	\$64.000	2	\$128.000
				Terminales eléctricos	20	\$200	\$4.000			
				Rodillo de goma 300mm	1	\$500.000	\$500.000			
	1.B.1	Rodillo de goma desgastado	Rectificado de rodillo de goma	Rodamientos	4	\$15.000	\$60.000			
									Total	\$10.498.850

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3. Costos de mano de obra

Los costos por mano de obra son un factor importante dentro del presupuesto total anual de mantenimiento, ya que incluyen el tiempo y la especialización requerida para ejecutar tareas preventivas, correctivas y predictivas. Estas actividades, como la sustitución de rodamientos, correas de transmisión, ajuste de componentes eléctricos o lubricación de piezas críticas, exigen técnicos capacitados que aseguren la correcta ejecución de cada tarea y contribuyan a reducir los riesgos asociados a fallas futuras. El costo de la mano de obra se calcula en función de la cantidad de personal involucrado, la frecuencia anual de cada intervención, las horas estimadas de ejecución y la tarifa horaria según especialidad, resultando un costo total anual de \$7.218.889 (Ver tabla 3-10). Por su parte, dicha tarifa horaria se determina en función de la remuneración mensual correspondiente a cada cargo detallada en la tabla 3-9.

Tabla 3-9 Remuneración mensual

Cargo	Cantidad	Sueldo	Total	Valor HH (\$/h)
Tec. Mantenimiento industrial	2	\$900.000	\$1.800.000	\$5.000
Tec. Eléctrico	2	\$900.000	\$1.800.000	\$5.000
Ing. Mantenimiento industrial	1	\$1.400.000	\$1.400.000	\$3.889
		Total	\$5.000.000	\$13.889

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-10 Costos de mano de obra

Sub sistemas	Modo de falla		Tarea propuesta	Frecuencia anual	N° de personas	Especialidad	HH ejecución	Tarifa especialidad x hrs.	PTTO Anual
Extrusor	1.A.2	Ruptura de correas de transmisión	Tarea de sustitución cíclica: Reemplazo cíclico de correas de transmisión.	1	3	2 Técnico mantenimiento 1 Supervisor mantenimiento	2	\$8.889	\$80.000
	1.B.1	Desgaste excesivo del tornillo sin fin	Tarea a condición: Inspección y monitoreo de desgaste en el tornillo sin fin, medición de las dimensiones del tornillo para evaluar condición.	4	5	2 Técnico mantenimiento 2 Técnico eléctricos 1 Supervisor mantenimiento	9	\$13.889	\$2.500.000
	1.B.2	Filtro parcialmente bloqueado	Tarea a condición: Inspección visual condición filtro malla	6	3	2 Técnico mantenimiento 1 Supervisor mantenimiento	5	\$8.889	\$800.000
	1.B.3	Desalineación de tornillo sin fin	Tarea a condición: Monitoreo de tornillo sin fin mediante análisis de vibraciones y alineación	1	1	Especialista Vibraciones	2	\$250.000	\$500.000
Calefactor	1.A.3	Calefactor quemado	Tarea de sustitución cíclica: Reemplazo de calefactores en intervalos programados que no lleguen al punto de fallo	1	5	2 Técnico mantenimiento 2 Técnico eléctricos 1 Supervisor mantenimiento	2	\$13.889	\$138.889
Enfriamiento	1.A.1	Obstrucción en las tomas o salidas de aire	Tarea a condición: Inspección de condición y limpieza de las tomas y salidas de aire	12	3	2 Técnico mantenimiento 1 Supervisor mantenimiento	3	\$8.889	\$960.000
	1.B.1	Desgaste de rodamientos	Tarea a sustitución cíclica: Reemplazo de rodamiento de turbina enfriamiento	1	3	2 Técnico mantenimiento 1 Supervisor mantenimiento	5	\$8.889	\$133.333
Elevación de torre	1.B.1	Desgaste o falta de lubricación en husillo	Tarea de reacondicionamiento cíclico: Realizar lubricación del husillo para evitar desgaste prematuro debido a la fricción	12	3	2 Técnico mantenimiento 1 Supervisor mantenimiento	2	\$8.889	\$640.000
	1.B.2	Desgaste de rodamientos del husillo	Tarea de sustitución cíclica: Reemplazo de rodamientos de husillo para prevenir desgaste excesivo	1	3	2 Técnico mantenimiento 1 Supervisor mantenimiento	6	\$8.889	\$160.000
Tiro superior	1.A.1	Correa de transmisión cortada	Tarea de sustitución cíclica: Reemplazo cíclico de correas de transmisión	1	3	2 Técnico mantenimiento 1 Supervisor mantenimiento	3	\$8.889	\$80.000
	1.A.3	Conexiones eléctricas flojas o sulfatadas	Tarea de reacondicionamiento cíclico: Limpieza y ajuste cíclico de las conexiones eléctricas	2	3	2 Técnico eléctricos 1 Supervisor mantenimiento	3	\$8.889	\$160.000
	1.B.2	Rodillo de goma desgastado	Tarea de reacondicionamiento cíclico: Rectificado de rodillo de goma	2	3	2 Técnico mantenimiento 1 Supervisor mantenimiento	8	\$8.889	\$426.667
Bobinador	1.A.2	Fallos eléctricos o cortocircuito en sistema de control	Tarea de reacondicionamiento cíclico: Limpieza y ajuste de conexiones eléctricas para eliminar suciedad o sulfatación. Inspección y prueba de los componentes del sistema de control	2	3	2 Técnico eléctricos 1 Supervisor mantenimiento	4	\$8.889	\$213.333
	1.B.1	Rodillo de goma desgastado	Tarea de reacondicionamiento cíclico: Rectificado de rodillo de goma	2	3	2 Técnico eléctricos 1 Supervisor mantenimiento	7	\$8.889	\$426.667
Fuente: Elaboración propia.								Total	\$7.218.889

3.2.4. Inversión en Herramientas

La inversión en herramientas constituye un componente esencial dentro del plan de mantenimiento, ya que permite dotar al personal técnico de los equipos necesarios para realizar intervenciones de manera eficiente y segura. Contar con herramientas adecuadas no solo optimiza los tiempos de ejecución, sino que también reduce el riesgo de errores, daños en los equipos y accidentes laborales. Esta inversión se ha clasificado en dos categorías: herramientas generales y herramientas especializadas, alcanzando un total de \$3.611.349 y \$28.375.235 respectivamente (Ver tabla 3-11, 3-12).

Cabe destacar que, si bien esta adquisición está orientada principalmente a la ejecución del plan de mantenimiento propuesto, las herramientas también estarán disponibles para ser utilizadas en otras necesidades operativas que puedan surgir dentro de la empresa, permitiendo una mayor versatilidad en futuras reparaciones o mejoras técnicas. De este modo, se potencia la eficiencia global del área de mantenimiento y se genera un valor agregado a largo plazo para la organización.

Tabla 3-11 Inversión en Herramientas

Nº	Ítem	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Alicate universal Stanley Aislada 1000v	2	\$25.990	\$51.980
2	Pinza punta Larga Stanley Aislada 1000v	2	\$22.990	\$45.980
3	Pinza cortante Stanley Aislada 1000v	2	\$20.390	\$40.780
4	Alicate Pelacable Automatico	2	\$20.750	\$41.500
5	Juego Llave Punta Corona 10-32mm 14pzs	2	\$97.549	\$195.098
6	Juego De Llaves Allen 2.0-19 Mm. 13 Pzas	2	\$30.980	\$61.960
7	Caja De Dados Y Llaves 1/4 Y 1/2 Bahco	2	\$184.990	\$369.980
8	Juego de 12 Destornilladores	4	\$14.990	\$59.960
9	Juego 7 Destornilladores Aislados Vde 1000v Stanley	2	\$38.594	\$77.188
10	Juego de mini destornilladores de precisión, 1000 V	1	\$26.239	\$26.239
11	Kit Extractor De Bujes Y Rodamientos Polea Juego 14 Pzas	1	\$26.790	\$26.790
12	Extractor Rodamientos, Bujes, Poleas 12 Pulgadas Universal	2	\$38.450	\$76.900
13	Kit de herramientas de montaje de rodamientos TMFT36	1	\$437.000	\$437.000
14	Cepillo De Limpieza De Grietas De Cerdas Duras	2	\$19.517	\$39.034
15	Alicate Aprieta Terminal Crimpingferrule	2	\$19.990	\$39.980
16	Llave De Torque 1/2" 50 A 250 lbs	2	\$95.680	\$191.360
17	Llave torque aislada 1000v mando 3/8" de 5 - 25 nm	2	\$512.420	\$1.024.840
18	Pie de Metro Análogo - 300mm/0,05mm - Serie 125 - Starrett	2	\$269.490	\$538.980
19	Micrometro Ext Mecanico 75 100 Mm 0,01mm Mitutoyo	2	\$132.900	\$265.800
			Total	\$3.611.349

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-12 Inversión en Herramientas Especializadas

Nº	Ítem	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Multímetro industrial Fluke 87V	1	\$536.200	\$536.200
2	Probador de Resistencia de Aislamiento Megómetro UT513A	1	\$469.990	\$469.990
3	Torno marca Baoji modelo CQ6280C/3000	1	\$25.296.283	\$25.296.283
4	Pistola engrasadora inalámbrica de 18v Makita	1	\$317.000	\$317.000
5	Probador de tension de correa	1	\$695.772	\$695.772
6	Alineador Laser De Poleas Belt Tech	1	\$1.059.990	\$1.059.990
			Total	\$28.375.235

Fuente: Elaboración propia.

3.2.5. Análisis de factibilidad

Para evaluar la factibilidad del plan de mantenimiento propuesto para la extrusora de plástico para bolsas, se elaboró un flujo de caja base con un horizonte de análisis de 10 años (Ver tabla 3-13). Este flujo contempla una producción anual constante de 599.040 kg de película de polietileno, y un valor promedio del kilogramo de bolsa de \$4.431, lo que se traduce en un ingreso por ventas anuales de aproximadamente \$2.654.602.971.

En este análisis se consideran todos los costos que están asociados a la implementación de la propuesta (detallados anteriormente), tales como mano de obra, repuestos, insumos, equipos de protección personal (EPP) y una inversión inicial en herramientas. Asimismo, se incluyen reinversiones proyectadas considerando la vida útil normal de cada herramienta, con el fin de garantizar la continuidad operativa del plan a lo largo del periodo evaluado.

Con el objetivo de reflejar una estimación más realista de la evolución de los flujos a lo largo del tiempo, se aplicó un reajuste anual por inflación utilizando como referencia el Índice de Precios del Consumidor (IPC), equivalente a un 4,7% según el periodo comprendido entre febrero de 2024 y febrero de 2025. Este ajuste permite proyectar el incremento natural de los costos en términos reales, anticipando posibles variaciones en los precios a lo largo del tiempo.

Para la actualización de los flujos proyectado a valor presente, se utilizó una tasa de descuento obtenida mediante el modelo de valorización de activos de capital (CAPM), donde la formula aplicada es: $K = R_f + B * (R_m - R_f)$. Donde $R_f = 3,5\%$; $B = 0,9$; y $R_m - R_f =$

5,5%. Al aplicar estos valores, se obtiene una tasa de descuento del 8,45% anual utilizada para calcular el flujo neto actualizado de cada año.

Por otro lado, con el propósito de evaluar la robustez y adaptabilidad de la propuesta del plan de mantenimiento en distintos contextos operacionales, se desarrollaron escenarios adicionales al flujo de caja base. Estos escenarios permiten observar cómo varían los resultados financieros ante cambios en los niveles de producción, considerando siempre la misma estructura de costos, inversión inicial y frecuencia de reinversión.

En primer lugar, se considera un escenario estático, el cual contempla un aumento fijo del 3% en la producción anual respecto al flujo base. Esto se traduce en una producción de 600.837 kg por año, la cual se mantiene constante a lo largo del horizonte de análisis. Este crecimiento tiene un impacto directo en los ingresos por ventas, pues aumentan levemente a \$2.662.566.780 anuales (Ver tabla 3-14).

En segundo lugar, se definió un escenario dinámico A con una tasa de crecimiento del 1% anual sobre la producción del año anterior. A través de esta progresión, la producción crece desde 599.639 kg en el año 1 hasta 605.057 kg en el año 10. Este comportamiento genera un aumento continuo en los ingresos por ventas, que en el último año alcanzan los \$2.681.268.777 (Ver tabla 3-15).

Finalmente, se construyó un escenario dinámico B, donde se aplica un crecimiento del 3% anual sobre la producción del año anterior. Como consecuencia, tanto la producción como los ingresos aumentan a través del tiempo, logrando en el año 10 una producción estimada de 617.256 kg y un ingreso por venta de \$2.735.324.821 (Ver tabla 3-16).

Tabla 3-13 Flujo de caja base

Categoría	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Produccion estimada kg		599040	599040	599040	599040	599040	599040	599040	599040	599040	599040
Valor kg bolsa		\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431
Ingreso por ventas		\$ 2.654.602.971	\$ 2.654.602.971	\$ 2.654.602.971	\$ 2.654.602.971	\$ 2.654.602.971	\$ 2.654.602.971	\$ 2.654.602.971	\$ 2.654.602.971	\$ 2.654.602.971	\$ 2.654.602.971
Costos mano de obra		\$ -7.218.889	\$ -7.558.177	\$ -7.913.411	\$ -8.285.341	\$ -8.674.752	\$ -9.082.466	\$ -9.509.342	\$ -9.956.281	\$ -10.424.226	\$ -10.914.164
Costos respuestos		\$ -10.498.850	\$ -10.992.296	\$ -11.508.934	\$ -12.049.854	\$ -12.616.197	\$ -13.209.158	\$ -13.829.989	\$ -14.479.998	\$ -15.160.558	\$ -15.873.104
Costos Insumos		\$ -1.822.459	\$ -1.908.115	\$ -1.997.796	\$ -2.091.692	\$ -2.190.002	\$ -2.292.932	\$ -2.400.700	\$ -2.513.533	\$ -2.631.669	\$ -2.755.357
Costos EPP		\$ -1.078.830	\$ -1.129.535	\$ -1.182.623	\$ -1.238.206	\$ -1.296.402	\$ -1.357.333	\$ -1.421.128	\$ -1.487.921	\$ -1.557.853	\$ -1.631.072
UTILIDAD OPERACIONAL		\$ 2.633.983.944	\$ 2.633.014.849	\$ 2.632.000.207	\$ 2.630.937.878	\$ 2.629.825.618	\$ 2.628.661.083	\$ 2.627.441.814	\$ 2.626.165.239	\$ 2.624.828.666	\$ 2.623.429.274
Inversion inicial	\$ -31.986.584										
Reinversion				\$ -4.112.981		\$ -2.891.764	\$ -4.306.292			\$ -4.508.687	\$ -29.512.884.94
FLUJO NETO	\$ -31.986.584	\$ 2.633.983.944	\$ 2.633.014.849	\$ 2.627.887.226	\$ 2.630.937.878	\$ 2.626.933.854	\$ 2.624.354.791	\$ 2.627.441.814	\$ 2.626.165.239	\$ 2.620.319.979	\$ 2.593.916.389
FLUJO NETO ACTUAL	\$ -31.986.584	\$ 2.428.754.213	\$ 2.238.691.218	\$ 2.060.241.138	\$ 1.901.920.538	\$ 1.751.061.324	\$ 1.613.040.269	\$ 1.489.108.054	\$ 1.372.415.448	\$ 1.262.665.519	\$ 1.152.551.684

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-14 Escenario estático con aumento fijo del 3%

Categoría	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Produccion estimada kg		600837	600837	600837	600837	600837	600837	600837	600837	600837	600837
Valor kg bolsa		\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431
Ingreso por ventas		\$ 2.662.566.780	\$ 2.662.566.780	\$ 2.662.566.780	\$ 2.662.566.780	\$ 2.662.566.780	\$ 2.662.566.780	\$ 2.662.566.780	\$ 2.662.566.780	\$ 2.662.566.780	\$ 2.662.566.780
Costos mano de obra		\$ -7.218.889	\$ -7.558.177	\$ -7.913.411	\$ -8.285.341	\$ -8.674.752	\$ -9.082.466	\$ -9.509.342	\$ -9.956.281	\$ -10.424.226	\$ -10.914.164
Costos respuestos		\$ -10.498.850	\$ -10.992.296	\$ -11.508.934	\$ -12.049.854	\$ -12.616.197	\$ -13.209.158	\$ -13.829.989	\$ -14.479.998	\$ -15.160.558	\$ -15.873.104
Costos Insumos		\$ -1.822.459	\$ -1.908.115	\$ -1.997.796	\$ -2.091.692	\$ -2.190.002	\$ -2.292.932	\$ -2.400.700	\$ -2.513.533	\$ -2.631.669	\$ -2.755.357
Costos EPP		\$ -1.078.830	\$ -1.129.535	\$ -1.182.623	\$ -1.238.206	\$ -1.296.402	\$ -1.357.333	\$ -1.421.128	\$ -1.487.921	\$ -1.557.853	\$ -1.631.072
UTILIDAD OPERACIONAL		\$ 2.641.947.752	\$ 2.640.978.658	\$ 2.639.964.016	\$ 2.638.901.686	\$ 2.637.789.427	\$ 2.636.624.891	\$ 2.635.405.623	\$ 2.634.129.048	\$ 2.632.792.475	\$ 2.631.393.083
Inversion inicial	\$ -31.986.584										
Reinversion				\$ -4.112.981		\$ -2.891.764	\$ -4.306.292			\$ -4.508.687	\$ -28.323.959.64
FLUJO NETO	\$ -31.986.584	\$ 2.641.947.752	\$ 2.640.978.658	\$ 2.635.851.035	\$ 2.638.901.686	\$ 2.634.897.663	\$ 2.632.318.600	\$ 2.635.405.623	\$ 2.634.129.048	\$ 2.628.283.788	\$ 2.603.069.123
FLUJO NETO ACTUAL	\$ -31.986.584	\$ 2.436.097.513	\$ 2.245.462.357	\$ 2.066.484.697	\$ 1.907.677.622	\$ 1.756.369.839	\$ 1.617.935.165	\$ 1.493.621.559	\$ 1.376.577.278	\$ 1.266.503.076	\$ 1.156.618.507

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-15 Escenario dinámico A con un crecimiento del 1%

Categoría	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Produccion estimada kg		599040	599040	599040	599040	599040	599040	599040	599040	599040	599040
Valor kg bolsa		\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431
Ingreso por ventas		\$ 2.654.602.971	\$ 2.654.602.971	\$ 2.654.602.971	\$ 2.654.602.971	\$ 2.654.602.971	\$ 2.654.602.971	\$ 2.654.602.971	\$ 2.654.602.971	\$ 2.654.602.971	\$ 2.654.602.971
Costos mano de obra		\$ -7.218.889	\$ -7.558.177	\$ -7.913.411	\$ -8.285.341	\$ -8.674.752	\$ -9.082.466	\$ -9.509.342	\$ -9.956.281	\$ -10.424.226	\$ -10.914.164
Costos respuestos		\$ -10.498.850	\$ -10.992.296	\$ -11.508.934	\$ -12.049.854	\$ -12.616.197	\$ -13.209.158	\$ -13.829.989	\$ -14.479.998	\$ -15.160.558	\$ -15.873.104
Costos Insumos		\$ -1.822.459	\$ -1.908.115	\$ -1.997.796	\$ -2.091.692	\$ -2.190.002	\$ -2.292.932	\$ -2.400.700	\$ -2.513.533	\$ -2.631.669	\$ -2.755.357
Costos EPP		\$ -1.078.830	\$ -1.129.535	\$ -1.182.623	\$ -1.238.206	\$ -1.296.402	\$ -1.357.333	\$ -1.421.128	\$ -1.487.921	\$ -1.557.853	\$ -1.631.072
UTILIDAD OPERACIONAL		\$ 2.633.983.944	\$ 2.633.014.849	\$ 2.632.000.207	\$ 2.630.937.878	\$ 2.629.825.618	\$ 2.628.661.083	\$ 2.627.441.814	\$ 2.626.165.239	\$ 2.624.828.666	\$ 2.623.429.274
Inversion inicial	\$ -31.986.584										
Reinversion				\$ -4.112.981		\$ -2.891.764	\$ -4.306.292			\$ -4.508.687	\$ -29.512.884.94
FLUJO NETO	\$ -31.986.584	\$ 2.633.983.944	\$ 2.633.014.849	\$ 2.627.887.226	\$ 2.630.937.878	\$ 2.626.933.854	\$ 2.624.354.791	\$ 2.627.441.814	\$ 2.626.165.239	\$ 2.620.319.979	\$ 2.593.916.389
FLUJO NETO ACTUAL	\$ -31.986.584	\$ 2.428.754.213	\$ 2.238.691.218	\$ 2.060.241.138	\$ 1.901.920.538	\$ 1.751.061.324	\$ 1.613.040.269	\$ 1.489.108.054	\$ 1.372.415.448	\$ 1.262.665.519	\$ 1.152.551.684

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-16 Escenario dinámico B con un crecimiento del 3%

Categoría	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Produccion estimada kg		600837	602640	604448	606261	608080	609904	611734	613569	615410	617256
Valor kg bolsa		\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431
Ingreso por ventas		\$ 2.662.566.780	\$ 2.670.554.481	\$ 2.678.566.144	\$ 2.686.601.843	\$ 2.694.661.648	\$ 2.702.745.633	\$ 2.710.853.870	\$ 2.718.986.432	\$ 2.727.143.391	\$ 2.735.324.821
Costos mano de obra		\$ -7.218.889	\$ -7.558.177	\$ -7.913.411	\$ -8.285.341	\$ -8.674.752	\$ -9.082.466	\$ -9.509.342	\$ -9.956.281	\$ -10.424.226	\$ -10.914.164
Costos respuestos		\$ -10.498.850	\$ -10.992.296	\$ -11.508.934	\$ -12.049.854	\$ -12.616.197	\$ -13.209.158	\$ -13.829.989	\$ -14.479.998	\$ -15.160.558	\$ -15.873.104
Costos Insumos		\$ -1.822.459	\$ -1.908.115	\$ -1.997.796	\$ -2.091.692	\$ -2.190.002	\$ -2.292.932	\$ -2.400.700	\$ -2.513.533	\$ -2.631.669	\$ -2.755.357
Costos EPP		\$ -1.078.830	\$ -1.129.535	\$ -1.182.623	\$ -1.238.206	\$ -1.296.402	\$ -1.357.333	\$ -1.421.128	\$ -1.487.921	\$ -1.557.853	\$ -1.631.072
UTILIDAD OPERACIONAL		\$ 2.641.947.752	\$ 2.648.966.358	\$ 2.655.963.380	\$ 2.662.936.749	\$ 2.669.884.295	\$ 2.676.803.744	\$ 2.683.692.712	\$ 2.690.548.699	\$ 2.697.369.085	\$ 2.704.151.123
Inversion inicial	\$ -31.986.584										
Reinversion				\$ -4.112.981		\$ -2.891.764	\$ -4.306.292			\$ -4.508.687	\$ -28.323.959.64
FLUJO NETO	\$ -31.986.584	\$ 2.641.947.752	\$ 2.648.966.358	\$ 2.651.850.399	\$ 2.662.936.749	\$ 2.666.992.531	\$ 2.672.497.453	\$ 2.683.692.712	\$ 2.690.548.699	\$ 2.692.860.398	\$ 2.675.827.164
FLUJO NETO ACTUAL	\$ -31.986.584	\$ 2.436.097.513	\$ 2.252.253.809	\$ 2.079.028.061	\$ 1.925.052.711	\$ 1.777.763.633	\$ 1.642.630.800	\$ 1.520.988.367	\$ 1.406.061.790	\$ 1.297.620.902	\$ 1.188.946.998

Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, como complemento al análisis económico, se elaboró un flujo de caja que considera tanto los ingresos anuales por ventas como los costos por no producción, este último dato fue adquirido gracias a una entrevista informal con un técnico de la empresa, en donde se obtuvo que la estimación de falla del equipo es mayor a 7 veces anuales y con tiempo de no producción superiores o iguales a 600 horas, resultando un costo estimado por no producción de \$212.708.571 (Ver tabla 3-17).

Tabla 3-17 Costos por no producción

Categoría	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Produccion estimada kg	599040	599040	599040	599040	599040	599040	599040	599040	599040	599040
Valor kg bolsa	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431	\$ 4.431
Ingreso por ventas	\$ 2.654.602.971	\$ 2.654.602.971	\$ 2.654.602.971	\$ 2.654.602.971	\$ 2.654.602.971	\$ 2.654.602.971	\$ 2.654.602.971	\$ 2.654.602.971	\$ 2.654.602.971	\$ 2.654.602.971
Costos por No produccion	\$ -212.708.571	\$ -212.708.571	\$ -212.708.571	\$ -212.708.571	\$ -212.708.571	\$ -212.708.571	\$ -212.708.571	\$ -212.708.571	\$ -212.708.571	\$ -212.708.571
FLUJO NETO	\$ 2.441.894.400	\$ 2.441.894.400	\$ 2.441.894.400	\$ 2.441.894.400	\$ 2.441.894.400	\$ 2.441.894.400	\$ 2.441.894.400	\$ 2.441.894.400	\$ 2.441.894.400	\$ 2.441.894.400
FLUJO NETO ACTUAL	\$ 2.251.631.535	\$ 2.076.193.209	\$ 1.914.424.351	\$ 1.765.259.891	\$ 1.627.717.741	\$ 1.500.892.339	\$ 1.383.948.676	\$ 1.276.116.806	\$ 1.176.686.773	\$ 1.085.003.940

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del análisis demuestran que el plan de mantenimiento propuesto para la extrusora de plástico para bolsas es una decisión viable, rentable y estratégicamente fundamentada. En donde todos los escenarios evaluados muestran que el proyecto genera flujos netos positivos, gracias a la considerable diferencia entre los ingresos anuales y los egresos totales.

Asimismo, el análisis permite concluir que la propuesta genera beneficios claros en términos de continuidad operativa, reducción de fallas inesperadas y mejora en la eficiencia del proceso. La aplicación del plan permite mantener una base productiva estable y abrir espacio para un crecimiento sostenido, tal como lo muestran los escenarios dinámicos.

Desde una perspectiva estratégica, la propuesta representa una inversión en confiabilidad, eficiencia y sostenibilidad operativa. Su ejecución fortalece la competitividad de la empresa al reducir el riesgo de interrupciones críticas, prolongar la vida útil de los activos, y permitir una operación más predecible y profesional.

Por lo tanto, se reafirma que la implementación del plan de mantenimiento no solo es rentable, sino que representa una decisión racional, sostenible y estratégica, especialmente en industrias donde el costo de una falla imprevista supera ampliamente el costo del mantenimiento.

CONCLUSIÓN

La presente investigación tuvo como objetivo desarrollar una propuesta de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM (Reliability-Centered Maintenance) para la extrusora de plástico para bolsas de la empresa Manufacturas de Plásticos Vijom Ltda.

Inicialmente, se analizó el proceso productivo de la empresa, identificando las etapas más críticas para la producción de bolsas de plástico. Este análisis permitió seleccionar los equipos críticos mediante una matriz cualitativa de riesgo. A partir de esta selección, se jerarquizaron 14 modos de falla mediante el análisis FMECA, evaluando su frecuencia, severidad y detectabilidad, lo que permitió determinar las tareas de mantenimiento más efectivas para mitigar riesgos y prevenir fallas inesperadas.

Las tareas propuestas incluyen desde inspecciones regulares hasta reemplazos cíclicos de componentes críticos, como rodamientos, correas de transmisión, calefactores, además de la inspección periódica del tornillo sin fin y la limpieza de filtros. Este enfoque estructurado no solo permite minimizar los riesgos asociados a fallas inesperadas, optimizando la confiabilidad y disponibilidad del equipo, sino que también garantiza la optimización de los recursos disponibles.

La planificación de estas incluyó herramientas de gestión como fichas de inspección, pautas de trabajo, órdenes de mantenimiento y protocolos de seguridad. Además, se identificaron los costos asociados a la implementación del plan, incluyendo repuestos, insumos, EPP, herramientas y mano de obra, detallando la inversión necesaria para su puesta en marcha. Gracias a lo anterior se elaboró un flujo de caja a 10 años que incorporó ingresos por ventas, costos de mantenimiento y pérdidas por fallas no planificadas. Este análisis, junto con distintos escenarios productivos (estático y dinámicos A y B), demostró que el plan es viable en todos los contextos evaluados. Los resultados evidencian que el plan genera flujos netos positivos, reduce pérdidas operativas y permite recuperar ingresos evitados por detenciones.

En conclusión, la propuesta mejora la continuidad operativa, reduce riesgos críticos y optimiza recursos, consolidándose como una solución integral.

BIBLIOGRAFIA

MOUBRAY, John. Reliability-centred maintenance II. Edición en español. Asheville, Carolina del Norte, EE.UU. Aladon Ltd. 2004. 433 p. ISBN 09539603-2-3.

J1739_202101: Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) including Design FMEA, Supplemental FMEA-MSR, and Process FMEA - SAE International. (n.d.).
https://www.sae.org/standards/content/j1739_202101/

Castro, Á. A. (2023, October 25). Extrusión de plásticos: proceso, máquinas extrusoras y aplicaciones. Gardner Business Media, Inc. <https://www.pt-mexico.com/articulos/extrusion-de-plasticos-proceso-maquinas-extrusoras-y-aplicaciones#5>

Mariano. (n.d.). *Extrusión de película soplada*. Tecnología De Los Plásticos.
<https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/04/extrusion-de-pelicula-soplada.html>

ANEXOS

Anexo N°1 Pauta de trabajo Extrusor

PAUTA DE TRABAJO		Sistema: Extrusora N°		Subsistema: Extrusor		
N°	Actividad	Nombre	Firma	Fecha	HH	
1	Detener el equipo y desconectarlo de alimentación eléctrica.					
2	Activar procedimiento de bloqueo y etiquetado (LOTO).					
3	Comprobar energía 0 para asegurar que no quede energía residual en el sistema.					
4	Retirar cubiertas protectoras del tornillo y sistema motriz.					
5	Inspeccionar visualmente estado general del equipo, incluyendo tolva, tornillo sin fin y filtro.					
6	Retirar y limpiar filtro de malla, eliminando residuos acumulados.					
7	Medir desgaste de tornillo sin fin mediante micrómetro					
8	Compare mediciones de tornillo con las tolerancias establecidas en el manual técnico.					
9	Revisar alineación del motor y tornillo sin aletas.					
10	Inspeccionar y lubricar las partes móviles según especificación del fabricante.					
11	Revisar conexiones eléctricas y comprobar el estado de cables y terminales.					
12	Sustituir las correas de transmisión si presentan desgaste.					
13	Realice la limpieza de todas las superficies internas y externas del equipo.					
14	Instale nuevamente el filtro de malla y verifique que este correctamente posicionado.					
15	Reensamblar todas las protecciones desmontadas durante el mantenimiento					
16	Encienda equipo en vacío y compruebe ausencia de ruido, vibraciones o anomalías.					
17	Compruebe la temperatura operativa del cilindro (190-210 °C)					
18	Documentar toda actividad realizada y registrar observaciones adicionales					
OBSERVACIONES:						

Anexo N°2 Pauta de trabajo Calefactores

PAUTA DE TRABAJO		Sistema: Extrusora N°		Subsistema: Calefactores		
N°	Actividad	Nombre	Firma	Fecha	HH	
1	Apagar el equipo y desconectarlo de la alimentación eléctrica.					
2	Realice el procedimiento de bloqueo y etiquetado (LOTO) para asegurar que el equipo este sin energía.					
3	Comprobar energía 0 mediante multímetro.					
4	Inspeccionar visualmente el estado del cableado eléctrico conectado a los calefactores.					
5	Identificar daños en el aislamiento de los cables, quemaduras o conexiones flojas.					
6	Utilice multímetro para medir la continuidad de los cables y verificar la resistencia de los calefactores.					
7	Ajustar las conexiones flojas en terminales o puntos de contacto utilizando herramientas aisladas.					
8	Reemplazar cables eléctricos dañados siguiendo las especificaciones					
9	Reemplazar calefactores dañados siguiendo las especificaciones					
10	Compruebe la temperatura operativa del cilindro (190-210 °C)					
11	Documentar toda actividad realizada y registrar observaciones adicionales.					
OBSERVACIONES:						

Anexo N°3 Pauta de trabajo Enfriamiento

PAUTA DE TRABAJO		Sistema: Extrusora N°	Subsistema: Enfriamiento		
N°	Actividad	Nombre	Firma	Fecha	HH
1	Apagar el equipo y desconectarlo de la alimentación eléctrica.				
2	Realice el procedimiento de bloqueo y etiquetado (LOTO) para asegurar que el equipo este sin energía.				
3	Comprobar energía 0 mediante multímetro.				
4	Inspeccionar visualmente las tomas y salidas de aire, verificando la presencia de obstrucciones o residuos				
5	Limpiar las tomas y salidas de aire con herramientas adecuadas (cepillos, sopladores de aire)				
6	Revisar los ductos de aire en busca de signos de desgaste, cortes o fisuras.				
7	Reparar o reemplazar los ductos de aire dañados según especificaciones del fabricante.				
8	Inspeccionar el rodamiento de la turbina de enfriamiento en busca de juego excesivo o desgaste.				
9	Reemplazar el rodamiento de turbina si presenta desgaste significativo, utilizando las herramientas adecuadas.				
10	Realice el monitoreo de la turbina mediante análisis de vibraciones con un equipo especializado.				
11	Verificar el funcionamiento del sistema de enfriamiento encendiendo el equipo en vacío.				
12	Documentar toda actividad realizada y registrar observaciones adicionales.				
OBSERVACIONES:					

Anexo N°4 Pauta de trabajo Elevación torre

PAUTA DE TRABAJO		Sistema: Extrusora N°	Subsistema: Elevación de torre		
N°	Actividad	Nombre	Firma	Fecha	HH
1	Apagar el equipo y desconectarlo de la alimentación eléctrica.				
2	Realice el procedimiento de bloqueo y etiquetado (LOTO) para asegurar que el equipo este sin energía.				
3	Comprobar energía 0 mediante multímetro.				
4	Revisar el estado de las correas de transmisión en busca de desgaste, grietas o tensión incorrecta.				
5	Reemplazar cíclicamente las correas de transmisión según especificaciones del fabricante.				
6	Monitorear el estado de motor eléctrico mediante análisis de corriente y temperatura operativa.				
7	Lubricar el husillo utilizando lubricantes recomendado para reducir la fricción y prevenir el desgaste.				
8	Inspeccionar visualmente los rodamientos del husillo en busca de juego excesivo o ruido anómalo.				
9	Reemplazar cíclicamente los rodamientos del husillo según las técnicas recomendadas.				
10	Verificar el funcionamiento del sistema de elevación de torre encendiendo el equipo en vacío.				
11	Documentar toda actividad realizada y registrar observaciones adicionales.				
OBSERVACIONES:					

Anexo N°5 Pauta de trabajo Tiro superior

PAUTA DE TRABAJO		Sistema: Extrusora N°	Subsistema: Tiro superior		
N°	Actividad	Nombre	Firma	Fecha	HH
1	Apagar el equipo y desconectarlo de la alimentación eléctrica.				
2	Realice el procedimiento de bloqueo y etiquetado (LOTO) para asegurar que el equipo este sin energía.				
3	Comprobar energía 0 mediante multímetro.				
4	Revisar el estado de las correas de transmisión en busca de desgaste, grietas, o tensión incorrecta.				
5	Reemplazar cíclicamente las correas de transmisión siguiendo las especificaciones del fabricante.				
6	Inspeccionar visualmente el estado del cableado eléctrico				
7	Ajustar las conexiones flojas en terminales o puntos de contacto utilizando herramientas aisladas.				
8	Realice limpieza cíclica de las conexiones eléctricas utilizando limpiadores dieléctricos.				
9	Inspeccionar los rodillos de goma del tiro superior para detectar desgaste o deformaciones.				
10	Rectifique los rodillos de goma para asegurar su correcto funcionamiento y alineación.				
11	Verificar el funcionamiento del sistema tiro superior encendiendo el equipo en vacío.				
12	Documentar toda actividad realizada y registrar observaciones adicionales.				
OBSERVACIONES:					

Anexo N°6 Pauta de trabajo Bobinador

PAUTA DE TRABAJO		Sistema: Extrusora N°	Subsistema: Bobinador		
N°	Actividad	Nombre	Firma	Fecha	HH
1	Apagar el equipo y desconectarlo de la alimentación eléctrica.				
2	Realice el procedimiento de bloqueo y etiquetado (LOTO) para asegurar que el equipo este sin energía.				
3	Comprobar energía 0 mediante multímetro.				
4	Analizar la carga operativa del motor y tensión de trabajo.				
5	Inspeccionar visualmente conexiones eléctricas en busca de suciedad o sulfatación.				
6	Realice limpieza de las conexiones eléctricas utilizando limpiador dieléctrico y ajustado de terminales.				
7	Inspeccionar los componentes del sistema de control, relés y contactores, para identificar fallas.				
8	Probar el correcto funcionamiento de los componentes del sistema de control mediante pruebas funcionales.				
9	Revise visualmente el rodillo de goma del bobinador en busca de desgaste, fisuras o deformaciones.				
10	Rectifique el rodillo de goma utilizando herramientas de precisión para garantizar su correcto funcionamiento.				
11	Realice pruebas del sistema del bobinador en vacío para verificar que no haya ruidos o anomalías.				
12	Documentar toda actividad realizada y registrar observaciones adicionales.				
OBSERVACIONES:					