

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

**PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN
CONFIABILIDAD A EQUIPO CRÍTICO DE LA EMPRESA PLÁSTICOS
TUMANI SPA.**

Trabajo de Titulación para optar al Título de
INGENIERÍA DE EJECUCIÓN EN
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.

Alumno:

Mauricio Alejandro Pizarro Basáez

Profesor Guía:

Ing./Sr. Andrés Aránguiz Garrido

2020

RESUMEN

Keywords: RCM, Confiabilidad.

El presente trabajo de título, consiste en realizar una propuesta de plan de mantenimiento centrado en confiabilidad o RCM, al equipo crítico de la empresa plásticos Tumani spa., con la finalidad de obtener un plan que permita la futura estandarización de éste, cuando la empresa lo estime pertinente.

Dicho equipo, fue seleccionado mediante un diagrama de dispersión logarítmica Jack Knife, en donde arrojó que el equipo de mayor criticidad según cantidad de fallas y tiempo medio de reparación (MTTR) es una máquina de moldeo por soplado, o comúnmente llamada sopladora, la cual es denominada en la empresa como SOP-07.

Además, se recopiló información de la empresa en la que se encuentra dicho equipo, se especificó el proceso productivo de la empresa, y las condiciones de mantenimiento en que se encuentra actualmente la organización.

Luego, se generaron modos de fallo de una falla funcional total y parcial de la máquina, en donde se especificó la función principal del equipo SOP-07, y se puntualizaron las evidencias que presenta el equipo e impactos en la empresa, en materia de producción, seguridad y medioambiente.

Posteriormente, con la metodología RPN o número de prioridad de riesgo, se jerarquizaron los modos de fallo a través de una matriz cualitativa, en donde se tomaron en consideración la severidad, ocurrencia y detección de los modos de fallo, estableciendo un valor representativo y adimensional, en base a la norma SAE J1739.

Una vez jerarquizados, se definieron tareas propuestas para eliminar o mitigar los efectos de estos modos de fallo; dichas tareas, se basaron en un diagrama de toma de acciones, para fundamentarse en la decisión más óptima según las condiciones y requerimientos de la empresa.

Teniendo tareas propuestas para la solución de los modos de fallo, se generaron cuatro niveles de programación, respecto a la frecuencia en que se debían ejecutar.

Se establecieron niveles de prioridad de éstos, para luego generar los procedimientos de las tareas propuestas; también, se generaron procedimientos para la solución de los modos de fallo que se presenten como imprevistos.

Para todos los procedimientos establecidos, se definieron los recursos humanos y materiales, para la correcta ejecución de la tarea.

Finalmente, se establecen los costos asociados a la realización de la propuesta del plan, definiendo la factibilidad del proyecto con respecto a la situación actual de la empresa.

ÍNDICE

RESUMEN	2
SIGLAS Y SIMBOLOGÍA	8
A. SIGLAS	8
B. SIMBOLOGÍA	8
INTRODUCCIÓN	9
OBJETIVOS	10
OBJETIVO GENERAL	10
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES	11
1.1. PLÁSTICOS TUMANI SPA	12
1.2. PROCESO PRODUCTIVO	13
1.2.1. Proceso de inyección	15
1.2.2. Proceso de soplado	16
1.2.3. Proceso de inyección-soplado.....	17
1.3. EQUIPOS DE PRODUCCIÓN Y AUXILIARES	17
1.4. MARCO GENERAL	18
1.4.1. Mantenimiento en Plásticos Tumani Spa	19
3.1.1. Justificación del tema	20
1.5. DIAGRAMA JACK KNIFE	21
1.6. ANÁLISIS DEL EQUIPO CRÍTICO SELECCIONADO	23
CAPÍTULO 2: MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD	24
2.1. METODOLOGÍA RCM	25
2.2. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO CRÍTICO SELECCIONADO	25
2.3. FUNCIÓN PRINCIPAL SOP-07	26
2.4. FALLAS FUNCIONALES Y MODOS DE FALLO DEL EQUIPO	27
2.4.1 Falla funcional total SOP-07	28
2.4.2. Falla funcional parcial SOP-07.....	29
2.5. JERARQUIZACIÓN DE LOS MODOS DE FALLO	32
2.5.1. Severidad de los modos de fallo	32
2.5.2. Ocurrencia de los modos de fallo.....	33
2.5.3. Detección de los modos de fallo	34

2.6.	NÚMERO DE PRIORIDAD DE RIESGO.....	35
2.7.	RPN DE LOS MODOS DE FALLO ESTABLECIDOS	35
2.8.	DIAGRAMA DE DECISIONES.....	36
CAPÍTULO 3: PROGRAMACIÓN Y PLANIFICACIÓN DE ACTIVIDADES Y COSTOS ASOCIADOS.....		39
3.2.	PROGRAMACIÓN DE LAS TAREAS PROPUESTAS	40
3.3.	PLANIFICACIÓN DE TAREAS	41
3.4.	TAREAS PROPUESTAS	41
3.4.1.	Cambio de filtros hidráulicos para válvula direccional de traslado	41
3.4.2.	Cambio de rodamiento de bolas motor caja reductora	42
3.4.3.	Cambio de cuchillas de corte	44
3.4.4.	Cambio de sellos pistones de cierre	45
3.4.5.	Cambio de los sellos de la cánula	46
3.5.	ACTIVIDADES PARA IMPREVISTOS.....	47
3.5.1.	Cambio de correa caja reductora.....	48
3.5.2.	Cambio de línea de presión hidráulica	48
3.6.	COSTOS ASOCIADOS AL MANTENIMIENTO	50
3.6.1.	Actividad 1: Cambio de filtros hidráulicos para válvula direccional	50
3.6.2.	Actividad 2: Cambio de rodamientos motor caja reductora.....	50
3.6.3.	Actividad 3: Cambio de correas caja reductora.....	50
3.6.4.	Actividad 4: Cambio de mangueras hidráulicas para desplazamiento	51
3.6.5.	Actividad 5: Cambio de cuchillas de corte.....	51
3.6.6.	Actividad 6: Cambio línea neumática de enfriamiento molde	51
3.6.7.	Actividad 7: Cambio de sellos pistón de cierre	52
3.6.8.	Actividad 8: Cambio de sellos cánula	52
3.7.	COSTO TOTAL PLAN DE MANTENIMIENTO	53
3.8.	COSTOS ACTUALES EN MANTENIMIENTO VS COSTOS PLAN DE MANTENIMIENTO.....	53
3.8.1.	Costos por tiempos de detención imprevista	54
3.8.1.1.	Actividad imprevista 1: Reemplazo de válvula direccional	55
3.8.1.2.	Actividad imprevista 2: Reemplazo de motor caja reductora.....	55
3.8.1.3.	Actividad imprevista 3: Cambio de correas caja reductora	55
3.8.1.4.	Actividad imprevista 4: Cambio de mangueras hidráulicas para desplazamiento	56
3.8.1.5.	Actividad imprevista 5: Cambio de cuchillas de corte	56
3.8.1.6.	Actividad imprevista 6: Cambio línea neumática de enfriamiento molde	56
3.8.1.7.	Actividad imprevista 7: Cambio de sellos pistón de cierre	57
3.8.1.8.	Actividad imprevista 8: Cambio de sellos cánula	57
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		61

BIBLIOGRAFÍA.....	62
ANEXOS	63
ANEXO A: DOCUMENTO EXCEL DIAGRAMA JACK KNIFE EQUIPOS ...	64
PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA PLÁSTICOS TUMANI SPA 2018.....	64
ANEXO B: BASE DE DATOS DE LOS EQUIPOS DE PRODUCCIÓN EN EL AÑO 2018.....	64
ANEXO C: REGISTRO HOJA DE INFORMACIÓN RCM.....	66
ANEXO D: REGISTRO HOJA DE DECISIÓN RCM.....	67

INDICE DE FIGURAS

- Figura 1-1.** Infraestructura externa de la empresa Plásticos Tumani Spa.
- Figura 1-2.** Mapa de proceso en diagrama de bloques del proceso productivo de la empresa Plásticos Tumani Spa.
- Figura 1-3.** Diagrama de flujo del proceso de inyección de plástico de un equipo de inyección
- Figura 1-4.** Diagrama de flujo del proceso de soplado para fabricación de envases plásticos
- Figura 1-5.** Diagrama de dispersión Jack Knife para la selección del equipo crítico del área de producción de la empresa Plásticos Tumani Spa.
- Figura 2-1.** Equipo de moldeo por soplado
- Figura 2-2.** Diagrama de decisiones para generación de tareas
- Figura 3-1.** Tareas propuestas e imprevistas y costos de manera acumulada
- Figura 3-2.** Tareas propuestas e imprevistas y costos de manera acumulada, considerando reproceso, indisponibilidad operacional y daños a componentes

INDICE DE TABLAS

- Tabla 2-1.** Especificaciones técnicas SOP-07
- Tabla 2-2.** Evaluación de severidad respecto a norma SAE J1739.
- Tabla 2-3.** Evaluación de ocurrencia respecto a norma SAE J1739.

Tabla 2-4. Evaluación de detección respecto a norma SAE J1739

Tabla 2-5. Criterios para determinación de los modos de fallo más críticos

Tabla 2-6. Jerarquización de los modos de fallo de la falla funcional total del equipo

Tabla 2-7. Jerarquización de los modos de fallo de la falla funcional parcial del equipo

Tabla 2-8. Tareas propuestas para modos de fallo con su frecuencia y tiempo de ejecución, nivel de prioridad y encargado a realizar

Tabla 3-1. Costos totales del plan de mantenimiento

Tabla 3-2. Costos asociados a daños en componentes

Tabla 3-3. Costo H/H total de actividades de mantenimiento de imprevisto

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

A. SIGLAS

RCM	: Mantenimiento centrado en confiabilidad (Reliability Centred Maintenance).
Spa	: Sociedad por acciones.
Sr	: Señor.
ISO	: Organización internacional para la estandarización (International Organization for Standardization).
MP	: Materia prima.
PET G	: Tereftalato de polietileno con glicol (Polyethylene terephthalate with glycol).
PEBD	: Polietileno de baja densidad.
MTTR	: Tiempo promedio para la reparación (Mean time to repair).
DT	: Tiempo de parada (Down time).
PVC	: Policloruro de vinilo (Polyvinyl chloride).
RPN	: Número de prioridad de riesgo (Risk priority number).
SAE	: Sociedad de ingenieros automotrices (Society of Automotive Engineers).
Pv	: Precio de venta.
H/H	: Horas hombre.

B. SIMBOLOGÍA

m ²	: Metros cuadrados.
%	: Porcentaje.
kg	: Kilogramo.
m ³ /h	: Metros cúbicos por hora.
in	: Pulgada (inch).
kW	: Kilowatt.
PSI	: Libras por pulgada cuadrada (Pound square inch).
°C	: Grados Celsius.
∞ ⁺	: Infinito hacia límite positivo.
N°	: Número

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento industrial, es el conjunto de actividades técnicas, de supervisión y administrativas, para preservar un equipo o devolverlo a un estado donde desarrolle su función requerida de forma óptima.

A través del tiempo, el mantenimiento de equipos ha ido evolucionando, apareciendo nuevas técnicas para obtener la mayor disponibilidad en los equipos y evitar impactos económicos negativos, de producción, ambientales, etc. en una organización o empresa.

Una técnica que toma importancia en la actualidad, es el mantenimiento centrado en la confiabilidad o RCM, el cual se basa en la elaboración de planes de mantenimiento enfocados en resolver las causas de las fallas presentes en los equipos, comúnmente llamados modos de fallo.

El RCM consta en establecer modos de fallos de las fallas funcionales totales y parciales de los equipos de alto impacto en la industria, para luego jerarquizar estos modos de fallo según el efecto negativo que puedan generar cuando ocurren.

Al jerarquizarlos, se construyen las tareas para solucionar dichos modos de fallo, posibilitando la programación y planificación de dichas tareas.

Aunque el RCM posee muchas ventajas y beneficios con respecto a otras técnicas de mantenimiento, lo cierto es que se debe tener en cuenta la alta inversión económica, el cambio de mentalidad de todos los trabajadores y administrativos incluyendo la gerencia, y que para ejecutar el RCM es un requisito primordial tener un historial de fallos para establecer los objetivos de mejora y conocer los equipos a intervenir. Es por esto, que la mejor estrategia de mantenimiento siempre será la más adecuada para el equipo en cuestión y no la más actual, ya que existen circunstancias en que la inversión es mayor que tener el equipo con mejores indicadores de desempeño.

En el presente informe, se generará una propuesta de plan de mantenimiento RCM al equipo de mayor criticidad en la empresa plásticos Tumani Spa. según historial de fallos del año 2018, para generar modos de fallo a dicho equipo, jerarquizar estos modos de fallo, establecer tareas para la solución de ellos y ver el impacto que tienen en la empresa, cuantificando sus costos asociados.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Realizar una propuesta de un plan de mantenimiento al equipo de mayor criticidad del área de producción de la empresa plásticos Tumani spa, mediante técnica de mantenimiento centrado en confiabilidad, para la obtención de un plan que permita la futura estandarización de éste, cuando la empresa lo requiera.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Recopilar la información necesaria para la selección del equipo crítico de la empresa, mediante diagrama de dispersión logarítmica Jack Knife.
2. Identificar modos de fallo de las fallas funcionales del equipo crítico seleccionado, para la jerarquización de éstos, mediante número de prioridad de riesgo.
3. Generar actividades de las soluciones de los modos de fallo más críticos del equipo seleccionado, que permita la posible estandarización de un plan en la empresa, mediante la planificación y programación de las actividades de mantenimiento cuantificando los costos asociados.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1.1. PLÁSTICOS TUMANI SPA.

Plásticos Tumani Spa., es una empresa dedicada a la fabricación de envases, tapas y piezas plásticas, orientada a la industria alimenticia, farmacéutica, cosmética y empresas de producción de artículos de aseo, entre otras.

Se fundó en el año 1964 en Viña del Mar por el sr. Jorge Tumani y desde ese momento, el rubro de la empresa fue la fabricación de elementos plásticos.

Ubicada desde el año 2003 en Valparaíso, específicamente en la comuna de Curauma, Plásticos Tumani cuenta con equipos de inyección, soplado y de inyección-soplado, lo que le permite fabricar una variada gama de artículos plásticos y ser una organización competitiva a nivel nacional.

Cuenta con instalaciones que abarcan 3.411 [m²] y una superficie total de 11.626 [m²] donde se encuentran áreas tales como producción, mantenimiento, matricería, embalaje, molienda y bodega.

Desde el año 2013, Plásticos Tumani cuenta con la certificación ISO 9001 de gestión de calidad, además de poseer un sistema integrado para la reutilización de material reciclado, estableciendo como misión principal la recuperación del 80 % de los residuos generados, situándolos nuevamente como materia prima para su proceso productivo.

En la siguiente figura 1-1, se muestra la infraestructura externa de la organización, ubicada en Curauma.



Fuente: <https://www.tumani.cl/>

Figura 1-1. Infraestructura externa de la empresa Plásticos Tumani Spa.

1.2. PROCESO PRODUCTIVO

El proceso productivo de una empresa es referido al conjunto secuencial de actividades interrelacionadas para transformar una entrada o materia prima en una salida o producto final. Normalmente, dicho proceso cuenta con tecnología con la finalidad de que el sistema sea más eficiente (reducir tiempos de operación).

En la empresa plásticos Tumani Spa., el proceso productivo se basa en transformar materia prima plástica en productos finales tales como envases, tapas, repuestos y botellas, entre otros.

Además de las áreas de producción, mantenimiento y matricería, para un correcto resultado en el producto final hasta llegar al cliente, hay diferentes factores implicados en el proceso. Esto puede ser más visible en la siguiente figura 1-2, la cual presenta en un diagrama de bloques, todas las influencias del proceso productivo de la empresa plásticos Tumani spa.

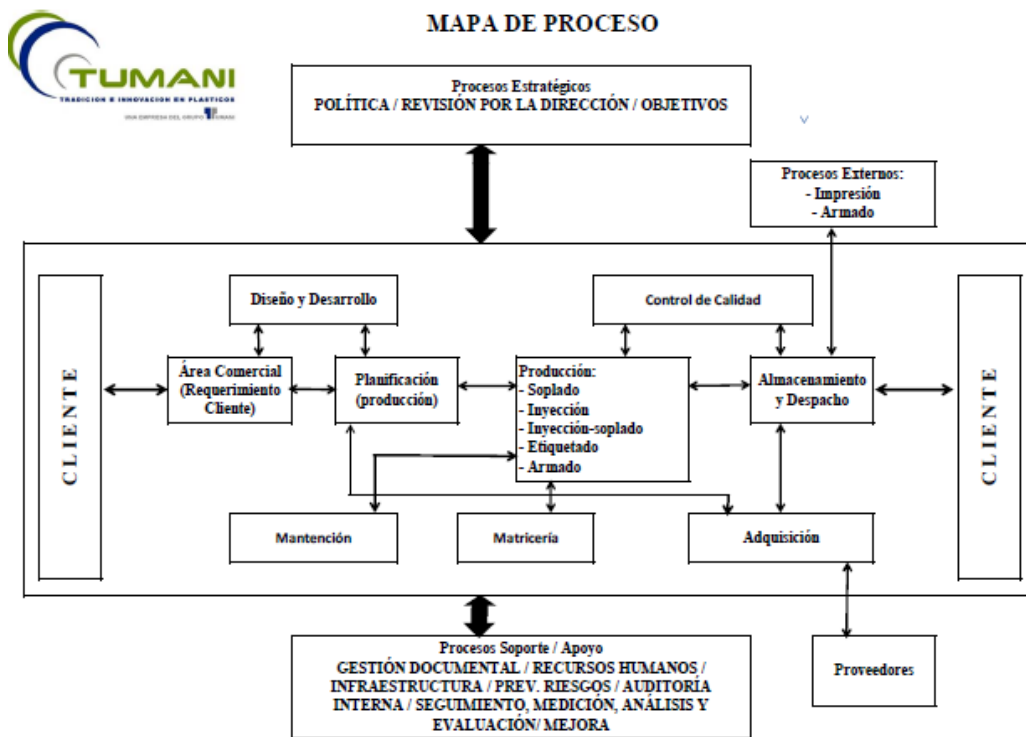


Figura 1-2. Mapa de proceso en diagrama de bloques del proceso productivo de la empresa Plásticos Tumani Spa.

En la figura anterior, se presentó el mapa de procesos de la empresa Plásticos Tumani Spa., el cual se puede describir de la siguiente manera:

El primer punto del proceso productivo comienza con el proveedor, el cual se encarga de abastecer a la empresa con materia prima (en este caso plástico). Al adquirir dicha materia prima, se procede al almacenamiento de ésta en bodega para la posterior planificación de los pedidos y solicitudes de productos finales. En este caso, hay productos los cuales se deben diseñar según requerimientos específicos de los clientes, los cuales van directamente al área de diseño y desarrollo antes de pasar al área de producción. Otros, son productos estándar los cuales se producen normalmente, manteniendo un stock en bodega, los cuales pueden ser observados por los clientes en el catálogo de la empresa, disponible en su sitio web.

Una vez que la materia prima está disponible para su procesamiento en el área de producción, ésta se carga en tolvas dosificadoras por los operarios de producción. Las tolvas, están interconectadas por tuberías donde el plástico particulado fluye junto con un caudal de aire, hacia los equipos de soplado, inyección e inyección-soplado.

Paralelamente, están las áreas de mantenimiento y matricería, que brindan el apoyo necesario para el correcto funcionamiento del proceso.

El área de mantenimiento se encarga de mantener operativos los equipos solucionando las fallas que se presentan, además de la lubricación de las máquinas.

Además, como el tema de filtración de aceite de los equipos es un problema recurrente en el área de producción, mantención también debe mantener la limpieza del área de manera óptima. Cabe destacar, que para ciertos equipos de inyección-soplado destinados a la producción de elementos farmacéuticos, se deben cumplir normas específicas de higiene establecidas por la empresa solicitadora del producto, teniendo el equipo en una sala definida, donde solo se puede ingresar con una vestimenta adecuada para mantener la correcta higiene del proceso.

Otra responsabilidad del área de mantención en la empresa, es manejar la bodega de repuestos y tener un control de cada insumo que es requerido en la planta.

En el caso del área de matricería, estos están a cargo de crear y modificar todas las matrices de la planta, las cuales son montadas en los equipos de producción por los operarios de máquinas. También, apoyan al área de mantención si se requiere algún mecanizado en un elemento para la solución de una falla.

Cuando los productos finales se van obteniendo de las máquinas de producción, los operarios se encargan de almacenar los envases y tapas en cajas, las cuales son retiradas y puestas en bodega por personal de bodega con ayuda de transpaletas.

Cabe destacar, que cuando se presenta merma de productos, éste es reprocesado en molinos para plástico para su posterior reutilización.

Ciertos productos, requieren del proceso de etiquetado o armado. Aunque tanto el etiquetado como el armado forman parte de la elaboración del producto final, en la empresa se establecen como externos al proceso, ya que no todos los productos lo requieren.

Al momento de tener los productos finales almacenados en bodega y distribuidos en cajas, deben pasar por un control de calidad para el aseguramiento de los estándares y normas asociados al producto, así como también de las especificaciones establecidas por el cliente.

Si los productos logran pasar el control de calidad, son enviados desde bodega a camiones transportadores/ distribuidores, los que tienen como destino el cliente final.

Si el control arroja que el producto no cumple con los requisitos establecidos, estos son reprocesados para la futura elaboración de nuevos elementos.

A continuación, se detallan de manera general los procesos de inyección, soplado, e inyección-soplado utilizados en la empresa, ya que tienen directa relación con el proceso para la obtención del producto final.

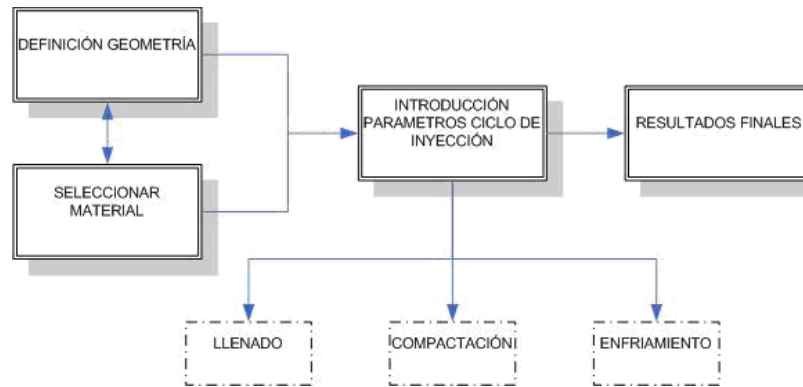
1.2.1. Proceso de inyección

El proceso de inyección consta de dos partes principales del equipo de inyección; la unidad de cierre y el sistema de inyección de plástico.

La unidad de cierre es la encargada del ajuste de la apertura y cierre de la matriz, además de la expulsión de la pieza fabricada.

En cambio, el sistema de inyección de plástico, es el encargado de suministrar la materia prima a alta temperatura (estado líquido) hacia la matriz. Se destaca, que el proceso de inyección debe poseer todos los parámetros establecidos de manera correcta según el tipo de producto a fabricar, y el tipo de material utilizado.

En la siguiente figura 1-3, se presenta un diagrama de flujo del proceso de inyección.

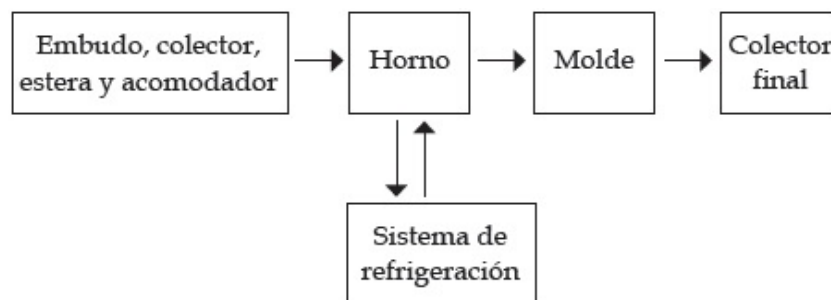


Fuente: <https://www.nsolver.com>

Figura 1-3. Diagrama de flujo del proceso de inyección de plástico de un equipo de inyección.

1.2.2. Proceso de soplado

El proceso de soplado es empleado para la fabricación de cuerpos huecos como por ejemplo botellas. Consta de un elemento el cual expulsa una manga de plástico a alta temperatura, donde una matriz de dos caras simétricas encapsula la manga. En ese instante, se le inyecta aire a la manga plástica, que por medio de la expansión del material adopta la forma deseada. Luego, unas cuchillas cortan la manga, para posteriormente ser llevadas al área de salida de la máquina. Se destaca que, al momento de inyectar el aire, se activa un sistema de refrigeración para mayor eficiencia del proceso. Además, se debe tener en cuenta que la temperatura, la velocidad de salida del plástico y el largo de la manga, dependen del producto final que se desea, además del material empleado. A continuación, en la figura 1-4 se observa el diagrama de flujo del proceso de soplado.



Fuente: <http://www.scielo.org.co>

Figura 1-4. Diagrama de flujo del proceso de soplado para fabricación de envases plásticos.

1.2.3. Proceso de inyección-soplado

El proceso de inyección-soplado, posee el mismo principio que el proceso de soplado, aunque posee un proceso de inyección al inicio, obteniendo una preforma de la pieza. Esto, ayuda a que las piezas se ajusten a tolerancias más pequeñas y no necesiten un proceso posterior de recorte en su boquilla como en el de soplado, ya que la inyección de plástico es totalmente uniforme. Normalmente, este proceso es recomendado para envases de menor tamaño, donde se necesite mayor exactitud en la fabricación de las roscas de sellado del producto.

1.3. EQUIPOS DE PRODUCCIÓN Y AUXILIARES

Los equipos por área con los que cuenta la empresa para realizar todo el proceso productivo presentado en los diagramas de bloques antes mencionados, son los siguientes:

Área producción

- 12 blowing (sopladoras)
- 30 máquinas inyectoras
- 5 inyectoras-sopladoras

Área matricería

- 5 tornos paralelos
- 3 fresadoras
- 3 rectificadoras
- 1 centro de mecanizado
- 1 cepillo mecánico
- 1 sierra-huincha
- 1 electroerosionadora

Área mantención

- 2 Cargador MP
- 1 Secador de Aire
- 1 Secador PET G
- 1 Taladro percutor
- 1 Taladro de Pedestal
- 1 Taladro Fresador
- 1 Compresor
- 1 Torno
- 1 Sierra
- 1 Granalladora

- 1 Transformador
- 1 Acumulador

Equipos auxiliares

- 12 Equipo de refrigeración
- 21 atemperador de molde
- 22 molinos
- 5 revolvedoras
- 2 Grúa Horquilla
- 1 generador
- 1 caldera
- 3 Enfilmadora
- 2 Medidor de Estanqueidad
- 1 Hidropack con unidad de bombeo
- 1 Cortadora de Domos
- 1 Armadora Doy-Pack Frontal
- 1 Selladora Inducción
- 1 Etiquetadora
- 1 Armadora Doy-Pack Corner
- 1 Cámara de Vacío
- 1 Microscopio
- 2 Mezclador de MP
- 1 Cargador Materia Prima
- 1 Mezcladora de Master
- 1 Apilador Eléctrico
- 1 Compresor de Tornillo
- 1 Silo PEBD
- 1 Aeroenfriador
- 1 Enfriamiento Moldes
- 1 Enfriamiento Hidráulico

1.4. MARCO GENERAL

El mantenimiento industrial, es un conjunto de actividades tanto técnicas como de carácter organizacional, las cuales son muy importantes en las diferentes industrias de Chile y el mundo. Dichas actividades, están destinadas a preservar o devolver a un estado óptimo, los equipos de una planta industrial.

Cada empresa o industria, posee diferentes estrategias implantadas en sus políticas de mantenimiento, las cuales pueden ser correctivas, preventivas, predictivas, proactivas, entre otras.

La realidad en la industria chilena, sin considerar la minería, dista bastante respecto a los países pioneros en mantenimiento a través del mundo, donde cada vez invierten más recursos para determinar la estrategia más eficaz en sus industrias.

En cambio, en Chile la mayor parte de las empresas no tiene políticas de mantenimiento adecuadas donde se busque la mejor opción para preservar sus equipos, y caen en la excesiva utilización del mantenimiento correctivo o a la falla, reduciéndole

importancia a estas actividades. Esto se ve reflejado, en la poca inversión monetaria y la baja cantidad de personal de mantención en las empresas comunes del país.

Cabe destacar, que el arte del mantenimiento posee diversos beneficios tales como aumentar la disponibilidad de los equipos, evitar fallas inesperadas, reducir los costos de la organización, reducir los tiempos en la intervención de los equipos, entre otras.

1.4.1. Mantenimiento en Plásticos Tumani Spa.

En el caso particular de la empresa Plásticos Tumani Spa. referido a sus políticas de mantenimiento, implementan casi en su totalidad acciones de mantenimiento correctivas, además de algunas acciones preventivas asociadas a lubricación, teniendo un historial de fallas para tener en cuenta la frecuencia en que fallan todos los equipos de la planta, aunque solo se utiliza de manera estadística, ya que no generan un cambio en la intervención de las máquinas en un periodo respecto a otro, disponiendo de dicho material.

A todo esto, se le suma que cuentan con baja cantidad de personal en dicha área (2 personas), siendo éstos el jefe de mantención y el técnico de mantenimiento los cuales poseen bastante experiencia en el rubro.

Solo la experiencia del personal hace que el área de mantención funcione de forma adecuada o no sea tan notorio el déficit de recursos humanos y monetarios.

Sumado a lo planteado anteriormente, hay equipos que están detenidos hace mucho tiempo por falta de repuestos y porque el personal de mantención no da abasto para cubrir la reparación de dichos equipos.

Otro punto a destacar, es que ninguna tarea de mantenimiento se encuentra planificada, aumentando el tiempo de intervención en los equipos por no tener las tareas de mantención establecidas.

Además, hay bastantes problemas cuando un integrante no se encuentra o hay demasiado trabajo en el área, teniendo que ejercer prioridades a los equipos que tienen pedidos de mayor relevancia y/o más próximos a hacer entregas. Esto, genera indisponibilidad en algunas máquinas que se traducen en pérdidas económicas.

En la empresa, un problema recurrente y muy notorio, es la fuga de aceite en el área de producción, en donde la gerencia tiene como objetivo reducirlas. Dichas fugas, implican variados inconvenientes tales como:

- El aumento del riesgo de accidente por piso resbaladizo lo cual puede generar multas y/o demandas.
- Pérdidas de aceite, lo que provoca un llenado constante de los estanques de aceite, y una sobre solicitud de éste insumo.
- Al llenar constantemente los estanques de aceite, el personal de mantención gasta tiempo en el proceso de llenado.
- Gasto extra en la compra de paños para la limpieza del aceite derramado en el piso y en la limpieza de éstos para su posterior reutilización.
- Pérdida de tiempo del personal de mantención al tener que realizar limpieza constante en el área de producción donde se encuentra el aceite derramado.

Por lo expuesto anteriormente, es necesario realizar modificaciones en las políticas de mantenimiento establecidas en la empresa; pero otro gran problema es el cambio de mentalidad de la gerencia para que cambie sus estrategias de mantención o que cuenten con mayor personal, ya que es muy complicado convencerlos porque implica una inversión no menor. Por lo tanto, lo más adecuado a realizar, es que de forma paulatina se planifiquen algunas actividades de mantenimiento a los equipos o equipo con mayor repercusión en la planta, para poder impactar positivamente en la disponibilidad de las máquinas y en los tiempos de intervención de éstas.

3.1.1. Justificación del tema

La justificación de la elaboración del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad en la empresa Plásticos Tumani Spa., radica en que la organización no posee plan de mantenimiento en sus equipos, lo que hace que las intervenciones que se realizan a estos equipos siempre sean de manera imprevista, elevando los costos de la empresa, o, dicho de otro modo, reduciendo las ganancias por tener equipos no disponibles.

Es por esto, que la empresa en ciertas ocasiones, ha tenido que cancelar multas por retraso de pedidos (2% del valor del pedido por día de retraso), producido por fallas imprevistas en sus equipos, lo que retrasa la planificación de operaciones.

Otro punto en consideración, es que la empresa suele reprocesar productos finales, ya que no cumplen con el control de calidad, aumentando el costo de fabricación por envase.

Lo anterior, se mitiga con actividades de mantenimiento que eviten que el equipo presente fallas funcionales de este tipo, como, por ejemplo, un mal sellado de la matriz de fabricación, por no realizar los cambios de componentes necesarios a tiempo.

1.5. DIAGRAMA JACK KNIFE

El diagrama Jack Knife, es un diagrama de dispersión logarítmica utilizado en el mantenimiento industrial como herramienta para la determinación de equipos o elementos de mayor criticidad.

Consiste en un gráfico de dos ejes el cual comúnmente utiliza el eje “X” como los eventos (fallas) y el eje “Y” como las consecuencias de dichos eventos (MTTR o costos de mantenimiento).

Por lo mismo, se necesita un historial de fallas o eventos para poder ejecutarlo.

Además, el gráfico se divide en cuatro cuadrantes, donde los eventos se pueden clasificar en bajo control, agudo, crónico y agudo/crónico. Sobre los cuadrantes, una línea diagonal cruza determinando el o los equipos críticos según un valor referencial de DT (Down Time) o tiempo de detención.

1.5.1. Aplicación diagrama Jack Knife

En Plásticos Tumani Spa., el área de mantenimiento cuenta con un historial de fallas de los equipos situados en las diferentes áreas de la empresa. En el caso del área de producción, se encuentran equipos de inyección-soplado, inyectoras y sopladoras. Dichos equipos, son los encargados de producir los distintos productos plásticos como tapas, botellas y diferentes envases y componentes.

Con la ayuda del diagrama de dispersión logarítmica Jack Knife, los equipos del área de producción se pueden analizar y determinar cuál es el de mayor criticidad en la empresa. En este caso, se emplearon la cantidad de fallas en el equipo a lo largo del año 2018 como eje “X”, y el tiempo medio para la reparación (MTTR) como eje “Y”, en el mismo periodo.

En el anexo B, se muestra el tiempo total de detención de los equipos estudiados, además de su cantidad de fallas y MTTR en el año 2018.

Se considera, que el equipo trabaja 9 horas a diario y que el año 2018 sin considerar feriados ni fines de semana tiene un total de 227 días, lo que traduce a que las

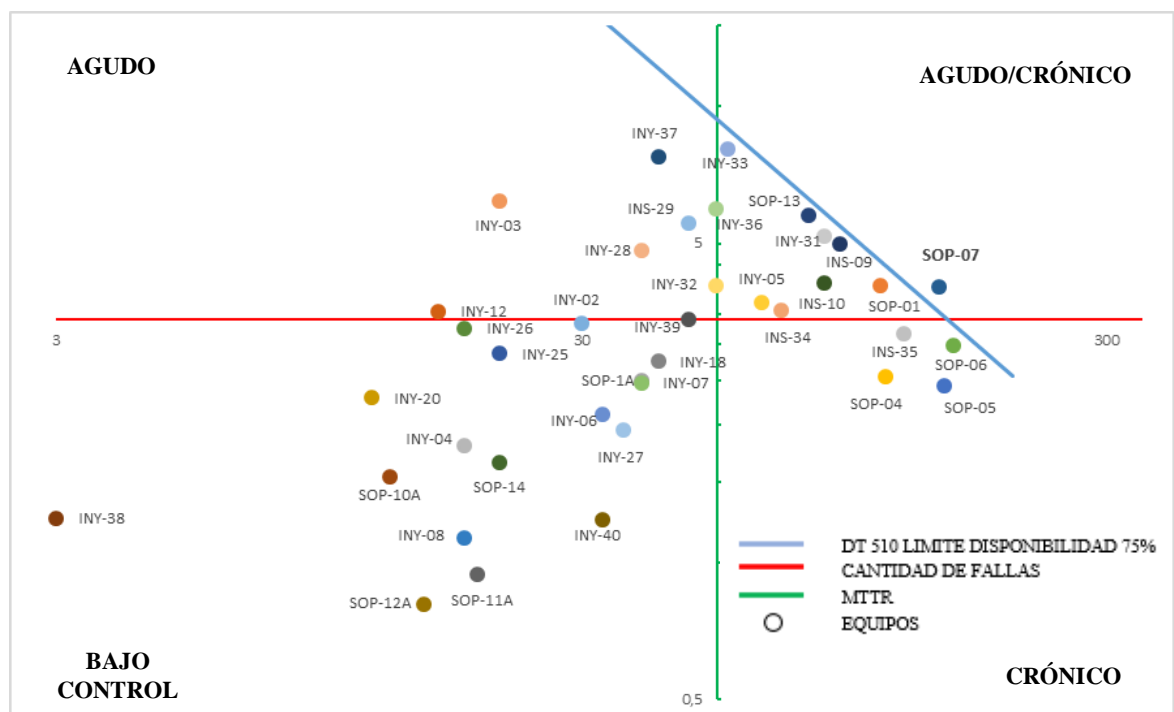
horas totales que pudo operar el equipo durante el año 2018 son de 2.040 horas aproximadamente.

Con la tabla que se presentó en el anexo B, la cual corresponde al historial de fallas que posee la empresa, se puede aplicar un análisis cuantitativo para determinar el equipo más crítico con respecto a la cantidad de fallas y el tiempo promedio de reparación dentro del año 2018. Se utilizó un DT (Down time) o tiempo de parada de 510 horas para realizar el corte (línea diagonal azul), el cual corresponde al 25% de indisponibilidad de los equipos en el período señalado.

Se utilizó dicho Down time, ya que la disponibilidad esperada (y pactada con el jefe de mantención) en los equipos de producción en la empresa es a lo menos de un 75%.

En la siguiente figura 1-5, se puede observar el diagrama Jack Knife aplicado a los equipos de producción de la empresa Plásticos Tumani Spa., determinando la máquina de mayor criticidad respecto a 11 sopladoras, 22 inyectoras y 5 máquinas de inyección-soplado pertenecientes al área de producción de la fábrica.

Se determina, que la máquina sopladora designada como SOP-07, es el equipo más crítico, el cual se encuentra en el cuadrante agudo/ crónico del diagrama.



Fuente: Elaboración propia de diagrama Jack Knife.

Figura 1-5. Diagrama de dispersión Jack Knife para la selección del equipo crítico del área de producción de la empresa Plásticos Tumani Spa.

1.6. ANÁLISIS DEL EQUIPO CRÍTICO SELECCIONADO

Como se presentó anteriormente, el equipo crítico seleccionado mediante diagrama Jack Knife es la sopladora SOP-07, la cual presentó 144 fallas durante el transcurso del año 2018 con un MTTR de 4,01 horas.

La sopladora SOP-07 presentó en el año 2018 un tiempo de detención de 577,15 horas, por lo que su disponibilidad viene dada de la siguiente manera:

$$D = \frac{HT - DT}{HT}$$
$$D = \frac{(2.040 - 577,15)}{2.040} = 0,716 = 71,6 \%$$

Donde:

D = Disponibilidad

HT = Horas totales

DT = Tiempo de detención

Por lo tanto, la indisponibilidad que presentó el equipo durante dicho período fue de un 28,4%, siendo el único equipo con mayor a 25% de indisponibilidad en el año 2018, situándose bajo la disponibilidad esperada y estipulada por el jefe de mantención de la empresa.

CAPÍTULO 2: MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

2.1. METODOLOGÍA RCM

El mantenimiento centrado en confiabilidad o RCM, es una técnica de mantenimiento avanzada, la cual consiste en analizar las causas de las fallas que se presentan en los equipos, llamadas modos de fallo. Lo anterior, ayuda a comprender y conocer de mejor manera los equipos intervenidos bajo esta metodología, donde es necesario contar con un historial de fallos de algún período anterior, para poder establecer parámetros o índices con el fin de la mejora continua y la reducción de las paradas imprevistas y costos asociados al mantenimiento.

Además, se establecen programaciones de las intervenciones en diferentes niveles de mantenimiento, y planificación de los procedimientos necesarios para ejecutar las tareas. Dichos procedimientos, son modificables, con el fin de encontrar el más adecuado para los equipos.

2.2. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO CRÍTICO SELECCIONADO

A continuación, se presentan las características técnicas del equipo crítico seleccionado (SOP-07), el cual se define como máquina de moldeo por soplado o sopladora. Estas características, vienen resumidas en la siguiente tabla 2-1.

Tabla 2-1. Especificaciones técnicas SOP-07

Equipo:	Máquina de moldeo por soplado
Marca:	Akei
Modelo:	AO-50 SN
Procedencia:	China
Peso máquina:	3.000 [Kg]
Peso tablero:	100 [Kg]
Consumo de agua:	2 [m ³ /h] (diámetro 1 [in])
Presión aire:	6 [bar]
Consumo aire:	0,6 [m ³ /h] (diámetro 0,5 [in])
Consumo motor husillo:	11 [KW]
Consumo motor bomba hidráulica:	7,5 [KW]

Consumo calefactores para polietileno	8 [KW]
Consumo calefactores para PVC:	6,3 [KW]
Máxima presión del sistema hidráulico:	140 [bar] (2000 [PSI])
Presión normal de trabajo sist. hidráulico:	124 [bar] (1800 [PSI])
Presión hidráulica normal de cierre:	103 [bar] (1500 [PSI])
Presión hidráulica movimiento carro:	70 [bar] (1000 [PSI])
Presión cánulas:	40 [bar] (600 [PSI])
Temperatura estanque aceite hidráulico:	50-60 [°C]

Fuente: Catálogo equipo moldeo por soplado.

2.3. FUNCIÓN PRINCIPAL SOP-07

La sopladora SOP-07 o también llamada máquina de moldeo por soplado (Blowing machine), posee como función principal fabricar piezas plásticas a través de inyección de aire a presión dentro de una preforma hueca, obteniendo la forma deseada por soplado empleando un molde o matriz. Dicha preforma de plástico (la cual viene a alta temperatura) llamada manga plástica, posee un largo establecido dependiendo del largo de la botella que se quiere fabricar. Dicho largo, viene dado por la velocidad de avance de la manga, la cual es inyectada por medio de una cánula de inyección.

Seguidamente, por medio del carro de traslado, el molde es desplazado para posteriormente cerrarse y encapsular la manga plástica. A continuación, las cuchillas neumáticas cortan la manga, para luego, por medio de inyección de aire dentro de la manga, la pieza realizada adopta la forma del molde utilizado.

En la siguiente figura 2-1, se presenta la sopladora o equipo de moldeo por soplado.



Fuente: <https://www.youtube.com/>

Figura 2-1. Equipo de moldeo por soplado.

2.4. FALLAS FUNCIONALES Y MODOS DE FALLO DEL EQUIPO

Una falla en un equipo, es el estado en que el equipo o activo, deja de cumplir con la función para lo cual fue fabricado.

Existen diferentes tipos de fallas, como las potenciales o funcionales. En el caso de las potenciales, se basan en la imperceptibilidad de ésta cuando se presenta, ya que el equipo puede seguir operando en condiciones aparentemente normales.

En el caso de las fallas funcionales de un activo, se caracterizan por llevar al equipo a un estado en el que éste se desempeña fuera de los rangos o parámetros requeridos, por lo que impacta en la producción de dicho activo y son observables por el personal de mantención. Las fallas funcionales, se pueden agrupar en fallas funcionales totales y parciales.

En el caso de los modos de fallo, se definen como las causas de las fallas, o las formas en las que una falla se puede presentar.

2.4.1 Falla funcional total SOP-07

La falla funcional total de un sistema o equipo, se define como la pérdida o ausencia completa de la función requerida. En el caso del equipo SOP-07, se establece como falla funcional total, la incapacidad de los pistones del carro de traslado de realizar el desplazamiento del molde asociado, o ausencia de flujo en éstos. Para la falla funcional total antes mencionada, se establecieron cuatro modos de fallo, los cuales son los siguientes:

- Válvula de desplazamiento estancada: Posible obstrucción por contaminación (sedimentos) en el interior de la válvula de desplazamiento. Lo anterior, se evidencia ya que la válvula no realiza el cambio de dirección del flujo. El impacto asociado a este modo de fallo, es de carácter productivo y de seguridad. El impacto en la producción, es asociado a que, si la válvula no realiza el cambio de flujo, el carro de desplazamiento se mantendrá detenido, imposibilitando la producción de piezas. El impacto en seguridad, se basa en que se deberá intervenir directamente el equipo, desconectando las líneas de presión de la válvula para ser desmontada e inspeccionada. Si el equipo no es desenergizado y/o no se verifica energía cero, puede mantenerse energía residual en el sistema, lo que podría desencadenar en un accidente por alta presión acumulada.
- Eje de salida de caja reductora obstruido: Posible rotura de rodamiento en caja reductora. Lo especificado anteriormente, se evidencia ya que la caja reductora no entrega potencia de salida. El impacto asociado a este modo de fallo, es de carácter productivo y de seguridad. El impacto en la producción, es asociado a que, si el eje de salida de la caja reductora no entrega potencia, no habrá alimentación en el sistema hidráulico. Además, que dicha obstrucción conllevará al deterioro y/o destrucción de diversos componentes. El otro punto a destacar, es que, si no hay alimentación en el sistema, el equipo no será capaz de producir piezas finales. El impacto en seguridad, se basa en que se deberá intervenir directamente el equipo, desenergizando la fuente de alimentación de la caja reductora (motor eléctrico). Si el equipo no es desenergizado y/o no se verifica energía cero, puede mantenerse energía residual en el sistema, lo que podría desencadenar en un accidente de atrapamiento.
- Rotura de correa de caja reductora: Posible sobretensión en correa de caja reductora. Lo anterior, se evidencia, ya que no existe entrega de potencia en el eje de salida por la rotura de la correa. El impacto asociado a este modo de fallo, es de carácter productivo y de seguridad. El impacto en la producción, es

asociado a que, si la correa de la caja reductora está cortada, el motor eléctrico girará, pero no podrá transmitir potencia al eje de salida y, por consiguiente, no habrá alimentación en el sistema hidráulico. El otro punto a destacar, es que, si no hay alimentación en el sistema, el equipo no será capaz de producir las piezas deseadas. El impacto en seguridad, se basa en que se deberá intervenir directamente el equipo, desenergizando la fuente de alimentación de la caja reductora (motor eléctrico). Si el equipo no es desenergizado y/o no se verifica energía cero, puede mantenerse energía residual en el sistema, lo que podría desencadenar en un accidente de atrapamiento. Además, si la correa se corta cuando alguien del personal de la empresa se encuentra cerca, hay riesgo de que la correa golpee directamente a esa persona.

- Rotura de línea de presión para desplazamiento: Posible rotura de línea de presión, a causa de roce de los flexibles en el block de válvulas (manifold). La evidencia de este modo de fallo, se determina por la fuga de fluido hidráulico en la línea de presión mencionada. El impacto asociado a este modo de fallo, es de carácter productivo, de seguridad y medioambiental. El impacto en la producción, es asociado a que, si la línea de presión presenta rotura, la presión de fluido se verá afectada (disminuirá), por lo que el sistema no será capaz de realizar los movimientos de traslado por presión insuficiente, y, por consiguiente, el equipo no será capaz de producir las piezas deseadas. El impacto en seguridad, se basa en que se deberá intervenir directamente el equipo, desenergizando la fuente de alimentación. Si el equipo no es desenergizado y/o no se verifica energía cero, puede mantenerse energía residual en el sistema, lo que podría desencadenar en un accidente por presión en el sistema al retirar el flexible deteriorado. El impacto medioambiental, se presenta por la fuga de aceite hidráulico al ambiente. Dicho aceite, deberá ser removido por paños o por aspiradora, lo que obligará a un proceso de eliminación y/o tratamiento de dicho aceite, ya que tiene una alta presencia de hidrocarburos.

2.4.2. Falla funcional parcial SOP-07

La falla funcional parcial de un equipo o sistema, es cuando la función de dicho equipo o sistema es realizada pero no totalmente, de manera que afecta el comportamiento normal del equipo y su producción, pero puede seguir operando, aunque fuera de los parámetros deseados. En el caso del equipo SOP-07, se establece como falla funcional parcial, que el equipo produce mayor cantidad de piezas

defectuosas respecto al control de calidad, o menor cantidad de piezas correctas en un tiempo determinado.

Para la falla funcional parcial antes mencionada, se establecieron cuatro modos de fallo, los cuales son los siguientes:

- Cuchilla de corte de manga sin filo: La cuchilla utilizada para el corte de la manga plástica inyectada por la cánula, no tiene el filo necesario, lo que provoca la deformación de la boquilla del envase final fabricado, generando sólo el corte por la presión neumática con la que funciona dicha cuchilla. El impacto asociado a este modo de fallo, es de carácter productivo y de seguridad. El impacto en la producción, es asociado a que, si la cuchilla encargada de cortar la manga plástica no tiene filo, el corte se realizará solo por presión, lo que generará deformaciones en las piezas moldeadas, aumentando en gran cantidad las piezas no conformes producidas. El impacto en seguridad, se basa en que se deberá intervenir directamente el equipo, desenergizando la fuente de alimentación del equipo (motor eléctrico) y del sistema neumático (compresor). Si el equipo no es desenergizado y/o no se verifica energía cero (válvulas de alivio hidráulicas y neumáticas), puede mantenerse energía residual en el sistema, lo que podría desencadenar en un accidente de atrapamiento en el caso de que los carros se desplacen, o accidente por corte si la energía residual se encuentra en las líneas de presión neumáticas que alimentan la cuchilla.
- Rotura de línea de enfriamiento: Posible rotura de línea de refrigeración (agua) debido a torsión en la misma. Este modo de fallo, se evidencia ya que existe presencia de agua en el molde y en el área de trabajo del equipo. El impacto asociado a este modo de fallo, es de carácter productivo, de seguridad y medioambiental. El impacto en la producción, es asociado a que, si el proceso de enfriamiento de las piezas en fabricación es deficiente, las piezas finales presentan diferentes condiciones no deseadas como por ejemplo alta rugosidad. Además, si el enfriamiento es más lento, la producción de piezas es menor, ya que la apertura del molde es más lenta. El impacto en seguridad, se basa en que se deberá intervenir directamente el equipo, desenergizando la fuente de alimentación del equipo (motor eléctrico), sistema hidráulico y sistema de refrigeración. Si el equipo no es desenergizado y/o no se verifica energía cero, puede mantenerse energía residual en el sistema, lo que podría desencadenar en un accidente de atrapamiento en el caso de que los carros se desplacen o el molde se cierre al intervenir, o accidente por resbalamiento por presencia de agua en el suelo. El impacto medioambiental, es referido a la pérdida de agua del sistema al

ambiente, la que se combinará con residuos (como aceite), obligando al tratamiento de los paños empleados para secar el área.

- Rotura de sellos del pistón de cierre: Posible deterioro de los sellos de pistones de cierre por fin de vida útil de éstos, lo que provoca un cierre inadecuado del molde por pérdida de presión. La evidencia de este modo de fallo, se determina por la filtración de aceite hidráulico de los pistones de cierre. El impacto asociado a este modo de fallo, es de carácter productivo, de seguridad y medioambiental. El impacto en la producción, es asociado a que, si existe fuga de aceite en los pistones de cierre, la presión no será la adecuada, obteniendo anomalías en la geometría de las botellas fabricadas, ya que el cierre del molde se verá afectado por la condición descrita. Esto generará mayor cantidad de piezas no conformes producidas. El impacto en seguridad, se basa en que se deberá intervenir directamente el equipo, desenergizando la fuente de alimentación del equipo (motor eléctrico), aliviando la presión en el sistema hidráulico y neumático y detener el suministro de agua de refrigeración. Si el equipo no es desenergizado y/o no se verifica energía cero, puede mantenerse energía residual en el sistema, lo que podría desencadenar en un accidente de atrapamiento en el caso de que los carros se desplacen o el molde se cierre al intervenir, o accidente por resbalamiento por presencia de aceite en el suelo. El impacto medioambiental, se presenta por la fuga de aceite hidráulico al ambiente. Dicho aceite, deberá ser removido por paños o por aspiradora, lo que obligará a un proceso de eliminación y/o tratamiento de dicho aceite, ya que tiene una alta presencia de hidrocarburos.
- Rotura de sellos de cánula de generación de manga de plástico: Posible deterioro de los sellos de bronce de la cánula por fin de vida útil, lo que provoca una manga de plástico defectuosa. La evidencia asociada a este modo de fallo, es que la manga presenta filtraciones de plástico (a alta temperatura) al generar la manga. El impacto asociado a este modo de fallo, es de carácter productivo, de seguridad y medioambiental. El impacto en la producción, es asociado a que, al perder flujo de plástico a través de los sellos deteriorados, la manga plástica se verá afectada al entrar al molde provocando deformaciones en la pieza final, aumentando la probabilidad de generar piezas no conformes según control de calidad. El impacto en seguridad, se basa en que se deberá intervenir directamente el equipo, desenergizando la fuente de alimentación del equipo (motor eléctrico), aliviando la presión en el sistema hidráulico y neumático y detener el sistema de calentamiento de la materia prima. Si el equipo no es desenergizado y/o no se verifica energía cero, puede mantenerse energía residual

en el sistema, lo que podría desencadenar en un accidente de atrapamiento en el caso de que los carros se desplacen o el molde se cierre al intervenir, o accidente por quemaduras por contacto directo con la cánula. El impacto medioambiental, se presenta por la presencia de plástico contaminado al ambiente, obligando a tomar acciones para el tratamiento o eliminación de dicho plástico.

2.5. JERARQUIZACIÓN DE LOS MODOS DE FALLO

La jerarquización de los modos de fallo de las fallas funcionales del equipo SOP-07, consiste en establecer un orden de criticidad entre ellos. Para establecer dicho orden, se emplea la metodología RPN, que consiste en establecer prioridades de los modos de fallo respecto a su severidad, ocurrencia y detección de manera proporcional (S*O*D).

Para emplear lo anterior, se utilizan diferentes tablas que entregan criterios de sugerencia respecto a la norma SAE J1739, referida al análisis de modos de fallo y sus efectos para la priorización de estos modos de fallo.

2.5.1. Severidad de los modos de fallo

La severidad de los modos de fallo, se refiere al criterio de jerarquización respecto a las consecuencias de los efectos de los modos de fallo. Dichas consecuencias pueden ser productivas, de seguridad o medioambientales.

En la siguiente tabla 2-2, se presentan los niveles de criticidad con un valor numérico que representa dicha severidad en el proceso según norma SAE J1739.

Tabla 2-2. Evaluación de severidad respecto a norma SAE J1739.

Efecto	Criterio: Severidad del efecto	Ranking
Peligros sin advertencia	Pone en peligro la seguridad del operario. 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
Peligros con advertencia	Pone en peligro la seguridad del operario. 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 a 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 tener que ser ordenada y una parte desechada (menor al 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 desechada (no ordenada) Equipo operable, pero con algunos ítems de confort inoperables. El cliente experimenta insatisfacción.	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 reducidos. 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%) adaptado. Ajustes 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.

2.5.2. Ocurrencia de los modos de fallo

La ocurrencia de los modos de fallo, se refiere al criterio de jerarquización respecto a la frecuencia con la que se presentan los modos de fallo en el equipo o sistema, en donde se debe llevar un seguimiento de éstos realizando la documentación correspondiente.

En la siguiente tabla 2-3, se presentan los niveles de criticidad con un valor numérico que representa dicha ocurrencia en el proceso según norma SAE J1739.

Tabla 2-3. Evaluación de ocurrencia respecto a 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 baja: 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.

2.5.3. Detección de los modos de fallo

La detección de los modos de fallo, se refiere al criterio de jerarquización respecto a la facilidad o dificultad con la que el personal de mantenimiento puede localizar los modos de fallo. En la siguiente tabla 2-4, se presentan los niveles de criticidad con un valor numérico, que representa dicha detección de los modos de fallo en el proceso según norma SAE J1739.

Tabla 2-4. Evaluación de detección respecto a 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.

2.6. NÚMERO DE PRIORIDAD DE RIESGO

Como se definió anteriormente, el número de prioridad de riesgo o RPN es el resultado de la multiplicación de la severidad, ocurrencia y detección de un modo de fallo, que tiene como finalidad jerarquizar los modos de fallo de un equipo o sistema respecto a su función principal con un valor representativo. Se definieron los modos de fallo de mayor criticidad, respecto a la siguiente tabla 2-5, para que los que presenten un nivel de prioridad alto, se tomen acciones que mitiguen sus efectos.

Tabla 2-5. Criterios para determinación de los modos de fallo más críticos

Nivel de prioridad	Rango de criticidad según RPN
Bajo	[0-50[
Medio	[50-100[
Alto	[100-∞+[

Fuente: Elaboración propia de niveles de prioridad según rango de criticidad según RPN de los modos de fallo.

2.7. RPN DE LOS MODOS DE FALLO ESTABLECIDOS

Al tener definidos los criterios de selección de modos de fallo críticos según niveles de prioridad, se presentan de forma descendente los modos de fallo de las fallas funcionales parcial y total con su respectivo número de prioridad de riesgo.

En la siguiente tabla 2-6, se muestran los RPN de los modos de fallo de la falla funcional total del equipo.

Tabla 2-6. Jerarquización de los modos de fallo de la falla funcional total del equipo

Modo de fallo	RPN	Prioridad
Válvula de desplazamiento estancada	126	Alto
Eje de salida del motor de caja reductora parcialmente obstruido	112	Alto
Rotura de línea de presión para desplazamiento	42	Bajo
Rotura de correa de caja reductora	21	Bajo

Fuente: Elaboración propia de niveles de prioridad según RPN de modos de fallo falla funcional total.

Además, se muestran en la siguiente tabla 2-7, los niveles de prioridad de los modos de fallo de la falla funcional parcial del equipo según número de prioridad de riesgo, jerarquizándolos de manera descendente. Para mayor información, consultar Anexo C llamado hoja de información y decisión RCM (hoja 1).

Tabla 2-7. Jerarquización de los modos de fallo de la falla funcional parcial del equipo

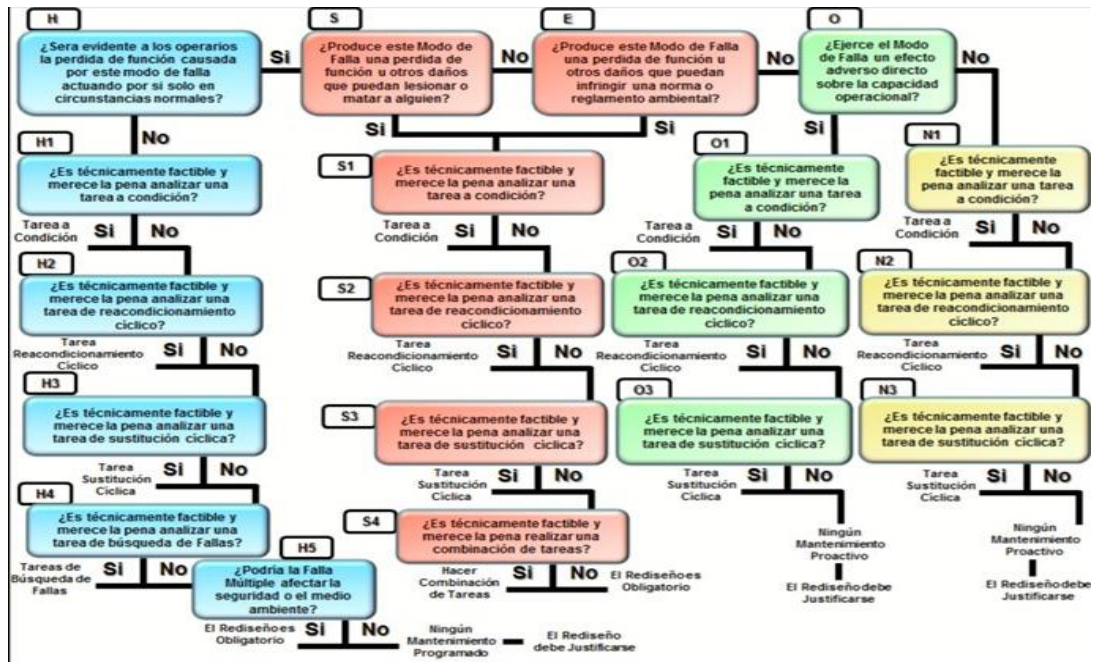
Modo de fallo	RPN	Prioridad
Cuchilla de corte de manga sin filo	168	Alto
Rotura de sellos de pistón de cierre	150	Alto
Rotura de sellos de cánula	120	Alto
Rotura de línea de enfriamiento del molde	36	Bajo

Fuente: Elaboración propia de niveles de prioridad según RPN de modos de fallo falla funcional parcial.

2.8. DIAGRAMA DE DECISIONES

Un diagrama de decisiones, es una matriz cualitativa que se emplea para generar posibles acciones respecto a una seguidilla de decisiones tomadas.

En este caso, se empleó el siguiente diagrama de decisiones de la figura 2-2, para poder establecer criterios para la generación de tareas propuestas, y así, mitigar los modos de fallo del equipo crítico seleccionado. Para mayor respecto a lo dicho anteriormente, ver anexo D llamado hoja de información y decisión (hoja 2).



Fuente: Documento ciclos de gestión del mantenimiento, USM.

Figura 2-2. Diagrama de decisiones para generación de tareas.

Con la información anterior, se establecieron diferentes tareas propuestas para la solución y/o mitigación de los modos de fallo de las fallas funcionales total y parcial del equipo crítico SOP-07, además de la frecuencia con la que se debe tomar dichas acciones, y el personal a cargo de la tarea. Dicha información, se presenta en la siguiente tabla 2-8, donde también se define un tiempo aproximado para la ejecución de la tarea, y el nivel de prioridad antes establecido según número de prioridad de riesgo o RPN.

Tabla 2-8. Tareas propuestas para modos de fallo con su frecuencia y tiempo de ejecución, nivel de prioridad y encargado a realizar

Modo de fallo	Nivel de prioridad	Tarea propuesta	Frecuencia	Tiempo ejecución	Encargado
Válvula de desplazamiento estancada	Alto	Mantenimiento programado: realizar cambio de filtros hidráulicos	Cada 2.500 horas	2 Horas	Personal de mantención

Eje de salida de motor caja reductora parcialmente obstruido	Alto	Mantenimiento preventivo: reemplazo de rodamientos de caja reductora	Cada 8.000 horas.	5 horas	Personal de mantención
Rotura de línea de presión para desplazamiento	Bajo	Mantenimiento programado: inspección estado líneas sistema desplazamiento	Cada 150 horas.	0,5 horas	Personal de mantención
Rotura de correa de caja reductora	Bajo	Mantenimiento preventivo: cambio de correa de potencia	Cada 4.000 horas..	1,5 horas	Personal de mantención
Cuchilla de corte de manga sin filo	Alto	Mantenimiento preventivo: cambio de cuchillas de corte	Cada 1.500 horas	3 horas	Personal de mantención
Rotura de sellos de pistón de cierre	Alto	Mantenimiento preventivo: cambio de sellos pistones de cierre	Cada 4.000 horas	6 horas	Personal de mantención
Rotura de sellos de cánula	Alto	Mantenimiento preventivo: cambio de sellos cánula	Cada 2.500 horas	4 horas	Personal de mantención
Rotura de línea de enfriamiento del molde	Bajo	Mantenimiento programado: inspección estado líneas neumáticas	Cada 150 horas	0,5 horas	Personal de mantención

Fuente: Elaboración propia de tareas propuestas de los modos de fallo según diagrama de decisión.

**CAPÍTULO 3: PROGRAMACIÓN Y PLANIFICACIÓN DE ACTIVIDADES Y
COSTOS ASOCIADOS**

3.2. PROGRAMACIÓN DE LAS TAREAS PROPUESTAS

Las tareas propuestas para mitigar los efectos de los modos de fallo de las fallas funcionales total y parcial, se establecen en una programación de distintos niveles, respecto a la frecuencia que se debe aplicar dicha tarea. Estos niveles de programación son cuatro y son los siguientes:

- I. Nivel 1: Semanal. (Cada 150 Horas).
 - Mantenimiento programado: inspección del estado de mangueras sistema desplazamiento.
 - Mantenimiento programado: inspección del estado de líneas neumáticas de enfriamiento del molde.

- II. Nivel 2: Bi-Mensual (Cada 1500 Horas).
 - Mantenimiento preventivo: cambio de cuchillas de corte de manga plástica.

- III. Nivel 3: Cuatrimestral (Cada 2.500 Horas).
 - Mantenimiento programado: cambio de filtros sistema hidráulico
 - Mantenimiento preventivo: cambio de sellos cánula

- IV. Nivel 4: Semestral (Cada 4.000 Horas).
 - Mantenimiento preventivo: Cambio de correas de potencia.
 - Mantenimiento preventivo: cambio de sellos pistones de cierre.

- V. Nivel 4: Anual (Cada 8.000 Horas).
 - Mantenimiento preventivo: Cambio de rodamientos motor caja reductora.

3.3. PLANIFICACIÓN DE TAREAS

La planificación de actividades, es referido a establecer los planes de acción para el desarrollo de las tareas. En este caso, hace hincapié a las tareas propuestas establecidas para mitigar los efectos de los modos de fallo críticos de las fallas funcionales del equipo SOP-07. Se establecen los procedimientos de dichas actividades, además de los procedimientos que se deben efectuar si la falla se presenta de manera imprevista.

3.4. TAREAS PROPUESTAS

El listado de actividades para tareas propuestas, se basan en los modos de fallo establecidos como críticos según número de prioridad de riesgo. Dichos modos de fallo fueron los que tenían valor sobre 100. Estos son:

3.4.1. Cambio de filtros hidráulicos para válvula direccional de traslado

Recursos Humanos:

- Técnico de mantención
- Técnico practicante (ayudante)

Recursos materiales:

- Filtros de succión y retorno
- Caja de herramientas
- Depósito de aceite
- Paños de limpieza

Actividad:

- En primera instancia, contar con todos los elementos de protección personal necesarios para ejecutar la tarea.

- Verificar zona de trabajo segura, y dar aviso al operador de que el equipo se intervendrá.
- Detener flujo de ingreso de materia prima.
- Apagar equipo y desenergizar desde motor eléctrico.
- Detener flujo de aire y agua.
- Liberar presión del sistema hidráulico y neumático a través de válvulas de alivio.
- Colocar cartel de que equipo será intervenido.
- Colocar contenedor de aceite para que aceite no se derrame al piso.
- Desmontar líneas de presión acopladas a manifold de válvula direccional de traslado del carro.
- Desmontar los cuatro pernos de sujeción válvula direccional de traslado.
- Desmontar filtros alojado en manifold y reemplazarlos.
- Montar válvula direccional en manifold.
- Montar líneas de presión en manifold.
- Realizar limpieza de área de trabajo.
- Remover depósito de aceite y cartel de aviso de intervención de equipos.
- Cerrar válvulas de alivio hidráulicas y neumáticas.
- Energizar equipo y realizar pruebas operacionales con ayuda del operador.
- Dar aviso a jefatura que el equipo se encuentra operativo.

3.4.2. Cambio de rodamiento de bolas motor caja reductora

Recursos Humanos:

- Técnico de mantención
- Técnico practicante (ayudante)

Recursos materiales:

- Rodamiento rígido de bolas
- Tecele
- Cadenas para elevación
- O'rings
- Juegos de llaves punta corona
- Juego de llaves allen

- Tornillo mecánico
- Prensa hidráulica

Actividad:

- En primera instancia, contar con todos los elementos de protección personal necesarios para ejecutar la tarea.
- Verificar zona de trabajo segura, y dar aviso al operador de que el equipo se intervendrá.
- Detener flujo de alimentación de materia prima.
- Apagar equipo y desenergizar desde motor eléctrico.
- Detener flujo de aire y agua.
- Liberar presión para eliminar energía residual a través de válvulas de alivio neumáticas e hidráulicas.
- Colocar en la máquina cartel de que equipo se está interviniendo.
- Desmontar polea de salida del motor eléctrico.
- Amarrar motor eléctrico con cadenas a tecla de elevación.
- Con llave punta corona, soltar pernos de sujeción del motor.
- Desmontar carcasa delantera del motor eléctrico.
- Desmontar chaveta del eje del motor eléctrico.
- Golpear eje con elemento tenaz (maceta) para extraer estator del motor eléctrico.
- Con un alicate de puntas para seguros, desmontar seguro del motor eléctrico para extraer tapa.
- Al tener eje extraído, desmontar rodamiento con un extractor de rodamientos, en una base segura (tornillo mecánico).
- Limpiar eje y alojamiento donde se encontraba el rodamiento dañado.
- Montar rodamiento nuevo en el alojamiento que estaba el rodamiento anterior con ayuda de una prensa hidráulica.
- Rearmar, colocando tapa trasera y seguro correspondiente.
- Instalar estator en el cuerpo del motor eléctrico, y colocar chaveta en el eje.
- Montar tapa delantera del motor.
- Con tecla y cadenas, llevar motor eléctrico al equipo, instalando los pernos de sujeción y polea de salida.
- Realizar limpieza del área de trabajo.
- Cerrar válvulas de alivio neumáticas e hidráulicas.
- Remover cartel de equipo en intervención.

- Energizar equipo y hacer pruebas operacionales con ayuda del operador.
- Dar aviso a jefatura que equipo está operativo.

3.4.3. Cambio de cuchillas de corte

Recursos Humanos:

- Técnico de mantención

Recursos materiales:

- Kit cuchillas de corte
- Juego llaves allen
- Fillers

Actividad:

- En primera instancia, contar con todos los elementos de protección personal necesarios para ejecutar la tarea.
- Verificar zona de trabajo segura, y dar aviso al operador de que el equipo se intervendrá.
- Detener flujo de alimentación de materia prima.
- Apagar equipo y desenergizar desde motor eléctrico.
- Detener flujo de aire y agua.
- Liberar presión del sistema hidráulico y neumático a través de válvulas de alivio.
- Colocar cartel de que equipo será intervenido.
- Desmontar línea de presión neumática de alimentación y descarga de la cuchilla.
- Con llave allen, desmontar perno de sujeción de cuchilla móvil.
- Desmontar cuchilla móvil.
- Instalar cuchilla nueva en reemplazo de la desgastada.
- Dar ajuste a cuchilla con ayuda de fillers.
- Apretar pernos allen para sujeción del cuchillo móvil.
- Instalar líneas de presión neumáticas.
- Realizar limpieza del área de trabajo.

- Cerrar válvulas de alivio neumáticas e hidráulicas.
- Remover cartel de equipo en intervención.
- Energizar equipo y hacer pruebas operacionales con ayuda del operador.
- Dar aviso a jefatura que equipo está operativo.

3.4.4. Cambio de sellos pistones de cierre

Recursos Humanos:

- Técnico de mantención
- Técnico practicante (ayudante)

Recursos materiales:

- Tecele
- Cadenas para elevación
- Sellos de labio
- O’rings
- Juegos de llaves punta corona
- Juego de llaves allen
- Depósito de aceite
- Paños para limpieza

Actividad:

- En primera instancia, contar con todos los elementos de protección personal necesarios para ejecutar la tarea.
- Verificar zona de trabajo segura, y dar aviso al operador de que el equipo se intervendrá.
- Detener flujo de alimentación de materia prima.
- Apagar equipo y desenergizar desde motor eléctrico.
- Detener flujo de aire y agua.
- Liberar presión para eliminar energía residual a través de válvulas de alivio neumáticas e hidráulicas.
- Colocar en la máquina cartel de que equipo se está interviniendo.

- Colocar depósito de aceite bajo el pistón para que aceite hidráulico sobrante no contamine la zona de trabajo.
- Desmontar líneas de presión hidráulicas del pistón de cierre con llave punta corona.
- A través de cadenas y tecele, mantener pistón atado y asegurado.
- Desmontar molde y base de traslado de molde.
- Con llave allen, desmontar pernos de sujeción del cabezal del cilindro de cierre.
- Desmontar camisa del pistón de cierre.
- Desmontar émbolo y retirar sellos desgastados.
- Montar sellos y O'rings nuevos que correspondan.
- Lubricar émbolo y ajustar camisa del pistón.
- Colocar pistón en cabezal.
- Montar pistón en el equipo con llaves allen e instalar flexibles correspondientes con llave punta corona.
- Colocar base del traslado molde.
- Instalar molde.
- Realizar limpieza del área de trabajo.
- Cerrar válvulas de alivio neumáticas e hidráulicas.
- Remover cartel de equipo en intervención.
- Energizar equipo y hacer pruebas operacionales con ayuda del operador.
- Dar aviso a jefatura que equipo está operativo.

3.4.5. Cambio de los sellos de la cánula

Recursos Humanos:

- Técnico de mantención
- Técnico practicante (ayudante)

Recursos materiales:

- Juegos llaves allen
- Juego llaves punta corona
- Sello de bronce de cánula
- Soplete

Actividad:

- En primera instancia, contar con todos los elementos de protección personal necesarios para ejecutar la tarea.
- Verificar zona de trabajo segura, y dar aviso al operador de que el equipo se intervendrá.
- Detener flujo de ingreso de materia prima.
- Apagar equipo y desenergizar desde motor eléctrico.
- Detener flujo de aire y agua.
- Liberar presión del sistema hidráulico y neumático a través de válvulas de alivio.
- Colocar cartel de que el equipo será intervenido.
- Desmontar con llave punta corona, las líneas de alimentación de materia prima.
- Desmontar camisa de cánula de inyección de plástico.
- Desmontar boquilla de cánula mediante llave allen.
- Retirar sello dañado, y eliminar aplicándole calor con soplete, los restos de plásticos que se solidificaron.
- Una vez que la cánula se encuentre totalmente limpia, montar golilla de bronce.
- Montar boquilla de la cánula mediante llave allen.
- Montar camisa de la cánula con llave allen.
- Montar líneas de alimentación de materia prima con llave punta corona.
- Realizar limpieza de la zona de trabajo.
- Cerrar válvulas de alivio de presión neumática e hidráulica.
- Remover cartel de equipo en intervención.
- Energizar equipo y hacer pruebas operacionales con ayuda del operador.
- Dar aviso a jefatura que equipo está operativo.

3.5. ACTIVIDADES PARA IMPREVISTOS

Las actividades definidas para imprevistos, son para solucionar los modos de fallo (mantenimiento correctivo) en el caso de que los modos de fallo, se presenten antes de la tarea de prevención propuesta para mitigar éstos.

Dichos procedimientos son los siguientes:

3.5.1. Cambio de correa caja reductora

Recursos Humanos:

- Técnico de mantención

Recursos materiales:

- Correa de potencia
- Juegos de llaves punta corona

Actividad:

- En primera instancia, contar con todos los elementos de protección personal necesarios para ejecutar la tarea.
- Verificar zona de trabajo segura, y dar aviso al operador de que el equipo se intervendrá.
- Detener flujo de alimentación de materia prima.
- Apagar equipo y desenergizar desde motor eléctrico.
- Detener flujo de aire y agua.
- Liberar presión para eliminar energía residual a través de válvulas de alivio neumáticas e hidráulicas.
- Colocar en la máquina cartel de que equipo se está interviniendo.
- Con llave punta corona, soltar polea tensora.
- Desmontar correa dañada, y limpiar poleas.
- Montar correa de potencia en poleas tensora y motriz.
- Dar tensión necesaria por medio de polea tensora, a la correa nueva instalada.
- Realizar limpieza del área de trabajo.
- Cerrar válvulas de alivio neumáticas e hidráulicas.
- Remover cartel de equipo en intervención.
- Energizar equipo y hacer pruebas operacionales con ayuda del operador.
- Dar aviso a jefatura que equipo está operativo.

3.5.2. Cambio de línea de presión hidráulica

Recursos Humanos:

- Técnico de mantenimiento

Recursos materiales:

- Juegos de llaves punta corona
- Depósito de aceite
- Paños de limpieza
- Flexible hidráulico

Actividad:

- En primera instancia, contar con todos los elementos de protección personal necesarios para ejecutar la tarea.
- Verificar zona de trabajo segura, y dar aviso al operador de que el equipo se intervendrá.
- Detener flujo de alimentación de materia prima.
- Apagar equipo y desenergizar desde motor eléctrico.
- Detener flujo de aire y agua.
- Liberar presión para eliminar energía residual a través de válvulas de alivio neumáticas e hidráulicas.
- Colocar en la máquina cartel de que equipo se está interviniendo.
- Colocar depósito de aceite en el área de trabajo.
- Desmontar con llave punta corona, línea de presión hidráulica (tanto admisión como descarga).
- Colocar nueva línea de presión, asegurándose de que no quede torcida.
- Realizar limpieza del área de trabajo.
- Cerrar válvulas de alivio neumáticas e hidráulicas.
- Remover cartel de equipo en intervención.
- Energizar equipo y hacer pruebas operacionales con ayuda del operador, asegurándose que las líneas de presión no rocen entre sí.
- Dar aviso a jefatura que equipo está operativo.

3.6. COSTOS ASOCIADOS AL MANTENIMIENTO

A continuación, se presentan los costos asociados a las tareas de mantenimiento propuestas anteriormente. Además, se muestran los valores por hora de los técnicos y ayudantes que realizan las actividades de mantención.

Costo H/H. técnico mecánico: \$2.200 por hora.

Costo H/H. Ayudante: \$800 por hora.

3.6.1. Actividad 1: Cambio de filtros hidráulicos para válvula direccional

- Cantidad total de intervenciones al año: 3 (Cada 2.500 horas)
- Recursos humanos: 1 técnico mecánico; 1 ayudante mecánico
- Costo total recursos humanos por hora: $\$2.200 + \$800 = \$3.000$
- Costos H/H por horas de intervención: $2 \text{ horas} \times \$3.000 = \6.000
- Costo total H/H al año: $\$.6.000 \times 3 = \18.000
- Recursos materiales: Filtros hidráulicos: $2 \times \$20.000 = \40.000
- Recursos materiales en el año: $\$40.000 \times 3 = \120.000
- Costo total actividad según horizonte de 1 año: $\$18.000 + \$120.000 = \$138.000$

3.6.2. Actividad 2: Cambio de rodamientos motor caja reductora.

- Cantidad total de intervenciones al año: 1 (Cada 8.000 horas)
- Recursos humanos: 1 técnico mecánico; 1 ayudante mecánico
- Costo total recursos humanos por hora: $\$2.200 + \$800 = \$3.000$
- Costos H/H por horas de intervención: $5 \text{ horas} \times \$3.000 = \15.000
- Costo total H/H al año: $\$.15.000 \times 1 = \15.000
- Recursos materiales: Rodamiento rígido de bolas = \$15.000
- Recursos materiales en el año: $\$15.000 \times 1 = \15.000
- Costo total actividad según horizonte de 1 año: $15.000 + \$15.000 = \30.000

3.6.3. Actividad 3: Cambio de correas caja reductora

- Cantidad total de intervenciones al año: 2 (Cada 4.000 horas)

- Recursos humanos: 1 técnico mecánico
- Costo total recursos humanos por hora: $\$2.200 = \2.200
- Costos H/H por horas de intervención: $1,5 \text{ horas} \times \$2.200 = \$3.300$
- Costo total H/H al año: $\$.3.300 \times 3 = \9.900
- Recursos materiales: Correas de potencia = $\$30.000$
- Recursos materiales en el año: $\$30.000 \times 2 = \60.000
- Costo total actividad según horizonte de 1 año: $\$9.900 + \$60.000 = \$69.900$

3.6.4. Actividad 4: Cambio de mangueras hidráulicas para desplazamiento

- Cantidad total de intervenciones al año (A la falla): 5 (valor estimativo)
- Recursos humanos: 1 técnico mecánico
- Costo total recursos humanos por hora: $\$2.200 = \2.200
- Costos H/H por horas de intervención: $1,5 \text{ horas} \times \$2.200 = \$3.300$
- Costo total H/H al año: $\$.3.300 \times 5 = \16.500
- Recursos materiales: Línea hidráulica = $\$20.000$
- Recursos materiales en el año: $\$20.000 \times 5 = \100.000
- Costo total actividad según horizonte de 1 año: $\$16.500 + \$100.000 = \$116.500$

3.6.5. Actividad 5: Cambio de cuchillas de corte

- Cantidad total de intervenciones al año: 6 (Cada 1.500 horas)
- Recursos humanos: 1 técnico mecánico; 1 ayudante mecánico
- Costo total recursos humanos por hora: $\$2.200 + \$800 = \$3.000$
- Costos H/H por horas de intervención: $3 \text{ horas} \times \$3.000 = \9.000
- Costo total H/H al año: $\$.9.000 \times 6 = \54.000
- Recursos materiales: Kit cuchillas de corte = $\$25.000$
- Recursos materiales en el año: $\$25.000 \times 6 = \150.000
- Costo total actividad según horizonte de 1 año: $\$54.000 + \$150.000 = \$204.000$

3.6.6. Actividad 6: Cambio línea neumática de enfriamiento molde

- Cantidad total de intervenciones al año (A la falla): 5 (valor estimativo)

- Recursos humanos: 1 técnico mecánico
- Costo total recursos humanos por hora: $\$2.200 = \2.200
- Costos H/H por horas de intervención: $0,5 \text{ horas} \times \$2.200 = \$1.100$
- Costo total H/H al año: $\$.1.100 \times 5 = \5.500
- Recursos materiales: Línea neumática = $\$8.000$
- Recursos materiales en el año: $\$8.000 \times 5 = \40.000
- Costo total actividad según horizonte de 1 año: $\$5.500 + \$40.000 = \$45.500$

3.6.7. Actividad 7: Cambio de sellos pistón de cierre

- Cantidad total de intervenciones al año: 2 (Cada 4.000 horas)
- Recursos humanos: 1 técnico mecánico; 1 ayudante mecánico
- Costo total recursos humanos por hora: $\$2.200 + \$800 = \$3.000$
- Costos H/H por horas de intervención: $6 \text{ horas} \times \$3.000 = \18.000
- Costo total H/H al año: $\$.18.000 \times 2 = \36.000
- Recursos materiales: Kit de sellos = $\$60.000$
- Recursos materiales en el año: $\$60.000 \times 2 = \120.000
- Costo total actividad según horizonte de 1 año: $\$18.000 + \$120.000 = \$138.000$

3.6.8. Actividad 8: Cambio de sellos cánula

- Cantidad total de intervenciones al año: 3 (Cada 2.500 horas)
- Recursos humanos: 1 técnico mecánico; 1 ayudante mecánico
- Costo total recursos humanos por hora: $\$2.200 + \$800 = \$3.000$
- Costos H/H por horas de intervención: $4 \text{ horas} \times \$3.000 = \12.000
- Costo total H/H al año: $\$.12.000 \times 3 = \36.000
- Recursos materiales: Kit de sellos cánula = $\$25.000$
- Recursos materiales en el año: $\$25.000 \times 3 = \75.000
- Costo total actividad según horizonte de 1 año: $\$36.000 + \$75.000 = \$111.000$

3.7. COSTO TOTAL PLAN DE MANTENIMIENTO

Anteriormente, se presentaron los costos de cada actividad, asociados a recursos humanos y materiales en el período de un año. La suma total de dichos costos, considera el costo total del plan de mantenimiento efectuado.

En La siguiente tabla 3-1, se presentan los costos totales del plan de mantenimiento.

Tabla 3-1. Costos totales del plan de mantenimiento

Actividades	Costos
Actividad 1	\$138.000
Actividad 2	\$30.000
Actividad 3	\$69.900
Actividad 4	\$116.500
Actividad 5	\$204.000
Actividad 6	\$45.500
Actividad 7	\$138.000
Actividad 8	\$111.000
Costo total	\$852.900

Fuente: Elaboración propia de los costos totales del plan de mantenimiento relacionado a todas las actividades especificadas en el plan.

Por lo tanto, el costo total del plan de mantenimiento según las actividades propuestas considerando recursos humanos y materiales es de \$852.900-.

3.8. COSTOS ACTUALES EN MANTENIMIENTO VS COSTOS PLAN DE MANTENIMIENTO

Para establecer si el plan de mantenimiento es factible económicamente respecto a las condiciones actuales de mantención del equipo en la empresa, se debe

realizar una comparación cuantitativa entre las condiciones actuales y la propuesta del plan.

Cuando el mantenimiento en los equipos es inadecuado o nulo, se pueden dañar componentes críticos en las máquinas, lo que genera un mayor impacto económico.

A continuación, en la tabla 3-2, se presenta el impacto económico de la máquina sin el plan de mantenimiento propuesto, donde generaría daños en componentes de mayor criticidad.

Tabla 3-2. Costos asociados a daños en componentes

Actividad	Componente potencialmente dañado	Valor
Cambio de filtros hidráulicos para válvula direccional	Válvula direccional hidráulica	\$60.000
Cambio de rodamientos motor caja reductora	Motor eléctrico trifásico jaula de ardilla 15 [HP]	\$500.000
Total		\$560.000

Fuente: Elaboración propia de costos en relación a daños de componentes sin el plan de mantenimiento propuesto.

Además, se destaca que, en la actividad de cambio de filtros, el componente potencialmente dañado es la válvula, aunque podría generar daños catastróficos en todo el circuito hidráulico si presenta particulado el sistema, incluso bombas, en donde el impacto económico se elevaría aún más.

3.8.1. Costos por tiempos de detención imprevista

Sumado a los costos por daño de componentes en el equipo, se encuentran las pérdidas de producción por tiempos de detención de los equipos de manera imprevista y reproceso de material por insatisfacción respecto al control de calidad.

- Costo H/H. técnico mecánico: \$2.200 por hora.

- Costo H/H. Ayudante: \$800 por hora.
- Tiempo de fabricación por envase: 20 Segundos
- Precio de venta envase: \$300
- Costo fabricación: \$150
- Utilidad por envase: \$150
- Costo fabricación envase reprocesado: \$220
- Utilidad por envase reprocesado: \$80

3.8.1.1. Actividad imprevista 1: Reemplazo de válvula direccional

- Recursos humanos: 1 técnico mecánico: 1 ayudante mecánico
- Costo total recursos humanos por hora: $\$2.200 + \$800 = \$3.000$
- Costo H/H por diagnóstico: 1 hora x $\$3.000 = \3.000
- Costos H/H por horas de intervención: 2 horas x $\$3.000 = \6.000
- Tiempo espera obtención de repuesto: 1 hora
- Costo total H/H $\$3.000 \times 3 \text{ horas} = \9.000

3.8.1.2. Actividad imprevista 2: Reemplazo de motor caja reductora

- Recursos humanos: 1 técnico mecánico: 1 ayudante mecánico
- Costo total recursos humanos por hora: $\$2.200 + \$800 = \$3.000$
- Costo H/H por diagnóstico: 1 hora x $\$3.000 = \3.000
- Costos H/H por horas de intervención: 3 horas x $\$3.000 = \9.000
- Tiempo espera obtención de repuesto: 24 horas
- Costo total H/H $\$3.000 \times 4 \text{ horas} = \12.000

3.8.1.3. Actividad imprevista 3: Cambio de correas caja reductora

- Recursos humanos: 1 técnico mecánico: 1 ayudante mecánico
- Costo total recursos humanos por hora: $\$2.200 + \$800 = \$3.000$
- Costo H/H por diagnóstico: 1 hora x $\$3.000 = \3.000
- Costos H/H por horas de intervención: 1.5 horas x $\$3.000 = \4.500
- Tiempo espera obtención de repuesto: 1 hora

- Costo total H/H $\$3.000 \times 2.5 \text{ horas} = \7.500
- Tiempo producción insatisfactoria por ineficiencia transmisión: 3 horas

3.8.1.4. Actividad imprevista 4: Cambio de mangueras hidráulicas para desplazamiento

- Recursos humanos: 1 técnico mecánico: 1 ayudante mecánico
- Costo total recursos humanos por hora: $\$2.200 + \$800 = \$3.000$
- Costo H/H por diagnóstico: 1 hora x $\$3.000 = \3.000
- Costos H/H por horas de intervención: 1.5 horas x $\$3.000 = \4.500
- Tiempo espera obtención de repuesto: 1 hora
- Costo total H/H $\$3.000 \times 2.5 \text{ horas} = \7.500
- Tiempo producción insatisfactoria por fuga hidráulica: 2 horas
- Pérdidas por derrame de aceite: $\$8.000$
- Costo H/H limpieza derrame: 1 hora x $\$800 = \800

3.8.1.5. Actividad imprevista 5: Cambio de cuchillas de corte

- Recursos humanos: 1 técnico mecánico: 1 ayudante mecánico
- Costo total recursos humanos por hora: $\$2.200 + \$800 = \$3.000$
- Costo H/H por diagnóstico: 1 hora x $\$3.000 = \3.000
- Costos H/H por horas de intervención: 3 horas x $\$3.000 = \9.000
- Tiempo espera obtención de repuesto: 6 horas
- Costo total H/H $\$3.000 \times 4 \text{ horas} = \12.000
- Tiempo producción insatisfactoria por ineficiencia cuchillas: 5 horas

3.8.1.6. Actividad imprevista 6: Cambio línea neumática de enfriamiento molde

- Recursos humanos: 1 técnico mecánico: 1 ayudante mecánico
- Costo total recursos humanos por hora: $\$2.200 + \$800 = \$3.000$
- Costo H/H por diagnóstico: 1 hora x $\$3.000 = \3.000
- Costos H/H por horas de intervención: 0.5 horas x $\$3.000 = \1.500
- Tiempo espera obtención de repuesto: 1 hora
- Costo total H/H $\$3.000 \times 1.5 \text{ horas} = \4.500

- Tiempo producción insatisfactoria por ineficiencia enfriamiento: 3 horas

3.8.1.7. Actividad imprevista 7: Cambio de sellos pistón de cierre

- Recursos humanos: 1 técnico mecánico: 1 ayudante mecánico
- Costo total recursos humanos por hora: $\$2.200 + \$800 = \$3.000$
- Costo H/H por diagnóstico: 2 horas x $\$3.000 = \6.000
- Costos H/H por horas de intervención: 6 horas x $\$3.000 = \18.000
- Tiempo espera obtención de repuesto: 12 horas
- Costo total H/H $\$3.000 \times 8 \text{ horas} = \24.000
- Tiempo producción insatisfactoria por fuga hidráulica: 4 horas
- Pérdidas por derrame de aceite: $\$16.000$
- Costo H/H limpieza derrame: 2 horas x $\$800 = \1.600

3.8.1.8. Actividad imprevista 8: Cambio de sellos cánula

- Recursos humanos: 1 técnico mecánico: 1 ayudante mecánico
- Costo total recursos humanos por hora: $\$2.200 + \$800 = \$3.000$
- Costo H/H por diagnóstico: 1 hora x $\$3.000 = \3.000
- Costos H/H por horas de intervención: 4 horas x $\$3.000 = \12.000
- Tiempo espera obtención de repuesto: 6 hora
- Costo total H/H $\$3.000 \times 5 \text{ horas} = \15.000
- Tiempo producción insatisfactoria por fuga materia prima: 4 horas
- Pérdidas por derrame de plástico: $\$3.000$
- Costo H/H remoción plástico de cánula: 2 hora x $\$800 = \1.600

En la siguiente tabla 3-3, se presenta el costo H/H total del mantenimiento actual de la organización, considerando solo actividades de imprevisto.

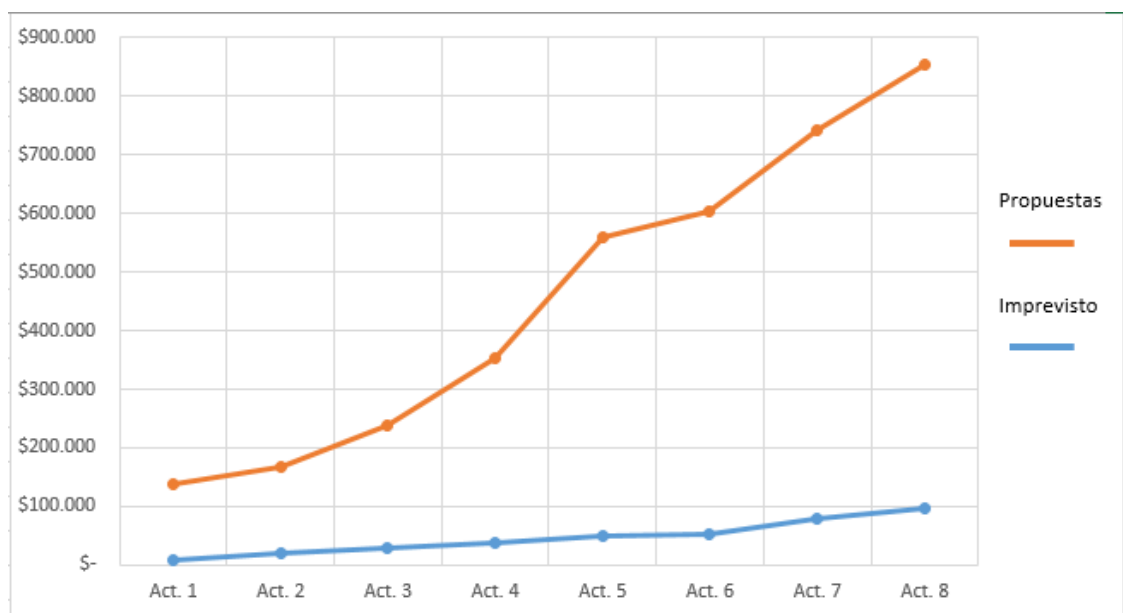
Tabla 3-3. Costo H/H total de actividades de mantenimiento de imprevisto

Actividades	Costos H/H
Imprevisto 1	\$9.000
Imprevisto 2	\$12.000

Imprevisto 3	\$7.500
Imprevisto 4	\$8.300
Imprevisto 5	\$12.000
Imprevisto 6	\$4.500
Imprevisto 7	\$25.600
Imprevisto 8	\$16.600
Costo total H/H	\$95.500

Elaboración propia de actividades de imprevisto con su respectivo costo de mantenimiento.

En la siguiente figura 3-1, se puede apreciar que las actividades propuestas de mantenimiento son mucho más elevadas económicamente que las actividades actuales de imprevisto, ya que se realizan cambios de componentes y se intervienen con mayor frecuencia. En el eje X, se presenta cada actividad, y en el eje Y, los costos de cada tarea de manera acumulada.



Fuente: Elaboración propia de costos vs actividades

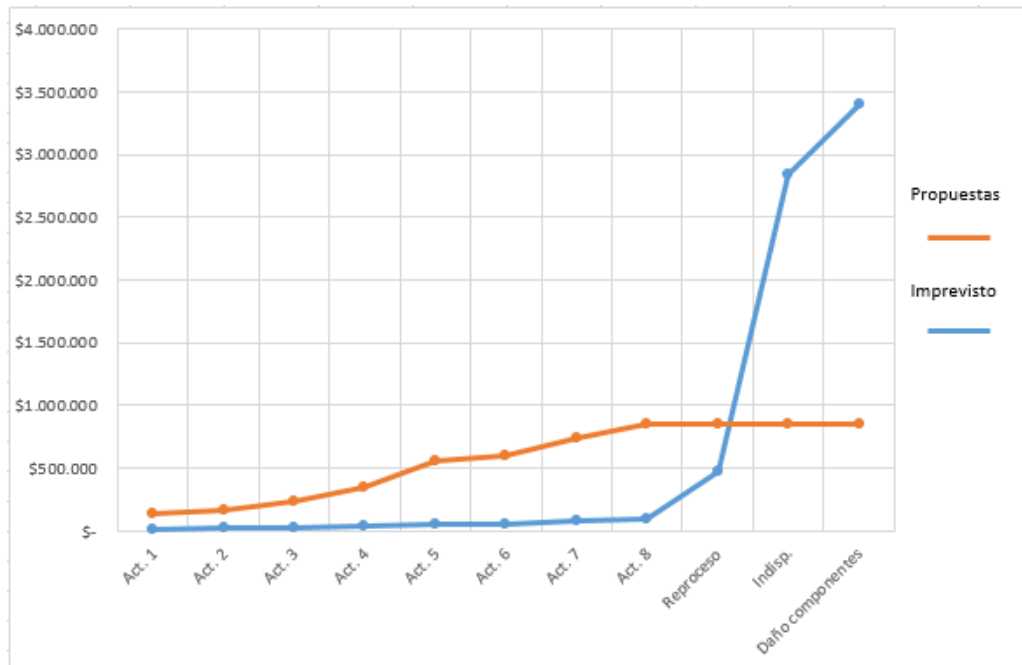
Figura 3-1. Tareas propuestas e imprevistas y costos de manera acumulada.

A pesar de lo expuesto anteriormente, de que las actividades de imprevisto poseen menor costo que las actividades de mantenimiento preventivo propuestas, existen otros factores económicos que influyen en el costo total de éstas, como por ejemplo la indisponibilidad o lo que se deja de producir al momento de presentarse una falla imprevista.

Dicho lo anterior, se considera que:

- Tiempo de fabricación por envase: 20 Segundos
- Precio de venta (Pv) envase: \$300
- Costo fabricación: \$150
- Utilidad por envase: \$150
- Costo reprocesamiento por envase: \$50
- Costo fabricación envase reprocesado: \$200
- Utilidad envase reprocesado: \$100
- Tiempo indisponibilidad total: 87.5 horas= 315.000 segundos
- Envases no fabricados por equipo detenido: 15.750 envases
- Pérdidas por indisponibilidad: $15.750 \times \$150 = \$2.362.500$
- Tiempo de fabricación producto no conforme: 21 horas= 75.600 segundos
- Envases reprocesados: 3.780 envases
- Pérdidas por reprocesamiento: $3.780 \times 100 = \$378.000$
- Pérdidas por derrame de aceite: \$24.000
- Pérdida por derrame materia prima: \$3.000
- Costo total: \$2.767.500.-.

En la siguiente figura 3-2, se observan los costos de mantenimiento de las tareas propuestas vs el costo de mantenimiento imprevisto que implicaría dar solución a la falla ocurrida, aunque esta vez, considerando los costos por reproceso, indisponibilidad operacional y daños en componentes críticos a causa de un mantenimiento deficiente o inoportuno.



Fuente: Elaboración propia de costos vs actividades considerando reproceso, indisponibilidad y daños a componentes críticos.

Figura 3-2. Tareas propuestas e imprevistas y costos de manera acumulada, considerando reproceso, indisponibilidad operacional y daños a componentes.

Por lo tanto, el costo total que presenta la empresa respecto a mantención (\$95.500) y operaciones (\$2.767.500) es de \$2.863.000 si no se cuenta con el plan de mantenimiento propuesto, confirmando la factibilidad del plan (\$852.900).

Además, si se considera el costo relacionado a componentes críticos dañados por falta de mantención oportuna (\$560.000), el desembolso monetario de la organización sin el plan de mantenimiento es de: \$3.423.000 vs \$852.900 del plan propuesto, generando un ahorro de aproximadamente \$2.570.100-.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente trabajo de título, tuvo como finalidad realizar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) al equipo de mayor criticidad de la empresa Plásticos Tumani Spa.

El equipo seleccionado, fue una máquina de moldeo por soplado, denominada en la empresa como SOP-07, en donde se generaron modos de fallo de una falla funcional total y otra parcial, respecto a la función principal del equipo.

Luego de establecer dichos modos de fallo, se crearon tareas propuestas para la solución de éstos, además de identificar si el modo de fallo genera un impacto en la producción, seguridad y/o medioambiente.

Posteriormente, se jerarquizaron según metodología RPN o número de prioridad de riesgo, para identificar cuáles son los modos de fallo críticos.

Finalmente se realizó una programación de las tareas propuestas, y se planificaron los procedimientos de los modos de fallo de mayor criticidad, cuantificando los costos asociados mediante flujo de caja.

Las conclusiones que se pudieron obtener después de la realización del presente trabajo, son que las diferentes tareas para la solución de modos de fallo, dependen exclusivamente del modelo de negocios de la empresa, ya que, para algunas organizaciones, la prioridad es mantener el funcionamiento del equipo el mayor tiempo, proyectando lo máximo posible la vida útil de los componentes del equipo. Esto, sin importar las consecuencias que se puede generar con ello, habiendo otras empresas que prefieren aplicar acciones preventivas, para evitar fallas catastróficas, aunque cambiando componentes que tal vez, aún pueden mantenerse en operación mayor tiempo.

Otro punto a destacar, es que, contar con un historial de las fallas de los equipos de una empresa, es muy beneficioso para ésta, ya que ayuda a monitorear cuales son las fallas recurrentes en los equipos, o que equipo posee fallas reiterativas. Con lo anterior, y asociando los ingresos de la empresa y las pérdidas de producción o calidad por falta de acciones de mantenimiento, una organización puede obtener beneficios cuantificables, para ir disminuyendo fallas evitables, y malas decisiones tomadas, lo que se traduce en un beneficio económico para la empresa, y ayuda a los técnicos de mantenimiento a facilitar los pasos a seguir para un correcto mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. Plásticos Tumani [en línea]. <<https://www.tumani.cl/about-us/>> [consulta: septiembre 2019]
2. Sobre empresa Plásticos Tumani Spa. [en línea]. <<https://4573-cl.all.biz/info-about>> [consulta: septiembre 2019]
3. Proceso de inyección. [en línea]. https://www.edu.xunta.gal/centros/cfrvigo/aulavirtual2/pluginfile.php/7262/mod_resource/content/0/02_inyeccion.pdf [consulta: octubre 2019]
4. ¿Qué es un modo de fallo? [en línea]. <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/19/help-and-how-to/modeling-statistics/reliability/supporting-topics/basics/what-is-a-failure-mode/> [consulta: noviembre 2019].
5. Modos de fallo potenciales y análisis de efectos (FMEA) [Manual de referencia]. [consulta: noviembre 2019].
6. RCM Fallos funcionales [En línea]. <https://confiabilidadrcm.wordpress.com/2016/08/21/paso-2-fallos-funcionales/> [consulta: diciembre 2019]
7. Análisis de modos de fallo y sus efectos AMFE. [En línea]. <http://planetrams.iusiani.ulpgc.es/?p=2940&lang=es> [consulta: diciembre 2019]

ANEXOS

**ANEXO A: DOCUMENTO EXCEL DIAGRAMA JACK KNIFE EQUIPOS
PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA PLÁSTICOS TUMANI SPA 2018**

**ANEXO B: BASE DE DATOS DE LOS EQUIPOS DE PRODUCCIÓN EN
EL AÑO 2018.**

EQUIPO	TIEMPO DE DETENCIÓN	N° FALLAS	MTTR
SOP-01	449,65	111	4,05
SOP-1A	97,50	39	2,50
SOP-04	290,10	114	2,54
SOP-05	358,00	147	2,44
SOP-06	455,85	153	2,98
SOP-07	577,15	144	4,01
SOP-10A	20,00	13	1,54
SOP-11A	17,90	19	0,94
SOP-12A	12,10	15	0,81
SOP-13	467,35	81	5,77
SOP-14	34,75	21	1,65
INY-02	100,00	30	3,33
INY-03	130,40	21	6,21
INY-04	32,50	18	1,81
INY-05	245,40	66	3,72
INY-06	69,60	33	2,11
INY-07	96,60	39	2,48
INY-08	20,40	18	1,13
INY-12	56,85	16	3,55
INY-18	115,85	42	2,76
INY-20	27,50	12	2,29
INY-25	60,15	21	2,86
INY-26	58,75	18	3,26
INY-27	70,00	36	1,94
INY-28	187,90	39	4,82
INY-31	450,10	87	5,17
INY-32	217,60	54	4,03
INY-33	460,40	57	8,08
INY-36	320,60	54	5,94

INY-37	325,80	42	7,76
INY-38	3,75	3	1,25
INY-39	163,65	48	3,41
INY-40	40,85	33	1,24
INS-09	463,60	93	4,98
INS-10	356,40	87	4,10
INS-29	265,85	48	5,54
INS-34	256,85	72	3,57
INS-35	390,85	123	3,18

Fuente: Elaboración propia de Tiempos de detención, N° de fallas y MTTR de equipos de producción año 2018.

ANEXO C: REGISTRO HOJA DE INFORMACIÓN RCM

SISTEMA:	EQUIPO DE MOLDEO POR SOPLADO
----------	------------------------------

FUNCIÓN PRINCIPAL	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA/ SINTOMA DE FALLA	CONSECUENCIA DE FALLA	S	O	D	RPN	
A FABRICAR PIEZAS PLÁSTICAS A TRAVÉS DE INYECCIÓN DE AIRE A PRESIÓN DENTRO DE UNA PREFORMA HUECA, OBTENIENDO LA FORMA DESEADA POR SOPLADO EMPLEANDO UN MOLDE O MATRÍZ	A.1 FALLA FUNCIONAL TOTAL: CARROS DE TRASLADO INCAPACES DE REALIZAR DESPLAZAMIENTO DEL MOLDE	A.1.1	VALVULA DE DESPLAZAMIENTO ESTANCADA	EVIDENCIA: NO REALIZA CAMBIO DE POSICIÓN TIEMPO DE DETENCIÓN: 2 HORA DESCRIPCIÓN: POSIBLE OBSTRUCCIÓN POR SEDIMENTOS EN VALVULA	IMPACTO PRODUCCIÓN: SI, BAJA DE PRODUCCIÓN EN PIEZAS/HORA SEGURIDAD: SI MEDIO AMBIENTE: NO	7	3	6	126
		A.1.2	EJE DE SALIDA DE MOTOR CAJA REDUCTORA PARCIALMENTE OBSTRUIDO	EVIDENCIA: ALTAS VIBRACIONES Y RUIDO EN CAJA REDUCTORA TIEMPO DE DETENCIÓN: 5 HORAS DESCRIPCIÓN: POSIBLE ROTURA DE RODAMIENTO MOTOR CAJA REDUCTORA	IMPACTO PRODUCCIÓN: SI, BAJA DE PRODUCCIÓN EN PIEZAS/HORA SEGURIDAD: SI MEDIO AMBIENTE: NO	8	2	7	112
		A.1.3	ROTURA DE CORREA DE CAJA REDUCTORA	EVIDENCIA: NO EXISTE ENTREGA DE POTENCIA DE CAJA REDUCTORA TIEMPO DE DETENCIÓN: 1 HORA. DESCRIPCIÓN: POSIBLE SOBRETENSIÓN DE CORREA	IMPACTO PRODUCCIÓN: SI, BAJA DE PRODUCCIÓN EN PIEZAS/HORA SEGURIDAD: SI MEDIO AMBIENTE: NO	7	3	1	21
		A.1.4	ROTURA DE LINEA DE PRESIÓN PARA DESPLAZAMIENTO	EVIDENCIA: FILTRACIÓN DE ACEITE EN LÍNEAS DE PRESIÓN TIEMPO DE DETENCIÓN: 1 HORA. DESCRIPCIÓN: POSIBLE ROTURA POR ROCE ENTRE FLEXIBLES	IMPACTO PRODUCCIÓN: SI, BAJA DE PRODUCCIÓN EN PIEZAS/HORA SEGURIDAD: SI MEDIO AMBIENTE: SI	7	6	1	42
	A.2 FALLA FUNCIONAL PARCIAL: MAYOR OBTENCIÓN DE PIEZAS FINALES DEFECTUOSAS CON RESPECTO AL CONTROL DE CALIDAD	A.2.1	CUCHILLA DE CORTE DE MANGA SIN FILO	EVIDENCIA: CUCHILLA NO CORTA TIEMPO DE DETENCIÓN: 1 HORA. DESCRIPCIÓN: CUCHILLA DE CORTE DE MANGA PLÁSTICA NO TIENE EL FILO NECESARIO, PROVOCANDO DEFORMACIÓN EN	IMPACTO PRODUCCIÓN: SI, DISMINUCIÓN DE PRODUCCIÓN EN PIEZAS/HORA SEGURIDAD: SI MEDIO AMBIENTE: NO	7	6	4	168
		A.2.2	ROTURA DE LINEA DE ENFRIAMIENTO DEL MOLDE	EVIDENCIA: PRESENCIA DE AGUA EN EL MOLDE TIEMPO DE DETENCIÓN: 1 HORA DESCRIPCIÓN: POSIBLE ROTURA DE LÍNEA DE ENFRIAMIENTO POR TORSIÓN	IMPACTO PRODUCCIÓN: SI, BAJA DE PRODUCCIÓN EN PIEZAS/HORA SEGURIDAD: SI MEDIO AMBIENTE: SI	3	4	3	36
		A.2.3	ROTURA DE SELLOS DE PISTON DE CIERRE	EVIDENCIA: PISTONES DE CIERRE PRESENTAN FILTRACIÓN TIEMPO DE DETENCIÓN: 5 HORA. DESCRIPCIÓN: POSIBLE DETERIORO DE SELLOS DE PISTONES DE CIERRE POR FIN DE VIDA ÚTIL LO QUE GENERA UN CIERRE INADECUADO DEL MOLDE	IMPACTO PRODUCCIÓN: SI, BAJA DE PRODUCCIÓN EN PIEZAS/HORA SEGURIDAD: SI MEDIO AMBIENTE: SI	6	5	5	150
		A.2.4	ROTURA DE SELLOS DE CANULA DE GENERACIÓN DE MANGA DE PLÁSTICO	EVIDENCIA: CANULA PRESENTA FILTRACIONES AL GENERAR MANGA PLÁSTICA TIEMPO DE DETENCIÓN: 3 HORA. DESCRIPCIÓN: POSIBLE DETERIORO EN LOS SELLOS DE LA CANULA POR FIN DE VIDA ÚTIL, QUE PROVOCA UNA MANGA DE PLÁSTICO DEFECTUOSA.	IMPACTO PRODUCCIÓN: SI, BAJA DE PRODUCCIÓN EN PIEZAS/HORA SEGURIDAD: SI MEDIO AMBIENTE: SI	6	5	4	120

Fuente: Elaboración propia de registro de hoja de información RCM presentando la función principal, fallas funcionales y modos de fallo además de los efectos, síntomas y consecuencias de falla de equipo de moldeo por soplado.

ANEXO D: REGISTRO HOJA DE DECISIÓN RCM

SISTEMA:	EQUIPO DE MOLDEO POR SOPLADO
----------	------------------------------

REFERENCIA DE HOJA DE INFORMACIÓN			EVALUACION DE CONSECUENCIA (DIAGRAMA DE DECISION)				H1			H2			H3			ACCIÓN A FALTA DE				TAREA PROPUESTA	FRECUENCIA	A REALIZARSE POR
							S1	S2	S3	O1	O2	O3	H4	H5	S4							
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4										
A	1	1	SI	SI			NO	SI								MANTENIMIENTO PROGRAMADO: REALIZAR CAMBIO DE FILTROS HIDRÁULICOS	CADA 2500 HORAS	PERSONAL DE MANTENCIÓN				
A	1	2	SI	SI			SI									MANTENIMIENTO PREVENTIVO: REEMPLAZO DE RODAMIENTOS CAJA REDUCTORA	CADA 8000 HORAS	PERSONAL DE MANTENCIÓN				
A	1	3	SI	SI			NO	NO	SI							MANTENIMIENTO PREVENTIVO: CAMBIO DE CORREA DE POTENCIA	CADA 4000 HORAS	PERSONAL DE MANTENCIÓN				
A	1	4	SI	SI			SI									MANTENIMIENTO PROGRAMADO: INSPECCIÓN DEL ESTADO DE MANGUERAS SISTEMA DEPLAZAMIENTO	CADA 150 HORAS	PERSONAL DE MANTENCIÓN				
A	2	1	NO				NO	NO	SI							MANTENIMIENTO PREVENTIVO: CAMBIO DE CUCHILLAS DE CORTE	CADA 1500 HORAS	PERSONAL DE MANTENCIÓN				
A	2	2	NO				SI									MANTENIMIENTO PROGRAMADO: INSPECCIÓN ESTADO DE LÍNEAS NEUMATICAS	CADA 150 HORAS	PERSONAL DE MANTENCIÓN				
A	2	3	NO				NO	SI								MANTENIMIENTO PREVENTIVO: CAMBIO DE SELLOS PISTON DE CIERRE	CADA 4000 HORAS	PERSONAL DE MANTENCIÓN				
A	2	4	NO				NO	SI								MANTENIMIENTO PREVENTIVO: CAMBIO DE SELLOS CANULA	CADA 2500 HORAS	PERSONAL DE MANTENCIÓN				

Fuente: Elaboración propia de registro hoja de decisión RCM presentando tareas propuestas, frecuencia y personal encargado según referencia de hoja de información RCM.