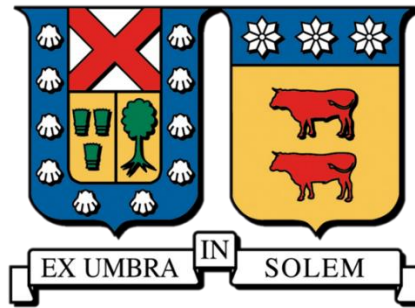


**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALPARAÍSO – CHILE



“APLICACIÓN DE UN MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA EL  
DESARROLLO DE UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO PARA ACTIVOS CRÍTICOS EN EL  
ÁREA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO EN UNA EMPRESA MANUFACTURERA DE ARTEFACTOS  
ELÉCTRICOS EN LA REGIÓN METROPOLITANA”

**MÓNICA MABEL SOTO CHACÓN**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL MECÁNICA

PROFESOR GUÍA: RENÉ VALDENEGRO  
OYANEDER

PROFESOR CORREFERENTE: PEDRO  
SARIEGO PASTEN

JUNIO – 2025



## CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

### 1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción):  Memoria o trabajo de título;  Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: Aplicación de un modelo de gestión de mantenimiento basado en RCM para el desarrollo de una estrategia de mantenimiento para activos críticos en el área de inyección de plástico en una empresa manufacturera de artefactos eléctricos en la región metropolitana.

Nombre del candidato(a): Mónica Mabel Soto Chacón

Carrera / Grado: Ingeniería Civil Mecánica

Campus: Casa Central Valparaíso ; Departamento: Mecánica

### 2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, René Valdenegro Oyaneder, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

### 3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

El trabajo **NO** contiene información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

6 meses;  12 meses;  2 años;  3 años;  5 años;  10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

### 4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 14/08/2025

; Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 14/08/2025

; Firma:

*Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.*

## Agradecimientos

Pocas veces tengo la instancia de poder expresar lo que significó esta parte de mi vida, mi paso por la universidad, una de las tantas vidas que me tocó vivir y que sin ningún precedente se convirtió en el proceso más importante y desafiante que me ha tocado atravesar, y creo que este es el momento perfecto para compartirlo.

Desde que se abrió esa pequeña ventana, esa mínima posibilidad de estudiar una carrera universitaria, todo se convirtió en un regalo, todo aquello que logre experimentar, disfrutar, absorber, todo lo que esta etapa me entregó, desde el enorme aprendizaje absorbido en las aulas hasta las más grandes lecciones de vida, esa pequeña ventana se convirtió en más que solo una pequeña ventana, se convirtió en la oportunidad de mi vida, y todo gracias a mis papás, que, a pesar de todo y con todo lo que significaba, le regalaron su única hija al mundo, pero la realidad es que lo que hicieron fue regalarme el mundo, ponerlo a mis pies para poder recorrerlo.

Mamá, Papá, gracias por todo el sacrificio, por la confianza y por todo el amor entregado, gracias por la fuerza y por la garra que día a día le ponen a la vida para salir adelante, gracias por su enorme paciencia y comprensión, gracias por regalarme esta oportunidad, ustedes son mi más grande inspiración, y el tenerlos tan lejos por tanto tiempo ha sido la más grande lección para acercarme a ustedes, lo cual es hasta un poco irónico. Este trabajo se los dedico a ustedes, este trabajo es fruto de mi esfuerzo, pero también del de ustedes.

También deseo entregarles el reconocimiento a mis profesores guías, René y Pedro, que sin duda alguna marcaron mi paso por esta carrera, agradezco la dedicación que clase a clase nos entregaron. Gracias por recibir mi propuesta y acompañarme en este camino.

Esta travesía estuvo llena de altos y bajos, pero tuve la dicha de que en cada paso siempre hubo alguien que me entregó su compañía y enseñanza. Agradezco a mis tías y tíos, primas y primos, que desde el balcón de la nostalgia de vernos crecer los unos a los otros, siempre me transmitieron su afecto, cariño y palabras de aliento. A las amistades que me regaló la universidad, me siento profundamente agradecida de todos y cada una de las personas con quienes logre una conexión. Amigos míos, ustedes le entregaron a mi vida esa gota de entusiasmo, risas y picardía necesaria para hacer de la universidad un grato pasar.

Afortunada soy también de haber conocido el amor, Joaquín Videla, gracias por tu infinita compañía, por ser ese cable a tierra que necesité en mis peores momentos, gracias por elegir recorrer esta vida tan incierta juntos, donde lo más certero es el amor que nos tenemos. Este trabajo también te lo dedico a ti. Junto a Suki, fueron el combustible de mi vida en esta última etapa.

Agradezco también a todo el equipo de Schneider Electric Planta Santiago, por abrirme sus puertas y entregarme mi primera experiencia laboral, pero por sobre todo agradezco al equipo de Mantenimiento, a Keiner, Álvaro, Patricio, Orlando, Ariel y en especial a Miguel Castro, gracias por la paciencia, las risas, la confianza, gracias por el conocimiento técnico entregado durante mi paso por planta, pero en especial gracias por su amistad, es de las cosas más valiosas que me llevo y atesoro.

Y por último y no menos importante, este trabajo se lo dedico a mi yo del pasado, a esa Mónica llena de miedos e inseguridades, quiero decirte que eres valiente, inteligente y poderosa. La vida está llena de incertidumbre. **Atrévete, porque de eso se trata, de atreverse, para cambiar, para crecer, para aprender.**

## Resumen ejecutivo

La presente memoria tiene por objetivo desarrollar e implementar un modelo de gestión de mantenimiento basado en la metodología RCM (Reliability-Centered Maintenance), aplicado al área de inyección de plásticos en una empresa manufacturera de artefactos eléctricos domiciliarios. El foco principal de este trabajo es fortalecer la estrategia de mantenimiento de los activos críticos, mejorando su confiabilidad, disponibilidad y eficiencia operativa, asegurando así la continuidad operacional del proceso, al menor costo global.

El trabajo se estructuró en siete etapas que permitieron diagnosticar la situación actual, jerarquizar los activos según su criticidad, identificar modos de falla, diseñar planes de mantenimiento y proyectar su impacto. A través del análisis funcional y la evaluación de riesgos operativos y de seguridad (alineados a las normativas ISO 31000 e ISO 45000), se identificaron como activos clave la máquina inyectora IN-006 y el molde 1733A, cuyas fallas históricas evidenciaban una alta recurrencia y consecuencias directas sobre la calidad, la productividad y la disponibilidad de estos activos.

Para evaluar el impacto del mantenimiento proactivo propuesto tras la aplicación del modelo se realizó una proyección técnica y cuantitativa sustentada en la correlación entre tareas proactivas propuestas y la mitigación de modos de falla críticos. Esta proyección permitió anticipar una disminución significativa en la ocurrencia de fallas, lo cual impacta directamente en los principales indicadores de mantenimiento y en los costos globales.

Este modelo no solo permitió definir planes de mantenimiento más robustos para los activos críticos, sino también construir una base cuantitativa sólida para la toma de decisiones estratégicas relacionadas con la renovación de equipos, priorización de inversiones en mantenimiento y adopción de tecnologías predictivas. Mediante la evaluación de escenarios en un horizonte de 5, 8 y 10 años, el análisis de costos de ciclo de vida (LCC) reveló que la confiabilidad del sistema tiene una relación directa con el costo global, y que existe un punto óptimo técnico-económico que permite minimizar el Costo Anual Equivalente (CAE), como se muestra en la curva de costos globales para un lote representativo de 60.000 piezas, el cual refleja la mayor frecuencia de producción durante el año 2024.

Los resultados proyectados indican que estrategias de mantenimiento basadas en confiabilidad pueden reducir el costo global por unidad producida, al disminuir las fallas, los tiempos de detención y la saturación operativa del activo. Esto se evidencia en las curvas de confiabilidad y saturación por nivel de producción, donde el Escenario 2 (RCM) y Escenario 3 (Renovación + RCM) muestran mejoras significativas respecto a la situación actual, alcanzando confiabilidades superiores al 50% incluso en rangos altos de demanda, y manteniendo la saturación bajo umbrales críticos. Estas mejoras operacionales se traducen en una producción más estable, menor desperdicio de tiempo y recursos, y una mayor competitividad del proceso, al reducir el costo de mantenimiento por pieza y optimizar la planificación de la producción.

En este sentido, la aplicación del modelo transforma al área de mantenimiento desde una función tradicionalmente vista como centro de costos, hacia un eje estratégico de generación de valor, que contribuye directamente a mejorar la eficiencia del sistema productivo, la calidad

del servicio interno y la sostenibilidad de la operación. Su replicabilidad en otros moldes o equipos se ve facilitada por la estandarización de componentes, sistemas y metodologías, permitiendo escalar esta herramienta de gestión a nuevas áreas con bajo esfuerzo adicional, siempre que se cuente con los recursos necesarios.

## Abstract

The objective of this thesis is to develop and implement a maintenance management model based on the RCM (Reliability-Centered Maintenance) methodology, applied to the plastic injection area of a manufacturing company that produces household electrical appliances. The main focus of this work is to strengthen the maintenance strategy for critical assets, improving their reliability, availability, and operational efficiency, thereby ensuring process continuity at the lowest overall cost.

The work was structured into seven stages that enabled a diagnosis of the current situation, prioritization of assets based on criticality, identification of failure modes, design of maintenance plans, and projection of their impact. Through functional analysis and risk assessment in terms of operations and safety (aligned with ISO 31000 and ISO 45000 standards), key assets were identified: the injection machine IN-006 and mold 1733A, whose historical failures showed high recurrence and direct consequences on quality, productivity, and availability.

To evaluate the impact of the proposed proactive maintenance approach following the model's application, a technical and quantitative projection was performed, supported by the correlation between proposed proactive tasks and the mitigation of critical failure modes. This projection enabled the anticipation of a significant reduction in failure occurrences, which directly impacts key maintenance indicators and overall costs.

The model not only allowed for the development of more robust maintenance plans for critical assets, but also provided a solid quantitative foundation for strategic decision-making regarding equipment renewal, maintenance investment prioritization, and the adoption of predictive technologies. By evaluating different scenarios over a 5-, 8-, and 10-year horizon, the life cycle cost (LCC) analysis revealed that system reliability is directly linked to overall cost, and that there is a technical-economic optimum point that minimizes the Equivalent Annual Cost (EAC), as illustrated in the global cost curve for a representative batch of 60,000 pieces—the highest production frequency expected in 2024.

The projected results indicate that reliability-based maintenance strategies can reduce the overall cost per unit produced by decreasing failures, downtime, and operational overload. This is evidenced by the reliability and saturation curves according to production levels, where Scenario 2 (RCM) and Scenario 3 (Renewal + RCM) show significant improvements over the current situation, achieving reliability levels above 50% even under high demand, while keeping saturation below critical thresholds. These operational improvements translate into more stable production, reduced time and resource waste, and increased process competitiveness by lowering maintenance cost per piece and optimizing production planning.

In this regard, the application of the model transforms the maintenance area from a traditionally perceived cost center into a strategic value-generating axis that directly contributes to enhancing the efficiency of the production system, internal service quality, and operational sustainability. Its replicability to other molds or equipment is facilitated by the

standardization of components, systems, and methodologies, allowing this management tool to be scaled to new areas with minimal additional effort—provided the necessary resources are available.

## Glosario

1. Activo: Bien físico (máquina, equipo, componente) que cumple una función dentro del sistema productivo y requiere gestión a lo largo de su ciclo de vida.
2. CAE (Costo Anual Equivalente): Indicador económico que transforma los costos totales de un activo a lo largo de su vida útil en un valor anual constante, facilitando la comparación entre alternativas.
3. Calidad: Grado en que un producto o servicio cumple con los requisitos especificados. En mantenimiento, también puede asociarse al nivel de conformidad operativa post intervención.
4. Capacidad Operativa Real: Volumen de producción que efectivamente puede lograr un activo, considerando pérdidas por fallas, tiempos muertos y ajustes.
5. Capacidad Operativa Teórica: Producción máxima esperada de un activo si operara al 100 % de su rendimiento sin fallas ni detenciones.
6. Ciclo de Vida: Período completo desde la adquisición, operación y mantenimiento de un activo hasta su disposición final.
7. Consecuencia de Falla: Resultado que genera una falla sobre la seguridad, el medio ambiente, la producción o los costos.
8. Contexto Operacional: Condiciones reales en las que un activo funciona, incluyendo entorno, carga, modo de operación y personal involucrado.
9. Costo de Ciclo de Vida (LCC): Suma total de los costos asociados a la adquisición, operación, mantenimiento y disposición de un activo durante toda su vida útil.
10. Costo Directo de Mantenimiento: Costos atribuibles directamente a la ejecución de tareas de mantenimiento: mano de obra, materiales, repuestos y servicios contratados.
11. Costo Global: Suma de todos los costos directos e indirectos relacionados con el activo, incluyendo ineficiencias, paradas, calidad, energía, etc.
12. Costo Oculto: Costos indirectos derivados de fallas o ineficiencias no registrados directamente en los sistemas de gestión: tiempo ocioso, reprocesos, pérdida de oportunidad, etc.
13. Disponibilidad: Proporción del tiempo total en que un activo está operando efectivamente respecto al tiempo en que se espera que esté disponible.
14. Efecto de la Falla: Manifestación visible o funcional que produce un modo de falla, impactando la operación o el entorno.
15. Factor de Actualización: Valor aplicado para convertir costos futuros en su equivalente en valor presente, considerando la tasa de descuento y el tiempo.
16. FRC (Factor de Recuperación de Capital): Factor utilizado para convertir una suma global en una anualidad constante durante un período definido, considerando una tasa de descuento.
17. Falla Funcional: Situación en la cual un activo deja de cumplir una o más de sus funciones requeridas según su contexto operacional.
18. Función: Lo que se espera que un activo realice: transferir energía, moldear una pieza, controlar una variable, etc.
19. Funcionamiento Deseado: Nivel de desempeño requerido de un activo bajo condiciones normales. Puede incluir precisión, velocidad, calidad o seguridad.

20. Jerarquización: Proceso de clasificación de activos o sistemas en función de su criticidad, riesgo o impacto, para priorizar acciones de mantenimiento.
21. Mantenibilidad: Facilidad y rapidez con que un activo puede ser mantenido o restaurado a su condición operativa, medido por el MTTR.
22. Mantenimiento Reactivo: Es una estrategia de mantenimiento que consiste en intervenir un activo únicamente cuando ha fallado, es decir, no se realiza ninguna acción preventiva o predictiva previa.
23. Mantenimiento Proactivo: Estrategia que busca prevenir las fallas antes de que ocurran, mediante mantenimiento preventivo, predictivo y basado en condición.
24. Modo de Falla: Manera específica en que un activo puede fallar, como desgaste, corrosión, rotura, sobrecalentamiento, etc.
25. MTBF (Mean Time Between Failures): Tiempo promedio entre una falla y la siguiente. Representa la confiabilidad del activo.
26. MTTR (Mean Time To Repair): Tiempo promedio requerido para restaurar un activo después de una falla. Refleja su mantenibilidad.
27. NPR (Número de Prioridad de Riesgo): Valor que combina severidad, ocurrencia y detección de un modo de falla, utilizado en el análisis FMEA para priorizar acciones.
28. OEE (Overall Equipment Effectiveness): Indicador global de desempeño de un equipo, que combina disponibilidad, rendimiento y calidad del proceso.
29. Política de Manejo de Fallas: Decisión estratégica que define cómo enfrentar diferentes tipos de fallas: prevenir, predecir, corregir, rediseñar o aceptar.
30. Productividad: Relación entre la cantidad de productos obtenidos y los recursos utilizados. Mejora cuando hay menos fallas, menos reprocesos y mayor eficiencia.
31. RCM (Reliability-Centered Maintenance): Metodología estructurada para diseñar planes de mantenimiento en función de la confiabilidad, criticidad y consecuencias de falla de los activos.
32. Reacondicionamiento Programado: Intervención técnica planificada para restaurar un componente antes de que ocurra una falla, basada en el comportamiento de desgaste.
33. Riesgo: Combinación de la probabilidad de ocurrencia de una falla y la magnitud de sus consecuencias sobre el sistema, personas o producción.
34. Saturación Operativa (sugerido término complementario): Relación entre el tiempo requerido para cumplir con una demanda y el tiempo disponible del activo. Saturaciones >100 % indican riesgo de incumplimiento, sobrexplotación del activo o necesidad de refuerzo.
35. Sustitución Cíclica: Reemplazo sistemático de componentes o activos completos a intervalos regulares, independientemente de su condición real.
36. Tasa de Descuento: Porcentaje que representa la pérdida de valor del dinero en el tiempo. Se utiliza para traer costos futuros al valor presente.
37. Valor Presente: Valor actual de un flujo de costos o beneficios que ocurren en el futuro, ajustado por la tasa de descuento.
38. Vida Útil Financiera: Período en que se espera que un activo sea económicamente rentable antes de considerar su renovación o reemplazo.

# Índice

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1.    | Introducción .....                                    | 13 |
| 1.1   | Presentación del problema .....                       | 14 |
| 1.2   | Objetivos .....                                       | 14 |
| 1.2.1 | Objetivos generales.....                              | 14 |
| 1.2.2 | Objetivos específicos .....                           | 14 |
| 2.    | Antecedentes generales .....                          | 15 |
| 2.1   | Schneider Electric, Planta Santiago .....             | 15 |
| 2.2   | Procesos productivos.....                             | 16 |
| 2.2.1 | Inyección.....  | 17 |
| 2.2.2 | Prensa .....  | 18 |
| 2.2.3 | Armado.....   | 19 |
| 2.2.4 | Pintura.....  | 20 |
| 2.2.5 | Envasado.....   | 21 |
| 2.3   | Áreas Soporte .....                                   | 22 |
| 2.3.1 | Mantenimiento .....                                   | 22 |
| 2.3.2 | Calidad.....  | 22 |
| 2.3.3 | Supply Chain .....                                    | 23 |
| 2.3.4 | Métodos .....   | 23 |
| 2.4   | Activos de Soporte Industrial.....                    | 24 |
| 3.    | Marco Teórico.....                                    | 26 |
| 3.1   | Mantenimiento en la industria .....                   | 26 |
| 3.2   | Ingeniería y Mantenimiento .....                      | 26 |
| 3.3   | Tipos de Mantenimiento .....                          | 27 |
| 3.4   | Indicadores de Mantenimiento .....                    | 27 |
| 3.5   | Normativas .....                                      | 28 |
| 3.6   | RCM. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad ..... | 29 |
| 3.6.1 | Funciones y contexto operacional .....                | 30 |
| 3.6.2 | Falla funcional y modos de falla.....                 | 30 |
| 3.6.3 | Efectos de falla .....                                | 31 |
| 3.6.4 | Consecuencias de falla .....                          | 31 |
| 3.6.5 | Prevención de fallas .....                            | 32 |
| 3.6.6 | Hoja de Información y Hoja de Decisión.....           | 33 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 3.7    | Modelo de Gestión de Activos y Mantenimiento .....   | 35  |
| 3.8    | Modelamiento de la Confiabilidad .....   | 39  |
| 3.9    | TPM y Mejoramiento Continuo .....  | 42  |
| 4.     | Aplicación del Modelo de Gestión del Mantenimiento .....   | 44  |
| 4.1    | Análisis Previo: Análisis cuali-cuantitativo de criticidad de los procesos productivos de Planta Santiago .....          | 44  |
| 4.2    | Etapa 1: Análisis de la situación actual. Definición de objetivos, estrategias y responsabilidades de mantenimiento..... | 45  |
| 4.2.1  | Objetivos de Mantenimiento en la empresa .....   | 45  |
| 4.2.2  | Estructura organizacional del área .....   | 46  |
| 4.2.3  | Equipamiento del área de inyección .....   | 47  |
| 4.2.4  | Flujograma proceso de Inyección .....  | 51  |
| 4.2.5  | Gestión de la información .....  | 53  |
| 4.2.6  | Planificación y programación del mantenimiento .....   | 55  |
| 4.2.7  | Análisis de datos.....   | 60  |
| 4.2.8  | Producción u operaciones.....  | 61  |
| 4.2.9  | Presupuestos.....  | 64  |
| 4.2.10 | Logística .....  | 65  |
| 4.2.11 | Análisis FODA .....  | 66  |
| 4.3    | Etapa 2: Jerarquización de activos de inyección .....  | 67  |
| 4.3.1  | Análisis de Criticidad .....   | 67  |
| 4.3.2  | Análisis Funcional de Equipos Claves .....   | 71  |
| 4.4    | Etapa 3: Análisis de puntos débiles en equipos de alto impacto .....   | 74  |
| 4.4.1  | RCA Inyectora 6.....   | 77  |
| 4.4.2  | RCA Molde 1733A .....  | 78  |
| 4.4.3  | Disponibilidad y Confiabilidad.....  | 79  |
| 4.5    | Etapa 4. Diseño de planes de mantenimiento y recursos necesarios .....   | 80  |
| 4.5.1  | Inyectora .....  | 81  |
| 4.5.2  | Molde .....  | 89  |
| 4.6    | Etapa 5. Programación del mantenimiento y optimización en la asignación de recursos .....                                | 96  |
| 4.6.1  | Inyectora .....  | 96  |
| 4.6.2  | Molde .....  | 99  |
| 4.7    | Etapa 6. Evaluación y control de la ejecución del mantenimiento .....  | 100 |

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 4.8 | Etapa 7. Análisis del ciclo de vida y de la posible renovación de equipos .....                                       | 104 |
| 5   | Discusión de resultados .....   | 112 |
| 6   | Mejoramiento Continuo .....   | 117 |
| 5.1 | Machine Learning y el uso de Montecarlo para la simulación de comportamientos de falla .....                          | 117 |
| 7   | Conclusiones .....  | 120 |
|     | Referencias .....   | 121 |
|     | Anexos .....  | 122 |
|     | Anexo 1: Estimación de costos directos de mantenimiento (reactivo y proactivo) y costos ocultos de ineficiencia ..... | 122 |
|     | Escenario 1: Situación Actual .....   | 122 |
|     | Escenario 2: Implementación Modelo de Mantenimiento Basado en RCM .....   | 123 |
|     | Escenario 3: Renovación del activo .....  | 124 |
|     | Costo Programa Mantenimiento Proactivo (Escenario 2 y 3).....   | 124 |
|     | Anexo 2: Detalle de la estimación del CAE para el Análisis del Costo de Ciclo de Vida del Molde 1733A (Etapa 7) ..... | 125 |
|     | Escenario 1: Situación Actual .....   | 125 |
|     | Escenario 2: Implementación Modelo de Mantenimiento Basado en RCM .....   | 126 |
|     | Escenario 3: Renovación del activo .....  | 126 |
|     | Anexo 3: Resultados de AMFE Inyectora 6 .....   | 127 |
|     | Anexo 4: Resultados de AMFE Molde 1733A.....  | 130 |

# 1. Introducción

En el año 2024, la industria manufacturera en Chile representó un 8,62 % del Producto Interno Bruto (PIB), reflejando una tendencia descendente sostenida desde 2008. Este escenario ha impulsado a las empresas del sector a optimizar sus procesos, con el objetivo de incrementar la productividad, mejorar la rentabilidad y asegurar su sostenibilidad en un entorno cada vez más competitivo. Sin embargo, la productividad no se alcanza únicamente mediante el uso eficiente de recursos, sino también a través de la implementación de estrategias técnicas que sustenten la continuidad y eficiencia operacional.

En particular, el mercado nacional de artefactos eléctricos domiciliarios se caracteriza por una alta competitividad, estrictas exigencias regulatorias y una creciente valorización de atributos estéticos por parte de los consumidores. Las empresas del rubro deben garantizar productos que cumplan con normativas como la NCh 2027-1, NCh 2027-2 y NCh 2011, abarcando aspectos de seguridad eléctrica, funcionalidad y durabilidad. La cadena de valor incluye etapas críticas como el diseño de componentes, la fabricación de partes plásticas y metálicas, el ensamblaje, envasado y distribución, todas sujetas a estrictos controles de calidad.

Para sostener esta operación, áreas como calidad, producción y mantenimiento cumplen funciones esenciales. En particular, el área de mantenimiento ya no puede ser concebida únicamente como un soporte reactivo, sino como un pilar estratégico que asegura la confiabilidad de los activos productivos y, con ello, la continuidad operacional. La gestión ineficaz del mantenimiento puede derivar en fallas imprevistas que interrumpen los procesos, generan costos adicionales, afectan la satisfacción del cliente y deterioran la competitividad de la empresa.

En este contexto, surge la necesidad de adoptar metodologías que permitan anticipar fallas, priorizar recursos y fundamentar decisiones tanto técnicas como económicas. La integración de un enfoque basado en Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) con el análisis de Costos de Ciclo de Vida (LCC) permite evaluar alternativas estratégicas como la optimización de tareas de mantenimiento, el reacondicionamiento o el reemplazo de activos, considerando no solo sus implicancias técnicas, sino también su impacto financiero a largo plazo.

En respuesta a esta necesidad, el presente trabajo propone la aplicación de un modelo de gestión de mantenimiento basado en RCM para el desarrollo de una estrategia técnica en activos críticos del área de inyección de plástico, en una empresa manufacturera de artefactos eléctricos ubicada en la Región Metropolitana. El estudio se fundamenta en datos operacionales históricos, análisis de modos de falla, evaluación de confiabilidad mediante distribuciones de Weibull y proyecciones de carga productiva. El objetivo es diseñar una estrategia de mantenimiento robusta que contribuya a mejorar la continuidad operacional, reducir los costos globales de los activos y fortalecer la competitividad del negocio frente a las exigencias actuales del mercado.

## 1.1 Presentación del problema

En el área de inyección de plástico de una empresa manufacturera de artefactos eléctricos ubicada en la Región Metropolitana, se ha identificado que los activos críticos, especialmente los moldes de inyección, presentan altos niveles de indisponibilidad, baja confiabilidad operativa y un desempeño productivo por debajo de su capacidad teórica, lo que ha generado incrementos sostenidos en los costos operacionales, reducción en la eficiencia del proceso y un riesgo latente de incumplimiento de la demanda proyectada.

A pesar de ello, la empresa no cuenta con una metodología estructurada para analizar, priorizar ni justificar técnicamente intervenciones sobre estos activos. No se ha implementado un modelo de gestión de mantenimiento que considere la criticidad de los equipos, la naturaleza de los modos de falla, ni el impacto económico y funcional asociado a su desempeño.

Esta situación hace evidente la necesidad de diseñar e implementar una estrategia de mantenimiento basada en principios del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), que permita identificar los modos de falla más críticos, proyectar su comportamiento, y tomar decisiones informadas sobre intervenciones, reacondicionamiento o reemplazo. Además, es fundamental que dicha estrategia esté integrada con un análisis económico de ciclo de vida (LCC), que permita comparar escenarios en términos de confiabilidad, costos operacionales y capacidad para cumplir con los requerimientos productivos futuros.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivos generales

- Generar estrategia de mantenimiento mediante un modelo de gestión de activo y mantenimiento y el mejoramiento continuo con el fin de robustecer el ciclo de mantenimiento en la empresa, mejorando la confiabilidad y disponibilidad de los activos críticos y con ello asegurar la continuidad operacional del proceso de inyección.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Definir el contexto global y operacional de la empresa.
- Identificar los riesgos de falla en equipos críticos.
- Realizar un análisis de criticidad de equipos.
- Recopilar y analizar datos históricos de mantenimientos realizados (fallos repetitivos y crónicos).
- Evaluación y jerarquización de riesgos.
- Diseñar planes y mejoras para la mitigación de riesgos en los activos críticos del área de inyección.
- Realizar una evaluación económica (costos de mantenimiento).
- Desarrollar propuestas de estrategias de control para el mejoramiento continuo del ciclo de mantenimiento relacionadas a la IA y Machine Learning.

## 2. Antecedentes generales

### 2.1 Schneider Electric, Planta Santiago

Schneider Electric es una compañía multinacional francesa fundada en 1836 dedicada al área del gestión y control de la energía, desde baja hasta la alta tensión. Actualmente se encuentra en más de 100 países ofreciendo sus productos de distribución eléctrica en baja y media tensión, soluciones para centros de datos y redes, productos de automatización y control industrial, entre otros.

Una de las líneas de negocio de Schneider Electric es la venta de productos eléctricos del tipo domiciliarios (tomacorrientes e interruptores), que son fabricados en Planta Santiago, un complejo ubicado en Quilicura, región Metropolitana, donde tienen localizados los procesos de manufactura, armado y envasado de sus productos. Los clientes de esta empresa son cadenas de comercio tales como Sodimac, Easy, grandes ferreterías, inmobiliarias y empresas de otros rubros.

Para la fabricación de tomacorrientes e interruptores se requieren dos principales componentes, los componentes plásticos y componentes metálicos. Los componentes plásticos son piezas fabricadas a través del proceso de inyección por moldeo, que tienen como principales funciones entregar forma, estructura, soporte, aislación eléctrica y un acabado estético al producto final. La materia prima principal utilizada para la fabricación de estos componentes es el ABS y el policarbonato, mientras que el masterbath es utilizado para entregarle color a la pieza. Los componentes metálicos son piezas fabricadas a través del proceso de estampado, donde se realiza el corte y estampado de componentes metálicos que tienen como función principal la conducción segura de electricidad a nivel domiciliario. La materia prima principal es el cobre y sus derivados (bronce), en forma de flejes.

Otras materias primas que se requieren a lo largo de la cadena productiva son films, etiquetas, cajas de cartón, que son utilizadas principalmente en el proceso de envasado y embalaje del producto final.

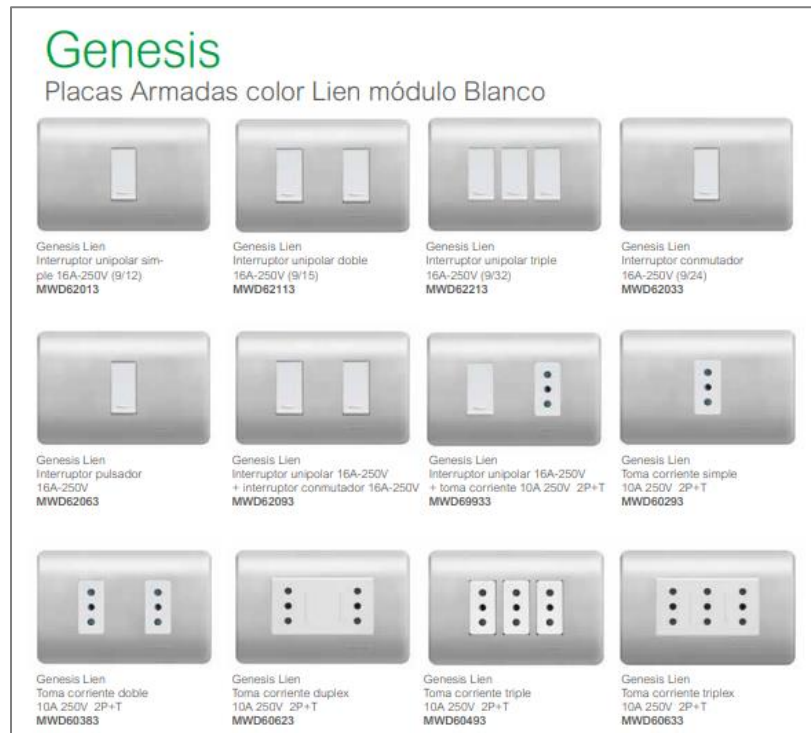


Figura 1: Parte del catálogo de productos eléctricos domiciliarios ofrecidos por Schneider Electric.

Fuente: <https://www.se.com/cl/es/>

## 2.2 Procesos productivos

Para la fabricación de tomacorrientes e interruptores se requieren de distintos procesos productivos. Cada uno de ellos cuenta con distintas tecnologías, máquinas y equipos para llevar a cabo la producción de piezas. Los principales procesos que se llevan a cabo en Planta Santiago son los procesos de inyección, prensa, armado, pintura y envasado, y la relación que hay entre procesos y los elementos claves del proceso se presenta en la Figura 2.

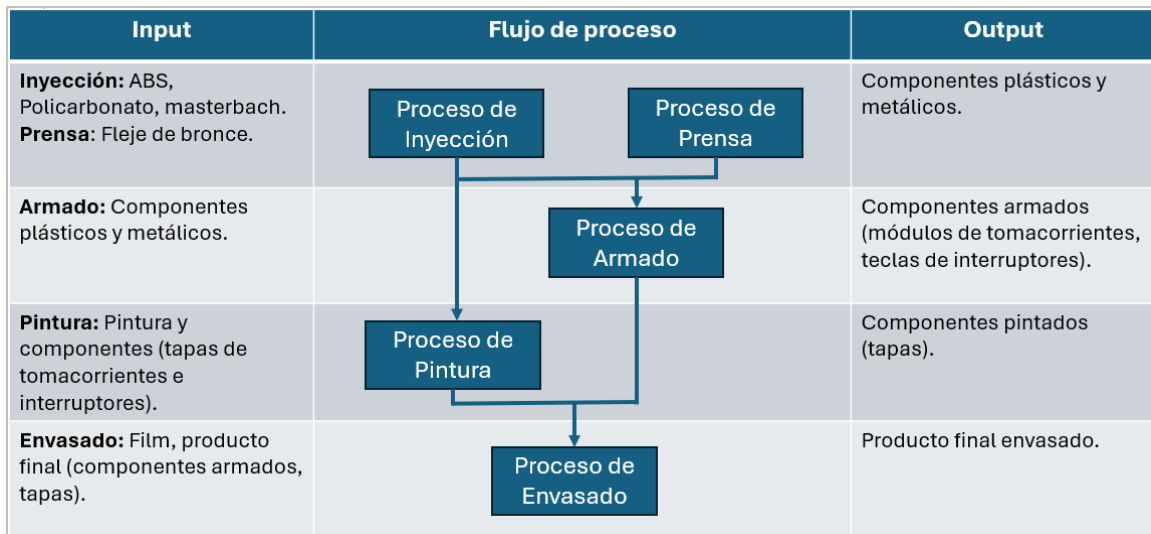


Figura 2: Flujo de los procesos principales de la fabricación de tomacorrientes e interruptores en Planta Santiago.

Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.1 Inyección

La inyección de plástico por moldeo es uno de los procesos más utilizados en la industria del procesamiento del plástico, y su producción en masa es de suma importancia para sectores industriales tales como la industria automotriz, electrónico, eléctrico, y otros, debido a su bajo costo de producción.

Este proceso de manufactura consiste en la fabricación de productos a través de la inyección a alta temperatura y presión de una mezcla de polímeros y resinas, dándole forma a través de moldes predefinidos.

A continuación, se presentará algunas de las ventajas y desventajas de la inyección de plásticos.

| Ventajas                                | Desventajas                            |
|---|--|
| Producción en masa                      | Alta inversión (fabricación de moldes) |
| Acabados superficiales (lisos, rugosos) | Limitaciones de tamaño                 |
| Nivel de detalle (diseño)               | Problemas de calidad                   |
| Velocidad de producción                 | Más productos, más moldes              |
| Bajo costo por pieza                    | Alto consumo de energías               |

Tabla 1: Ventajas y desventajas del proceso de inyección de plástico por moldeo.

Fuente: Elaboración propia.

Planta Santiago cuenta con un taller de inyección compuesto principalmente por 20 inyectoras, todas hidráulicas, y 200 moldes, entre ellos de colada caliente y colada fría. Se rige bajo un plan de producción semana donde los controles de calidad se realizan al inicio y durante la producción. La validación de calidad es sumamente importante antes de iniciar la producción en masa ya que así evitamos la producción masiva de componentes defectuosos, y por tanto un desperdicio.

A continuación, presentaran los principales activos del proceso de inyección.

| Equipo/Máquina      | Función principal  |
|---------------------|--|
| Máquina Inyectora   | Calentar el material plástico para que sea inyectado en un molde para la formación de piezas.  |
| Molde               | Es la herramienta donde se le da forma sólida al material plástico fundido.  |
| Robot               | Automatiza la extracción de las piezas terminadas del molde.   |
| Equipo masterizador | Mezcla homogéneamente el material plástico con concentrados de color o aditivos, para obtener las propiedades y características deseadas en las piezas inyectadas. |
| Equipo de secado    | Elimina la humedad en los granos de plásticos antes de ser procesado.  |
| Termorregulador     | Controla y estabiliza la temperatura interna del molde durante el proceso de inyección para garantizar un enfriamiento uniforme de las piezas.                     |
| Equipo de aspirado  | Transporta automáticamente los granos de plásticos desde contenedores de material seco hasta la tolva de la maquina inyectora.                                     |

*Tabla 2: Activos del proceso de inyección y su función principal.*

*Fuente: Elaboración propia.*

### 2.2.2 Prensa

Históricamente la prensa ha sido utilizada para actuar sobre distintos materiales, ya sea en frío o en caliente, y para ejercer fuerza para distintas actividades como exprimir, forjar, embutir, extrusión, laminar, estirar. La evolución de este tipo de mecanismo no ha sido de una sola línea, ya que ha combinado distintas tecnologías para desarrollar la variedad de prensas que se conocen hoy en día.

El proceso de prensado o troquelado combina la fuerza de una prensa y la precisión de matrices de corte para la realización de cortes y deformaciones progresivas en la materia prima procesada, que pueden ser hojas, planchas y flejes (rollos), de materiales como acero, aluminio, cobre, latón, entre otros.

A continuación, se presentará algunas de las ventajas y desventajas del prensado con matrices de corte progresivo.

| Ventajas                  | Desventajas            |
|---------------------------|------------------------|
| Producción en masa        | Desgaste de matrices   |
| Alta precisión            | Diseños complejos      |
| Operación semi automática | Alta inversión inicial |

*Tabla 3: Ventajas y desventajas del proceso de prensado con matrices de corte progresivo.*

*Fuente: Elaboración propia.*

En Planta Santiago se realiza el proceso de prensa para obtener los componentes metálicos de los productos finales que son necesarios para la conducción de la electricidad. Cuenta con tres prensas de accionamiento neumático y una variedad de 50 matrices. Los componentes principales fabricados en este proceso son piezas metálicas de bronce (aleación de cobre y estaño). Los controles de calidad se realizan al inicio y durante el proceso, al igual que el proceso de inyección, el prensado requiere una validación de calidad antes de inicio de producción, evitando la producción de desperdicios.

A continuación, presentaran los principales activos del proceso de prensa.

| Equipo/Máquina             | Función principal   |
|----------------------------|---|
| Prensa Neumática           | Maquina encargada de entregar la fuerza (mediante aire comprimido) para realizar operaciones como corte, perforado, doblado en láminas de metal.    |
| Matriz de Corte Progresivo | Es una herramienta que realiza las operaciones de corte, perforado y conformado de la pieza de forma secuencial y continua, en una lámina de metal. |
| Alimentador de fleje       | Equipo que automatiza el avance del material (fleje metálico) hacia la prensa y la matriz.  |

*Tabla 4: Activos del proceso de prensa y su función principal.*

*Fuente: Elaboración propia.*

### 2.2.3 Armado

El proceso de armado es un proceso que ha sido estratégicamente externalizado, es decir, es realizado por proveedores externos de mano de obra, y requiere de la disponibilidad de componentes plásticos y metálicos previamente fabricados en los procesos anteriores (inyección y prensa). La externalización de el armado de componentes requiere de una planificación previa y está sujeto a la capacidad productiva del proveedor asignado para llevar a cabo aquel proceso. Una pequeña variación en la capacidad del proveedor externo puede perjudicar gravemente a la cadena productiva, generando incumplimiento en la entrega de producto final al cliente.

La responsabilidad y conocimientos para controlar los atributos de calidad del proceso de armado son entregados al proveedor para que durante el proceso se dé cumplimiento a los requisitos de calidad estipulados. Una vez entregado el material armado y devuelto a planta, el equipo de calidad se encarga de realizar una inspección de entrada, corroborando el correcto armado de los componentes para su validación y liberación para el siguiente proceso.

A continuación, se presentará algunas de las ventajas y desventajas de la externalización del proceso de armado.

| Ventajas             | Desventajas                                       |
|----------------------|---|
| Reducción de costos. | Riesgo de pérdida de control de calidad en origen |
|                      | Alta dependencia de la capacidad del proveedor    |

*Tabla 5: Ventajas y desventajas del proceso de armado.  
Fuente: Elaboración propia.*

## 2.2.4 Pintura

Al añadir a la cadena productiva procesos como el de pintado de los productos, la empresa conoce que esta operación agrega un valor inigualable a los ojos del cliente y es algo por lo que está dispuesto a invertir. El pintado no solo mejora la estética de los productos, sino que también proporciona protección frente a factores como la corrosión, desgaste, entre otros.

Sin embargo, el pintado es un proceso que trae como desafío el cumplimiento de ciertos requisitos en el ámbito legal, de salud y de seguridad. Los insumos, como pinturas y solventes, son altamente tóxicos e inflamables por lo que el manejo inapropiado de estos, pueden poner en riesgo la salud de quien opera la maquinaria o dispositivo de pintura.

A continuación, se presentará algunas de las ventajas y desventajas del proceso de pintura

| Ventajas                    | Desventajas                            |
|-----------------------------|--|
| Factor estético             | Riesgos a la salud y seguridad         |
| Protección                  | Mantenimiento frecuente                |
| Variedad de colores         | Gestión de residuos                    |
| Eliminar/disminuir defectos | Cumplimiento de normativas ambientales |

*Tabla 6: Ventajas y desventajas del proceso de pintado.  
Fuente: Elaboración propia.*

El proceso de pintura consiste en darle un acabado estético a la pieza o componente, que en este caso se trata de tapas plásticas que son previamente inyectadas en el proceso de inyección, para posteriormente pasar a este proceso.

El proceso de pintura es un proceso que requiere un control exhaustivo de calidad, contemplando atributos críticos que deben ser revisados para la validación del proceso y sus resultados en el pintado de la pieza. Al igual que en los procesos anterior los controles de calidad son realizados en cada etapa del proceso, desde la preparación del correcto color de la pintura, hasta el acabado final de la pieza pintada.

A continuación, presentaran los principales activos del proceso de pintura.

| Equipo/Máquina     | Función principal  |
|--------------------|--|
| Olla de pintura    | Almacena y mantiene la homogeneización de la pintura. También alimenta la pistola de pintura de la máquina de pintura.     |
| Máquina de pintura | Es el equipo encargado de aplicar pintura sobre la superficie del producto.  |
| Horno              | Facilita el secado de la pintura aplicada en la etapa anterior, acelerando el proceso mediante el uso de calor controlado. |

Tabla 7: Activos del proceso de pintura y su función principal.

Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.5 Envasado

El proceso de envasado es uno de los últimos procesos de la cadena productivas y es aquí donde se empaqueta el producto final, asegurando su protección y presentación al cliente, siendo ésta la forma final de cómo es presentado en el mercado.

A continuación, se presentará algunas de las ventajas y desventajas del proceso de envasado

| Ventajas                    | Desventajas              |
|-----------------------------|--------------------------|
| Factor estético             | Impacto ambiental        |
| Protección                  | Riesgos por mal envasado |
| Facilidad de almacenamiento |                          |
| Información y trazabilidad  |                          |

Tabla 8: Ventajas y desventajas del proceso de envasado.

Fuente: Elaboración propia.

El proceso comienza con la planificación semanal de los productos finales que serán envasados por la máquina envasadora. Cuando los productos ya han pasado por la máquina de envasado, estos pasan a ser empacados en cajas estándar, y una vez completado el pallet de cajas, este es embalado para ser finalmente despachado o almacenado en bodega.

A continuación, presentaran los principales activos del proceso de envasado.

| Equipo/Máquina      | Función principal   |
|---------------------|---|
| Máquina de envasado | Es el principal equipo del proceso de envasado, encargado de envolver el producto final en film y finalmente sellarlo.                        |
| Plato rotativo      | Es un equipo que dispone de un plato circular que gira a velocidad constante, organizando y distribuyendo los productos finales ya envasados. |
| Selladora de cajas  | Es el equipo encargado de cerrar y sellar las cajas de cartón con productos finales envasados dentro de ella.                                 |

Tabla 9: Activos del proceso de envasado y su función principal.

Fuente: Elaboración propia.

## 2.3 Áreas Soporte

### 2.3.1 Mantenimiento

En general el área de mantenimiento se encarga de mantener los equipos y maquinarias en condiciones óptimas de funcionamiento, evitando fallas, paradas no programadas y prolongando la vida útil de los activos. Ejecuta planes de mantenimiento preventivo, corrige averías, realiza inspecciones técnicas, gestiona repuestos y colabora en mejoras de confiabilidad.

Bajo los lineamientos de la empresa, la estrategia de mantenimiento se basa en el TPM o Total Productive Maintenance que principalmente busca que el mantenimiento no sea solo tarea del área técnica, sino una responsabilidad compartida entre todos los actores del proceso productivo. El modelo de mantenimiento se basa en la definición de pilares que permiten alcanzar la excelencia operacional. Uno de los pilares implementados en Planta Santiago es el Mantenimiento Autónomo, que involucra al operador del equipo en el mantenimiento básico del mismo. Aún queda trabajo por realizar para robustecer los otros pilares del TPM tales como el Mantenimiento Planificado, Mejora Enfocada, Gestión Temprana de Equipos, Formación y Entrenamiento Continuo, Gestión de la Calidad.

En Planta Santiago, el área de mantenimiento opera principalmente bajo un enfoque reactivo, ejecutando en su mayoría mantenimiento reactivo, es decir, actuando ante la ocurrencia de fallas más que previniéndolas. El mantenimiento preventivo solo se lleva a cabo cuando hay disponibilidad de recursos humanos, lo que compromete la continuidad operativa y expone los activos a una mayor tasa de fallos. La gestión del área no se basa en indicadores, ya que estos no son monitoreados ni utilizados como entrada para la toma de decisiones, lo que impide visualizar tendencias, planificar recursos ni optimizar el uso del presupuesto. Esta falta de proactividad y control limita la confiabilidad de los equipos y, por consecuencia, afecta la eficiencia general de la planta. Aun así, se realizan esfuerzos para mejorar el registro de las intervenciones, definiendo para algunos activos los modos de fallas comunes y así empezar a generar información histórica que permita un análisis más profundo y una trazabilidad de los modos de fallo.

### 2.3.2 Calidad

El área de calidad tiene como función asegurar que los productos cumplan con los requisitos establecidos, tanto internos como de cliente. Verifica dimensiones, acabados y funcionamiento a través de controles en proceso, inspecciones de producto terminado y auditorías. También gestiona no conformidades, acciones correctivas y mantiene la documentación técnica y normativas de calidad al día.

El área de calidad de Planta Santiago ha logrado avances significativos mediante la implementación de estrategias de control de proceso y producto que han sido eficaces, permitiendo una reducción notable en la tasa de piezas defectuosas en función del volumen total producido. Esto sugiere una comprensión adecuada de los puntos críticos de calidad y un compromiso creciente con la mejora continua. Si bien todavía existen oportunidades de robustecer la prevención temprana de fallas y fortalecer la trazabilidad de los defectos, el

impacto positivo sobre la reducción del retrabajo y el scrap es evidente, y aporta valor directamente a la productividad. Dentro de las estrategias de calidad se encuentra los Quality Basic (o básicos de calidad), que es un conjunto de herramientas y procedimientos que permiten el control de los procesos en el piso productivo. A esto le sumamos una auditoria de capas que permite evaluar el cumplimiento de los básicos de calidad.

### 2.3.3 Supply Chain

El área de Supply Chain (o Cadena de Suministro) coordina la planificación, abastecimiento, almacenamiento y distribución de los materiales necesarios para la producción, asegurando su disponibilidad en el momento justo y en las cantidades requeridas. Administra la relación con proveedores, el inventario de insumos y productos terminados, y optimiza el flujo de materiales tanto internamente como con clientes y proveedores. Su gestión efectiva garantiza la continuidad del proceso productivo, evita quiebres de stock y contribuye a minimizar los costos asociados a inventarios y logística, alineando la producción con la demanda del mercado.

El área de Supply Chain desempeña un rol estratégico en la gestión integral de materiales, información y flujos logísticos, utilizando herramientas avanzadas como SAP para asegurar trazabilidad, control y eficiencia en toda la cadena de suministro. Esta área es responsable de ejecutar inventarios cíclicos y generales, con el objetivo de mantener la precisión de los registros y garantizar la disponibilidad oportuna de los materiales requeridos por producción. Además, trabaja de forma constante en la reducción de los costos de inventario, optimizando niveles de stock y evitando acumulaciones que generen capital inmovilizado. Supply Chain también impulsa mejoras en la planificación de la producción, considerando tanto los volúmenes esperados como la variabilidad del contexto operacional (cambios en demanda, suministro o condiciones internas), evaluando su impacto en el cumplimiento del programa de producción. Este enfoque permite mejorar la capacidad de respuesta ante desviaciones, fortaleciendo la continuidad operativa y el servicio al cliente.

### 2.3.4 Métodos

El área de Métodos e Ingeniería se encarga de analizar, diseñar y optimizar las condiciones de trabajo, y la secuencia de operaciones dentro de la planta. Define estándares operativos, estudia tiempos y movimientos, y colabora con producción para implementar mejoras que aumenten la eficiencia, reduzcan desperdicios y aseguren la ergonomía en el puesto de trabajo. También tiene un rol clave en la introducción de nuevos productos, modificando layouts o adaptando procesos existentes para una mejor integración. Esta área impulsa la mejora continua mediante herramientas como Lean Manufacturing, 5S y Kaizen, fomentando un entorno de trabajo más ordenado, seguro y eficiente.

El área desempeña un rol clave en la estandarización de procesos y búsqueda de eficiencia operativa. Su meta principal es alcanzar un OEE (Overall Equipment Effectiveness) superior al 75%, lo cual actualmente se cumple de manera parcial. La unidad se encuentra en un proceso de fortalecimiento de los registros de datos, análisis de “tiempos rojos” y depuración de pérdidas ocultas, avanzando hacia una cultura de mejora continua. Como parte de esta transición, está impulsando la implementación de RCA (Análisis de Causa Raíz) como

herramienta sistemática para abordar y eliminar desperdicios (Lean Manufacturing), lo que muestra una visión clara del camino hacia una operación más robusta y basada en datos.

## 2.4 Activos de Soporte Industrial

Estos equipos no intervienen directamente en la transformación del producto, pero son críticos para habilitar, sostener y optimizar las condiciones necesarias para que los procesos productivos ocurran de forma continua, segura y eficiente. Su mantenimiento y continuidad operacional es gestionada por una empresa externa, bajo el rol de Facilities.

A continuación, la Tabla 10 describe los principales equipos de soporte industrial en Planta Santiago:

| Equipo                        | Descripción del equipo   |
|-------------------------------|--|
| <b>Chiller</b>                | El Chiller es un equipo fundamental en el sistema de enfriamiento industrial, cuya función principal es reducir la temperatura del agua o fluidos térmicos utilizados en procesos productivos. En manufactura, es comúnmente utilizado para enfriar moldes de inyección, prensas, intercambiadores y sistemas hidráulicos, permitiendo controlar la temperatura de operación de los equipos y asegurar la calidad del producto final. Su correcto funcionamiento es clave para mantener estabilidad térmica y prevenir defectos causados por sobrecalentamiento.   |
| <b>Compresores</b>            | Los compresores industriales suministran aire comprimido a presión constante, utilizado como fuente de energía para múltiples aplicaciones dentro de la planta: accionamiento de cilindros neumáticos, válvulas, herramientas, sistemas de automatización, limpieza y secado. Representan un recurso transversal y crítico para la operación continua de líneas productivas automatizadas y semiautomatizadas. Su disponibilidad impacta directamente en la productividad de varios procesos.  |
| <b>Generadores</b>            | Los generadores eléctricos proveen energía de respaldo ante cortes o fallos en el suministro eléctrico principal, permitiendo mantener operativos los sistemas esenciales de producción, control y seguridad. En plantas críticas o con altos requerimientos de disponibilidad, los generadores son una medida indispensable para garantizar continuidad operativa y protección de activos e información ante eventos eléctricos inesperados.  |
| <b>Subestación de energía</b> | La subestación transforma la energía eléctrica de media tensión en baja tensión, ajustando los niveles de voltaje para su uso en procesos industriales. Es el núcleo de distribución energética de la planta, y su diseño, mantenimiento y monitoreo son vitales para evitar sobrecargas, desequilibrios de fase, caídas de tensión o interrupciones eléctricas que puedan afectar equipos sensibles o críticos para la producción.  |
| <b>Tableros Eléctricos</b>    | Los tableros eléctricos son componentes esenciales del sistema de distribución eléctrica en una planta industrial. Su función principal es distribuir, proteger, seccionar y controlar la energía eléctrica hacia distintos equipos, líneas de producción y sistemas auxiliares. Están compuestos por interruptores automáticos, contactores, relés térmicos, variadores de frecuencia, fuentes de alimentación, transformadores, borneras y sistemas de comunicación o monitoreo. Su correcto diseño, instalación y mantenimiento es clave para la continuidad operativa, eficiencia energética y seguridad eléctrica de la planta. |
| <b>Puente grúa</b>            | El puente grúa es un sistema de movimiento y elevación de cargas pesadas, utilizado para transportar moldes, componentes metálicos, repuestos o estructuras de gran tamaño dentro de la planta de forma segura y eficiente. Su uso es frecuente en zonas de mantenimiento, moldes de inyección, almacenamiento o ensamblaje pesado, permitiendo maniobras que requieren precisión y reducción del riesgo ergonómico.   |

*Tabla 10: Descripción de los principales equipos de soporte industrial para la continuidad de los procesos en Planta Santiago.*

*Fuente: Elaboración propia.*

## 3. Marco Teórico

### 3.1 Mantenimiento en la industria

El mantenimiento en la industria ha evolucionado de una actividad meramente reactiva a un elemento estratégico dentro de la gestión de operaciones. Su propósito principal es asegurar la disponibilidad, confiabilidad y seguridad de los activos físicos, garantizando la continuidad operacional y la eficiencia de los procesos productivos. En sectores altamente automatizados o con activos críticos, como la manufactura de componentes plásticos, el mantenimiento incide directamente en la productividad, los costos operacionales y el cumplimiento de plazos de entrega.

El mantenimiento no solo busca evitar fallas, sino también optimizar la disponibilidad, confiabilidad, productividad y vida útil de los equipos, reduciendo costos operativos y mejorando el rendimiento global del sistema productivo. Es común en algunos sectores considerar al departamento de mantenimiento como un centro de costos, pero actualmente muchas industrias definen su política de mantenimiento como un conjunto de estrategias que no solo permita mantener los equipos en operación en los niveles especificados, sino que también buscar el equilibrio entre la seguridad del funcionamiento y el costo de ineficiencia.

Su adecuada planificación e implementación tiene un impacto directo sobre indicadores clave como el OEE (Overall Equipment Effectiveness), el MTBF (Mean Time Between Failures), el MTTR (Mean Time To Repair), la Confiabilidad y Mantenibilidad del equipo.

### 3.2 Ingeniería y Mantenimiento

La ingeniería y mantenimiento constituyen un enfoque técnico-científico orientado a garantizar la disponibilidad, confiabilidad y eficiencia operativa de los activos industriales. A través de metodologías estructuradas, la ingeniería de mantenimiento se encarga del diseño, optimización y gestión de estrategias de mantenimiento, apoyando la toma de decisiones técnicas y económicas que aseguren la continuidad operacional al menor costo posible.

Esta disciplina integra análisis de modos de falla, planificación de intervenciones, modelamiento de confiabilidad y evaluación de costos de ciclo de vida, permitiendo alinear el mantenimiento con los objetivos estratégicos de la organización. En este contexto, la ingeniería de confiabilidad emerge como un pilar clave, al proporcionar herramientas para la mejora continua, la proyección de resultados operacionales y la selección de activos bajo criterios de desempeño y eficiencia global.

A nivel organizacional, la ingeniería de confiabilidad actúa como eje integrador entre mantenimiento y producción, promoviendo la cultura técnica, la innovación y el aprendizaje organizacional. Sus funciones abarcan desde la auditoría del estado del mantenimiento mediante indicadores clave (KPIs), hasta la incorporación de tecnologías, normativas y mejores prácticas, asegurando así una gestión robusta del mantenimiento en todo el ciclo de vida de los activos.

### 3.3 Tipos de Mantenimiento

El mantenimiento industrial puede clasificarse en dos grandes enfoques: reactivo y proactivo, según el momento de intervención respecto al fallo. Cada uno contempla diversas estrategias que pueden combinarse en función de la criticidad del activo, la disponibilidad de recursos, el historial de fallas y los objetivos de producción. La selección adecuada del tipo de mantenimiento tiene un impacto directo sobre los costos, la disponibilidad y la confiabilidad del sistema productivo.

#### A) Mantenimiento Reactivo

Corresponde a las acciones correctivas ejecutadas luego de que se ha producido una falla o pérdida de funcionalidad. Dentro de este enfoque se consideran:

- **Mantenimiento correctivo no planificado:** intervención de emergencia tras una falla inesperada. Puede provocar tiempos de inactividad prolongados, pérdida parcial de la o las funciones afectando el rendimiento, pérdidas de calidad o seguridad.
- **Mantenimiento correctivo planificado:** se conoce que el equipo está degradado o cerca del fallo, pero se decide postergar la intervención hasta que se produzca, porque resulta más económico o conveniente operarlo hasta el final de su vida útil (estrategia de tipo “run to failure” o RTF).

#### B) Mantenimiento Proactivo

El enfoque proactivo busca anticiparse a la falla, manteniendo los activos dentro de parámetros seguros y funcionales. Abarca múltiples estrategias, incluyendo:

- **Mantenimiento preventivo (Time-Based Maintenance):** tiene por objetivo la prevención y detección de fallas a través intervenciones periódicas basadas en tiempo, horas de uso o ciclos, e inspecciones que permitan verificar la correcta operación del equipo. Su planificación se basa en datos históricos, recomendaciones del fabricante o normativas.
- **Mantenimiento predictivo (Condition-Based Maintenance):** se realiza cuando se detecta un cambio en la condición del equipo pronosticando el punto futuro de falla de un componente del equipo, mediante el uso de sensores o técnicas de monitoreo como vibraciones, temperatura, análisis de aceite, ultrasonido o imágenes térmicas. Este enfoque permite intervenciones solo cuando son necesarias, evitando el sobre mantenimiento.

### 3.4 Indicadores de Mantenimiento

Los indicadores son esenciales para evaluar el desempeño de gestión del mantenimiento. Algunos de los más utilizados incluyen:

- **MTBF (Mean Time Between Failures):** Es el tiempo promedio de operación que transcurre entre dos fallas sucesivas de un sistema reparable.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de operación}}{\text{Número de Fallas}}$$

- **MTTR (Mean Time To Repair):** Es el tiempo promedio que tarda en realizarse una reparación desde que ocurre la falla hasta que el sistema vuelve a estar operativo.

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo total de reparación}}{\textit{Número de Fallas}}$$

- **Disponibilidad:** Mide la proporción del tiempo que un sistema está disponible para operar respecto al tiempo total considerado (operación + reparación).

$$\textit{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

o,

$$\textit{Disponibilidad} = \frac{\textit{Tiempo real de producción (RT)}}{\textit{Tiempo Programado (SPT)}}$$

- **OEE (Overall Equipment Effectiveness):** Eficiencia Global del Equipo. Es un indicador integral que evalúa la eficiencia de un equipo considerando disponibilidad, rendimiento y calidad. Refleja el porcentaje del tiempo productivo realmente aprovechado.

$$OEE = \textit{Disponibilidad} \times \textit{Rendimiento} \times \textit{Calidad}$$

- **Confiabilidad (R(t)):** Es la probabilidad de que un activo funcione correctamente durante un intervalo de tiempo específico, bajo condiciones de operación definidas.

$$R(t) = e^{-\lambda t}, \text{ donde } \lambda = \frac{1}{MTBF}$$

Estos indicadores permiten monitorear tendencias, tomar decisiones y justificar mejoras o inversiones.

### 3.5 Normativas

El mantenimiento industrial y la gestión de riesgos operacionales se encuentran regulados por normas internacionales que brindan lineamientos metodológicos y de buenas prácticas, permitiendo estandarizar procesos, aumentar la seguridad y mejorar la toma de decisiones. Dos normas relevantes en este contexto son la ISO 31000 (Gestión del Riesgo) y la ISO 45000 (Seguridad y Salud en el Trabajo)

#### **ISO 31000, Gestión del Riesgo**

Establece principios y directrices para la gestión de riesgos organizacionales, aplicables a cualquier área, incluyendo mantenimiento. Promueve la identificación sistemática de riesgos, su análisis, evaluación y tratamiento, facilitando la toma de decisiones informadas. En mantenimiento, permite priorizar recursos hacia activos o modos de falla que representan mayores amenazas para la operación.

#### **ISO 45000, Seguridad y Salud en el Trabajo**

Proporciona un marco de referencia para la gestión de la seguridad y salud ocupacional, clave en actividades de mantenimiento donde el personal está expuesto a intervenciones sobre

maquinaria, herramientas o sistemas energizados. Esta norma impulsa la evaluación de riesgos laborales, la planificación segura de tareas y el cumplimiento de requisitos legales, integrando la seguridad como un pilar del sistema de mantenimiento.

### 3.6 RCM. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

La razón de la adquisición de un activo es la realización de una función o funciones específicas y el cumplimiento de estas en el tiempo, a estas funciones se le denomina estado existente o estado deseado. Por ende, la definición de “Mantenimiento” es la preservación de este estado existente de los activos, porque alguien así lo requiere. Este requerimiento va a depender de donde y como se utilice el activo, por lo que, cuando hablamos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, no solo hablamos de asegurar que los activos cumplan sus funciones para las cuales fueron adquiridos, sino que también asegurar que el activo continúe con sus funciones en el contexto operacional que sus usuarios requieren que lo haga. La metodología RCM entonces, es utilizada para determinar qué se debe hacer para garantizar que un activo continúe desempeñando sus funciones en un contexto operacional determinado.

El RCM además de asegurar que se están haciendo las tareas correctamente, también se asegura de que se realicen las tareas correctas, determinando la cantidad mínima de tareas de mantenimiento para preservar las funciones de los activos físicos, y así optimizar la asignación de recursos de mantenimiento para el mejoramiento de la confiabilidad y disponibilidad. Esta metodología se convirtió de tal importancia que la American Society of Automotive Engineers publicó la norma SAEJA1011, “Criterio de Evaluación del Proceso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)”.

La norma SAEJA1011 presenta una estructura de como implementar el RCM para la elaboración de planes de mantenimiento que se basan en la confiabilidad de los activos, estableciendo los criterios mínimos para llevar a cabo la metodología con éxito. Especifica que para realizar el análisis de RCM deben responderse satisfactoriamente y en ese orden las siguientes preguntas.

1. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
2. ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
5. ¿Cuáles son las consecuencias si el elemento falla?
6. ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
7. ¿Qué debe hacerse si la falla no puede prevenirse?

Las primeras 4 preguntas también se le conoce como AMFE o Análisis de Modo de Fallas y Efecto, y busca identificar los distintos modos de falla de un activo para posteriormente determinar los efectos de estas fallas.

El conocer la funcionalidad de los activos físicos y sus elementos en su contexto operacional, sus posibles modos de falla y sus consecuencias, permite el entendimiento y una dirección de

los esfuerzos del equipo de mantenimiento para generar estrategias capaces de mejorar la confiabilidad y mantenibilidad de los equipos críticos.

### 3.6.1 Funciones y contexto operacional

Antes de iniciar cualquier estrategia de mantenimiento, es importante tener un claro entendimiento de las funciones del activo físico y de sus elementos, y de los parámetros asociados a estas funciones. La forma correcta de describir una función consiste en un objetivo, un verbo, un objeto y el nivel de funcionamiento deseado.

El nivel de funcionamiento deseado no puede estar por sobre lo que el activo es capaz de rendir, o también conocido como la capacidad inicial o confiabilidad inherente del activo. El deterioro es inevitable en el tiempo por lo que el mantenimiento se encarga de frenar el deterioro tomando acciones que mantengan en funcionamiento al activo el mayor tiempo posible.

La determinación de las funciones no está completa sin antes considerar el contexto operacional del activo, ya que este puede tener gran implicancia en la naturaleza de los modos de falla que pueden ocurrir, sus efectos y consecuencias. Si el nivel de funcionamiento es más exigente dado el contexto operacional, los estándares de mantenimientos también deben serlo.

El contexto operacional de un activo se ve influenciado por diferentes aspectos como factores ambientales (temperatura, presión, humedad, exposición a polvos o químicos), ciclos de trabajo (frecuencias, intensidad y duración de las operaciones), demandas de producción (capacidad, velocidad, volumen), estándares y normativas (seguridad, emisiones o niveles de calidad), entre otros.

### 3.6.2 Falla funcional y modos de falla

Hablamos de una falla cuando el activo pierde, completa o parcialmente, la capacidad de realizar la función deseada por el usuario. Como un activo por lo general tiene varias funciones, este puede verse afectado por diferentes fallas. El concepto falla funcional está dirigido a la pérdida de la función deseada del activo, y no como un todo.

Es de suma importancia que la definición de falla funcional dentro de un proceso sea manejada y entendida por cada agente que participe del proceso y se relacione con el activo. El estándar de funcionamiento (cuantitativo o cualitativo) define el nivel de mantenimiento proactivo para evitar la falla.

Por otro lado, a los eventos que causan el estado de falla (falla funcional) son denominados modos de falla, y la descripción de estos requiere el uso de verbos específicos que permitan seleccionar la estrategia más adecuada para la prevención del modo de falla. Los modos de falla son parte importante del análisis ya que conociéndolos podemos anticipar su ocurrencia y estar mejor preparados para cuando ocurra. Este tipo de mantenimiento se denomina proactiva, a diferencia del reactivo que significa tratar la falla después de que haya ocurrido, lo que se traduce a un uso ineficiente de los recursos de mantenimiento.

Existen tres categorías de modo de fallas:

- **Cuando la capacidad cae por debajo del funcionamiento deseado:** trata de situaciones en las que una vez el equipo cumpla con el nivel deseado, comienza a perder su capacidad, ya sea por deterioro (fatiga, corrosión, abrasión, erosión, evaporación, degradación de aislantes), falla de lubricación (falta de lubricante, falla del lubricante, lubricante incorrecto), polvo o suciedad, desarme (falla soldadura, chavetas, pernos, tuercas, remaches, entre otros) o errores humanos.
- **Cuando el funcionamiento deseado se eleva por encima de la capacidad inicial:** también denominado aumento del esfuerzo aplicado corresponde a situaciones donde el funcionamiento deseado aumenta y está por sobre la capacidad del activo, fallando de las siguiente dos maneras, la primera, llega un punto donde el activo simplemente no responde al requerimiento, y la segunda, el aumento del esfuerzo causa una aceleración en el deterioro del activo.
- **Cuando desde el comienzo el activo no es capaz de hacer lo que se requiere:** hace referencia a situaciones donde el funcionamiento deseado desde el diseño se considera fuera del rango de capacidad inicial y que se espera del activo, lo que se traduce a un aumento de la frecuencia de los fallos en una o más funciones o en uno o más componentes del activo.

### 3.6.3 Efectos de falla

Siguiendo con el análisis, una vez definidos los modos de falla, se procede a determinar lo que sucede al producirse estos, es decir, los efectos de falla describen que pasa cuando ocurre un modo de falla. Al describir estos efectos, deben incluir la evidencia de que se produjo la falla, la manera en que la falla es una amenaza, la manera en que afecta la producción, los daños físicos causados por la falla y lo que debe hacerse para repararla.

Es importante que los efectos sean observables, medibles y documentados de manera detallada para apoyar el análisis de las consecuencias y la determinación de las estrategias adecuadas para reponer o evitar la pérdida de la función. Es deseable que la descripción de estos efectos de falla esté acompañada de información técnica que permita evaluar la gravedad de los efectos y sus consecuencias tanto económicas como ambientales o de seguridad.

### 3.6.4 Consecuencias de falla

Ya definimos que ocurre cuando estamos frente a una falla funcional, por lo que queda definir la naturaleza y la gravedad de estos efectos, es decir, cómo y cuánto importa lo ocurrido. Esta definición es sumamente importante ya que de eso depende el nivel de esfuerzos que realizará el área de mantenimiento para minimizar, evitar o eliminar por completo las consecuencias del efecto de la falla.

Las consecuencias del efecto de un modo de falla se categorizan en 4 principales: consecuencias evidentes, que afectan directamente la producción y son fáciles de detectar; consecuencias ocultas, que no son visibles de inmediato, pero pueden causar fallos secundarios graves; consecuencias económicas, relacionadas al costo operacional; y consecuencias de seguridad y medio ambiente, que representan riesgos en la salud de las personas o el impacto ambiental.

La evaluación de las consecuencias se realiza considerando que no existen medidas correctivas o preventivas de los efectos de la falla, poniéndose en el peor de los casos. Las consecuencias, considerando el contexto operacional del activo, deben ayudar a justificar las estrategias y medidas correctivas o preventivas de mantenimiento que se definirán más adelante.

### 3.6.5 Prevención de fallas

Antes de comenzar a indagar en la prevención de fallas, primero se definirá el comportamiento habitual de una falla, lo cual nos permitirá un mayor entendimiento de como identificar el inicio de una, y el rango de “tiempo” que se tiene una vez identificado este punto. Así tendremos mucha más claridad de que tareas contendrán o evitarán completamente la falla. En la Figura 3 se presenta la curva P-F, y lleva este nombre ya que identifica gráficamente el punto en que se detecta el deterioro (punto “P”), y si este no es corregido pasa directamente al punto donde ocurre la falla funcional (punto “F”). Generalmente entre el punto “P” y el “F”, el deterioro se produce de forma acelerada por lo que es importante saber que hacer una vez se evidencia que estamos frente al punto “P”.

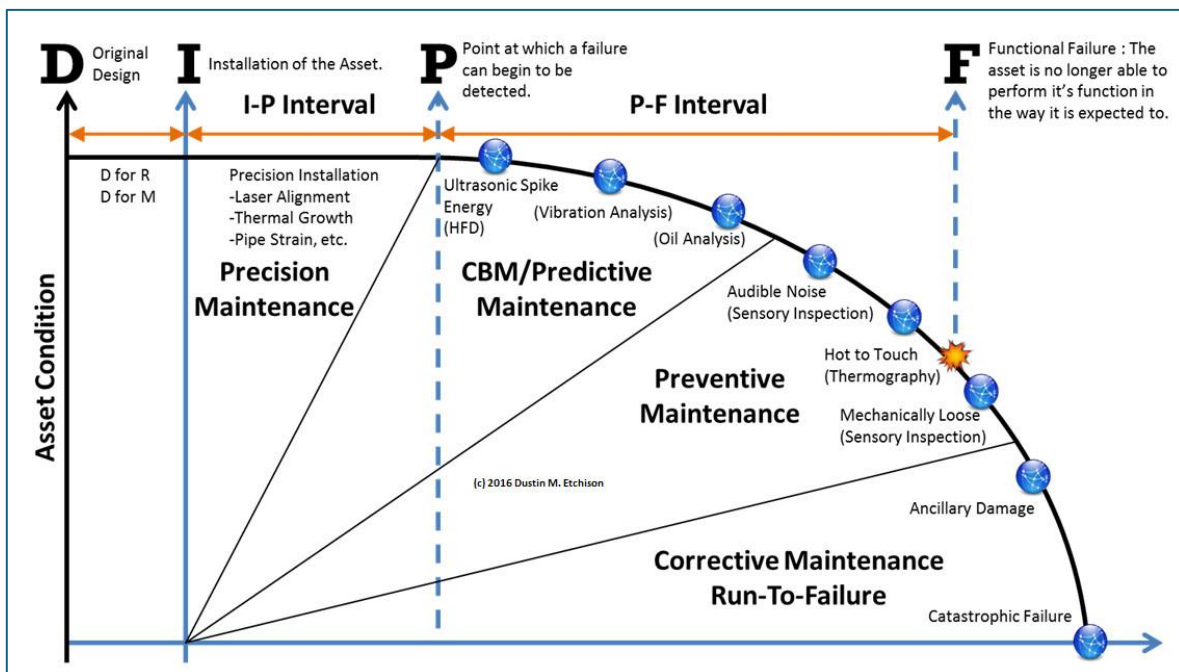


Figura 3: Curva P-F por Dustin M. Etchison.

Fuente: <https://production-technology.org/the-impact-of-equipment-reliability-on-human-safety/>

Una buena práctica para aminorar las detenciones en los activos es tener un enfoque sistemático para determinar tareas específicas para la prevención de estas fallas, en otras palabras, mantenimientos del tipo preventivo y/o predictivos. Estos deben alinearse con las consecuencias del modo de falla y priorizar aquellas que presenten mayor riesgo para la seguridad, el medio ambiente y la operación.

El mantenimiento preventivo tiene por objetivo evitar que los fallos ocurran, a través del despliegue de tareas de inspección, lubricación, reemplazos o restauraciones. Comúnmente responde a fallos que presentan patrones de deterioro, reemplazando componentes desgastados antes de que fallen, realiza lubricaciones periódicas, integrando buenas prácticas durante la operación, entre otros.

Por otro lado, está el mantenimiento predictivo que busca identificar fallos potenciales a través de análisis y monitoreo de las condiciones del equipo. Utiliza tecnologías como análisis de vibraciones, termografías, ultrasonidos, entre otros. Es una estrategia que cuando se trata de repuestos costosos, determina el momento adecuado para realizar el cambio, no antes, no después.

No todas las fallas pueden ser prevenidas, pero para aquellas que sí, se recomienda realizar los siguientes tipos de tareas:

- Tareas a condición o de inspección: Buscan identificar signos visibles o medibles de deterioro, como por ejemplo inspecciones visuales, medición de espesores, análisis de partículas, vibraciones, grietas. Estas tareas deben ser realizadas a intervalos menores que la curva P-F.
- Tareas de restauración o de reacondicionamiento cíclico: Buscan devolver la condición inicial del equipo mediante ajustes o reparaciones menores, por periodo definidos.
- Tareas de reemplazo o de sustitución cíclico: Sustituir a tiempo y de forma planificada componentes antes de que fallen, por periodo definidos, independiente de su condición en ese momento.

La sustitución y el reacondicionamiento cíclicos puede responder a una misma tarea, desde un diferente enfoque, es decir, el equipo se somete a una tarea de reacondicionamiento cíclico al cambiar un componente o elemento que esté cercano a la falla, pero desde el punto de vista del componente reemplazado, este pasa por una tarea de sustitución cíclica.

Otro punto importante para este tipo de tareas es la definición de las frecuencias, ya que la correcta determinación de estas, aseguran que las intervenciones se realicen el momento óptimo para prevenir la falla, minimizar las interrupciones y evitar la disminución del rendimiento del activo. Frecuencias mal definidas pueden resultar en un aumento de costos de mantenimiento, o pasar por alto indicadores de fallo inminente. Esta definición debe apoyarse de información entregada por el fabricante y completarse con datos históricos de falla e información entregada por el equipo técnico de mantenimiento y de los operadores de producción.

### 3.6.6 Hoja de Información y Hoja de Decisión

En este punto de la metodología se determinarán las tareas de mantenimiento adecuadas para las funciones definidas, haciendo uso de dos herramientas, la Hoja de Información y la Hoja de Decisión, siendo fundamental su uso para estructurar y documentar el análisis de fallas, asegurando la claridad y justificación de cada decisión.

La Hoja de Información (Figura 4) es el punto de partida del análisis RCM y tiene por objetivo recopilar datos relevantes sobre el activo, tales como funciones, fallas funcionales, modos de

falla y efectos. Permite mostrar la conexión y la diferencia entre los estados de fallas y los eventos que podrían causarlos.

| Hoja de Información RCM |  | Sistema    |  | Subsistema N°   |  | Facilitador   |  |
|-------------------------|--|------------|--|-----------------|--|---------------|--|
|                         |  | Subsistema |  | Fecha           |  | Hoja          |  |
|                         |  | Funciones  |  | Falla funcional |  | Modo de falla |  |
|                         |  |            |  |                 |  |               |  |

Figura 4: Formato hoja de información, RCM.

Fuente: John Moubbray (1997), *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*.

Por otro lado, tenemos la Hoja de Decisión (Figura 5) que utiliza los datos de la Hoja de Información para definir adecuadamente las tareas de mantenimiento en base al Diagrama de Decisión RCM presentado en la Figura 6, también incluye la evaluación de las consecuencias de los fallos.

| Hoja de Decisión RCM |    |    |   |   |   |   |    | Sistema                   |    |                             | Subsistema N° |    |    | Facilitador |    |                   |  |
|----------------------|----|----|---|---|---|---|----|---------------------------|----|-----------------------------|---------------|----|----|-------------|----|-------------------|--|
|                      |    |    |   |   |   |   |    | Subsistema                |    |                             | Fecha         |    |    | Hoja        |    |                   |  |
|                      |    |    |   |   |   |   |    | Referencia de información |    | Evaluación de consecuencias |               |    | H1 | H2          | H3 | Acción a falta de |  |
| F                    | FF | FM | H | S | E | O | O1 | O2                        | O3 | H4                          | H5            | S4 |    |             |    |                   |  |
|                      |    |    |   |   |   |   |    |                           |    |                             |               |    |    |             |    |                   |  |

Figura 5: Formato hoja de decisión, RCM.

Fuente: John Moubbray (1997), *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*.

La Hoja de Decisión está dividida en 16 columnas. Las columnas F, FF, FM identifica el modo de falla que se analizará (F: Función; FF: Falla Funcional; FM: Modo de Falla) correlacionándolo con lo ingresado en la Hoja de Información.

Las siguientes 10 columnas están relacionadas con el Diagrama de Decisión RCM (Figura 6). La columna H, S, E O y N contestan a lo relacionado a las consecuencias de cada modo de falla. Las siguientes columnas “H1 S1 O1 N1”, “H2 S2 O2 N2”, y “H3 S3 O3 N3” responden a si la tarea seleccionada es proactiva y de que tipo, tarea a condición, tarea de reacondicionamiento y tarea de sustitución respectivamente. Si ninguna tarea es lo suficientemente apropiada, es decir, la respuesta a las preguntas de las columnas anteriores

fue “No”, las siguientes tres columnas H4, H5 o S4 permite registrar las respuestas de las preguntas “a falta de”.

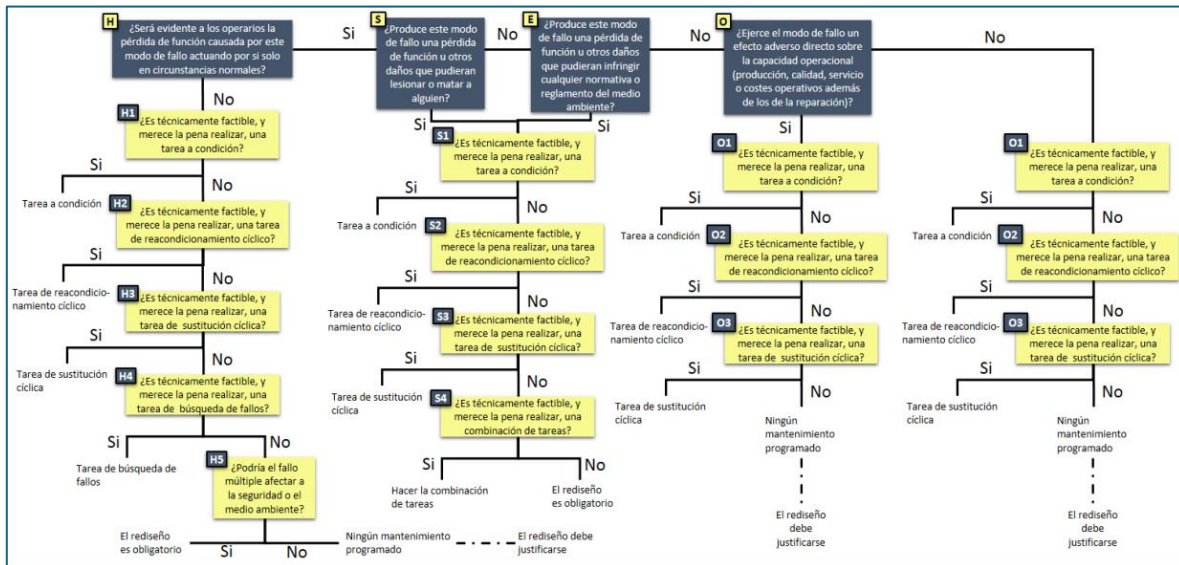


Figura 6: Diagrama de decisión RCM.

Fuente: John Moubray (1997), *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*.

Las 3 últimas columnas describen la tarea propuesta, el intervalo inicial y el responsable de ejecutar las tareas propuestas, respectivamente.

### 3.7 Modelo de Gestión de Activos y Mantenimiento

La gestión moderna del mantenimiento se estructura como un proceso cíclico y sistemático, cuyo propósito es asegurar la continuidad operacional de los activos físicos, optimizando su disponibilidad y reduciendo los costos asociados a su ciclo de vida. Este proceso se sustenta en el concepto de mejora continua y en una adecuada articulación entre niveles estratégicos, tácticos y operacionales dentro de la organización. Para ello, se requiere una estructura organizacional coherente, con responsabilidades bien definidas y metas alineadas al plan de negocio.

El modelo propuesto por Viveros et al. (2013) contempla siete etapas, desarrolladas de forma secuencial y con una lógica de retroalimentación continua. Estas etapas no solo orientan el diseño y ejecución de planes de mantenimiento, sino que también incorporan herramientas metodológicas que permiten una gestión sustentada en datos, análisis de criticidad, costos globales y decisiones estratégicas. Su implementación efectiva requiere disponer de información confiable sobre los activos, el contexto operacional, los indicadores de desempeño y la cultura técnica de la organización.

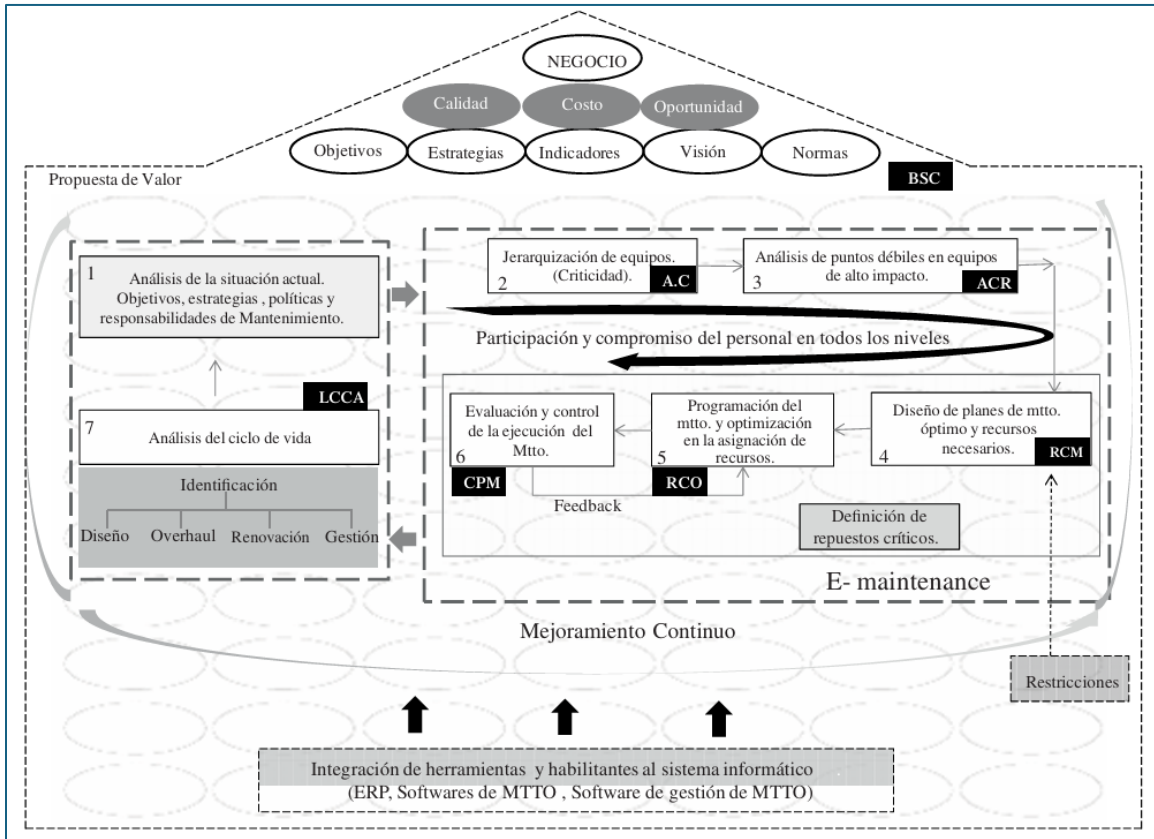


Figura 7: Modelo de Gestión de Mantenimiento.  
 Fuente: Revista Chilena de Ingeniería, Vol.21, 2013.

A continuación, se describirán las siete etapas del modelo:

**Etapa 1. Análisis de la situación actual. Definición de objetivos, estrategias y responsabilidades de mantenimiento**

Esta fase consiste en diagnosticar el estado actual de la gestión de mantenimiento, evaluando aspectos como planificación, programación, ejecución de tareas, indicadores (MTBF, MTTR), recursos asignados, y consecuencias de fallas. Su propósito es identificar brechas entre el desempeño actual y el deseado, definiendo objetivos, estrategias y responsabilidades. Dentro de las herramientas recomendadas está el benchmarking interno, análisis FODA y KPIs de mantenimiento.

**Etapa 2. Jerarquización de equipos**

En esta etapa se evalúan los activos en función de su criticidad, definida como el producto entre la frecuencia de fallas y su consecuencia. Existen diversos métodos de jerarquización o identificación de criticidades que evalúan el comportamiento del activo y el impacto de las fallas en distintos ámbitos (seguridad, calidad, capacidad, mantenibilidad, entre otros). Utilizar una matriz de criticidad suele ser una herramienta genérica para este análisis (Figura 8).

**MATRIZ DE CRITICIDAD**

|            |   |              |    |    |    |    |    |   |
|------------|---|--------------|----|----|----|----|----|---|
| FRECUENCIA | 1 | SC           | SC | C  | C  | C  | C  | C |
|            | 2 | SC           | SC | SC | C  | C  | C  | C |
|            | . | NC           | SC | SC | SC | C  | C  | C |
|            | . | NC           | NC | SC | SC | SC | C  | C |
|            |   | NC           | NC | NC | SC | SC | C  | C |
|            |   | NC           | NC | NC | NC | SC | SC | C |
|            | N | NC           | NC | NC | NC | SC | SC | C |
|            |   | 1            | 2  | .  | .  |    |    | M |
|            |   | CONSECUENCIA |    |    |    |    |    |   |

*Figura 8: Matriz genérica de criticidad.  
Fuente: Revista Chilena de Ingeniería, Vol.21, 2013.*

### **Etapas 3. Análisis de puntos débiles en equipos de alto impacto**

Con los equipos críticos semi-críticos identificados, se realiza una inspección técnica para detectar fallas recurrentes o crónicas. Este análisis busca comprender las causas físicas, humanas y organizacionales que generan dichas fallas, y en lo posible eliminar el modo de fallo a través de una acción correctiva. Para los casos donde el costo de eliminar el modo de fallo supere el costo por fallo, se recomienda encontrar las tareas que permitan controlar el modo de fallo para minimizar su impacto. La información y resultados recabados en esta etapa serán de gran utilidad para el análisis y diseño de planes de mantenimiento en las etapas siguientes. Algunos de los métodos utilizados para analizar puntos débiles de forma eficiente es el Análisis Causa Raíz (ACR).

### **Etapas 4. Diseño de planes de mantenimiento y recursos necesarios**

A partir de los modos de falla identificados a través de los datos recopilados del equipo a analizar, se diseñan tareas preventivas y predictivas en función de las necesidades reales de mantenimiento del activo en su contexto operacional, que sean técnica y económicamente viables. Aquí se implementa la metodología RCM (Reliability-Centered Maintenance) como herramienta estructural para definir funciones, fallas funcionales, modos de fallos, causas, consecuencias y tareas de mantenimiento.

### **Etapas 5. Programación del mantenimiento y optimización en la asignación de recursos**

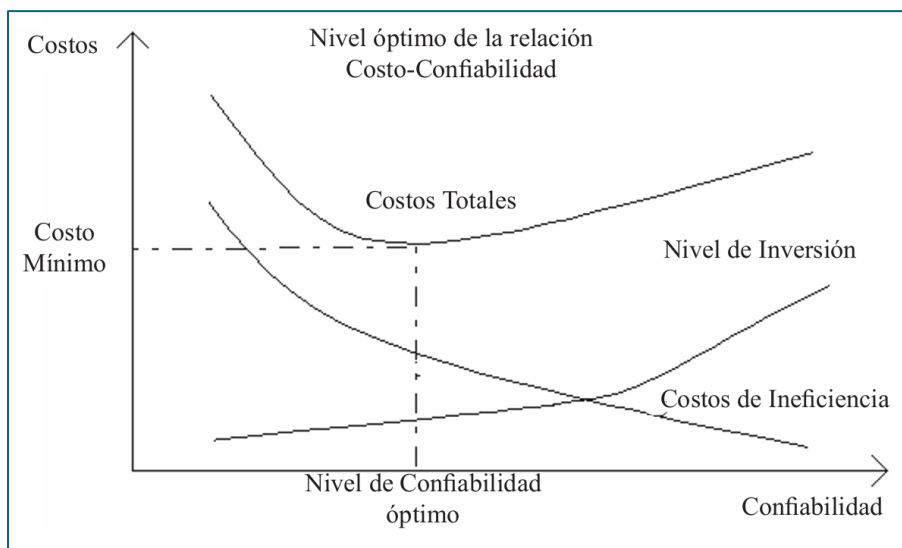
Se calendarizan las tareas diseñadas, considerando las ventanas de producción, disponibilidad de recursos y prioridades definidas. La programación se realiza a corto, mediano y largo plazo, buscando minimizar el costo de oportunidad y la indisponibilidad del activo.

### **Etapas 6. Evaluación y control de la ejecución del mantenimiento**

En esta etapa se deben monitorear las tareas ejecutadas y deben ser comparadas con lo planificado, analizando desviaciones, efectividad de las acciones y oportunidades de mejora. La calidad de los datos recolectados en terreno es esencial para garantizar el éxito del sistema, ya que la medición y control de la ejecución permite realimentar y optimizar los planes de mantenimiento mejorando de este modo su eficiencia y eficacia. Los documentos de captación de datos están dirigidos a los operarios y mantenedores, por lo que se recomienda que sea sencillos y estándares para así obtener datos útiles y fiables.

### **Etapa 7. Análisis del ciclo de vida y de la posible renovación de activos**

Finalmente, se evalúan los costos totales asociados al ciclo de vida de los activos (LCC), considerando inversión, operación, mantenimiento e ineficiencias. Como parte del enfoque de mejora continua, se recomienda realizar el análisis de costos del ciclo de vida (LCC) al menos una vez al año para los activos de mayor criticidad. Esta evaluación periódica permite actualizar los costos reales de operación y mantenimiento, contrastándolos con las proyecciones iniciales, y así detectar desviaciones significativas que podrían comprometer la eficiencia operativa del activo. Además, ofrece un soporte técnico y económico para la toma de decisiones estratégicas relacionadas con la extensión de vida útil, la reconfiguración de estrategias de mantenimiento o la eventual renovación del equipo. Este análisis también se alinea con la planificación anual de la producción y permite ajustar los recursos técnicos a las condiciones reales de demanda.



*Figura 9: Curva de costos globales.*

*Fuente: Arata A., A. (2009). Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales. Aplicación de la Plataforma R-MES. Chile: RIL editores.*

Un procedimiento normalmente utilizado para evaluar el financiamiento del costo de adquisición del activo y/o el de explotación durante la operación, es el cálculo del costo medio anual o CAE (Costo Anual Equivalente), que permite comparar distintos periodos de tiempo, como también distintas estrategias que requieran de una validación económica por sobre las otras opciones. Este método permitirá realizar una comparativa fundamentada en la proyección de costos operacionales de las estrategias presentadas y las proyecciones de la

demanda en un horizonte de tiempo definido. En la Tabla 11 se presenta un esquema estándar utilizado para analizar el reemplazo de un activo.

| Pasos | Descripción   |
|-------|---|
| 1 y 2 | Se indican los períodos y costos operacionales anuales, $C(t)$ , para cada uno de los $t$ períodos, Con $t: 1 \rightarrow n$  |
| 3     | Se calcula el factor de actualización " $f(t)$ ", para cada uno de los $t$ períodos utilizando:<br>$f(t) = \frac{1}{(1+i)^t}$ Considere " $i$ " como la tasa de descuento.  |
| 4     | Se calcula el valor presente de cada uno de los costos anuales, utilizando: $C(t) \times f(t)$  |
| 5     | Se acumular los valores presentes hasta el periodo determinando $n$ , utilizando:<br>$\sum C(i) \times f(i)$ , con $i: 1 \rightarrow t$   |
| 6     | Se calcula la inversión inicial con los valores presentes acumulados obteniendo los costos totales actualizados $Q(t)$ , donde $Q(t) = Q(t - 1) + C(t) \times f(t)$ . Considerar que $Q(t=0)$ corresponde al valor de adquisición del equipo. |
| 7     | Se calcula el $FRC$ para cada uno de los períodos, utilizando:<br>$FRC(T) = \frac{i \times (1 + i)^t}{((1 + i)^t - 1)}$   |
| 8     | Se calcula el costo medio periódico multiplicando el $FRC$ y los costos totales actualizados.<br>$FRC(t) \times Q(t)$   |

Tabla 11: Esquema para cálculo de período óptimo de reemplazo de equipo.

Fuente: Arata A., A. (2009). *Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales. Aplicación de la Plataforma R-MES*. Chile: RIL editores.

### 3.8 Modelamiento de la Confiabilidad

El modelamiento de la confiabilidad constituye una etapa clave en el diseño de estrategias de mantenimiento centradas en la función y el comportamiento real de los activos. Confiabilidad, entendida como la probabilidad de que un activo cumpla su función requerida durante un período de tiempo determinado y bajo condiciones operativas específicas, es un parámetro esencial en la toma de decisiones técnicas, económicas y de planificación operativa.

Para estimar y proyectar esta probabilidad de funcionamiento sin fallas, es fundamental recurrir a modelos matemáticos que permitan describir con precisión el comportamiento temporal de los modos de falla observados en los activos críticos. Entre las distintas distribuciones estadísticas disponibles, la distribución de Weibull se destaca por su versatilidad y capacidad para representar distintos tipos de comportamiento de fallas a lo largo del ciclo de vida de un activo (ver Figura 10).

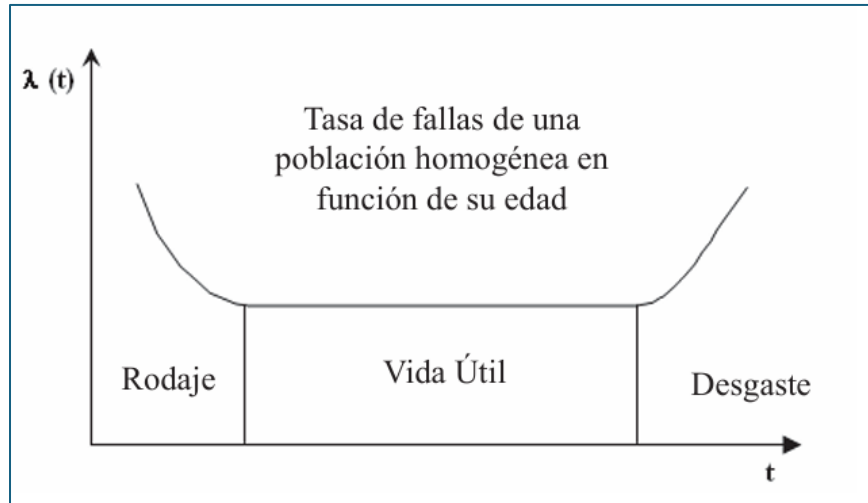


Figura 10: Representación del ciclo de vida de un equipo.

Fuente: Arata A., A. (2009). Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales. Aplicación de la Plataforma R-MES. Chile: RIL editores.

### Uso de la Distribución de Weibull para el Modelamiento de Fallas

El modelo de Weibull se define por dos parámetros principales:

- **β (forma):** Determina el comportamiento de la tasa de fallas.
- **η (escala):** Representa la vida característica, es decir, el tiempo en que aproximadamente el 63.2% de las unidades habrán fallado.

La distribución de Weibull es ampliamente utilizada en ingeniería de confiabilidad debido a que puede representar tres tipos de tasas de fallo distintas:

| Casos       | Interpretación   |
|-------------|--|
| $\beta < 1$ | Falla temprana (infant mortality). Tasa de fallo decreciente                             |
| $\beta = 1$ | Falla aleatoria. Tasa de fallo constante (equivalente a distribución exponencial).       |
| $\beta > 1$ | Falla por desgaste. Tasa de fallo creciente, típica de equipos en etapa avanzada de uso. |

Tabla 12: Interpretación de los valores de  $\beta$  en el modelo de Weibull.

Fuente: Elaboración Propia.

Obtenidos los parámetros  $\beta$  y  $\eta$ , es posible calcular la confiabilidad y la tasa de fallos representada a través de las funciones presentadas en la Tabla 13.

| Función       | Fórmula   |
|---------------|---|
| Confiabilidad | $R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$   |
| Tasa de falla | $\lambda(t) = \left(\frac{\beta}{\eta}\right) \times \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$ |

Tabla 13: Función  $R(t)$  y  $\lambda(t)$ , que representan la confiabilidad y tasa de fallo respectivamente, en función de  $t$ ,  $\beta$  y  $\eta$ .

Fuente: Elaboración Propia.

Donde:

- $R(t)$  es la confiabilidad en función del tiempo  $t$ .
- $\lambda(t)$  es la tasa de fallo en función del tiempo  $t$ .
- $\eta$  es el parámetro de escala (vida característica)
- $\beta$  es el parámetro de forma.

Dentro de las aplicaciones de Weibull en mantenimiento destaca:

- **Modelar modos de falla individuales:** Cada modo de falla identificado en un análisis RCM puede ajustarse con una distribución de Weibull para entender su comportamiento temporal.
- **Estimar confiabilidad residual del activo:** Permite determinar la probabilidad de funcionamiento sin fallas en un horizonte futuro.
- **Determinar intervalos óptimos de mantenimiento preventivo o predictivo:** Según el comportamiento de la tasa de fallo, se puede definir cuándo realizar reacondicionamientos, inspecciones o sustituciones.
- **Evaluar el impacto de mejoras técnicas:** Comparar el cambio en los parámetros  $\beta$  y  $\eta$  tras implementar acciones correctivas o mejoras permite validar su efectividad.

Para el cálculo de la confiabilidad general del activo en función de los modos de fallos que afectan el mismo se puede calcular utilizando la siguiente expresión:

$$R_{sistema}(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) = \prod_{i=1}^n e^{-\left(\frac{t}{\eta_i}\right)^{\beta_i}} = e^{-\sum_{i=1}^n \left(\frac{t}{\eta_i}\right)^{\beta_i}}$$

Donde:

- $R_{sistema}(t)$  es la confiabilidad del sistema o activo en el tiempo.
- $R_i(t)$  es la confiabilidad del modo de falla  $i$  en el tiempo  $t$ .
- $i$  corresponde al índice que identifica cada modo de falla, con  $i = 1, 2, \dots, n$
- $n$  corresponde al número total de modos de falla considerados.
- $t$  corresponde al tiempo de operación en el cual se desea calcular la confiabilidad del sistema o activo
- $\beta_i$  corresponde al parámetro de forma de la distribución Weibull para el modo de falla  $i$ .
- $\eta_i$  corresponde al parámetro de escala (vida característica) de la distribución Weibull para el modo de falla  $i$ .

De esta forma logramos una representación de la confiabilidad en función de los modos de fallos que generen detenciones. Es importante considerar que para utilizar esta expresión los modos de fallos deben ser independientes siendo este un caso típico de una configuración en serie, donde la confiabilidad total se calcula combinando las funciones de confiabilidad individuales.

### 3.9 TPM y Mejoramiento Continuo

La gestión moderna del mantenimiento no se limita a la ejecución eficiente de tareas técnicas, sino que también busca integrar a toda la organización en una cultura de mejora continua y excelencia operacional. En este contexto, el Mantenimiento Productivo Total (TPM, por sus siglas en inglés: Total Productive Maintenance) y los principios del mejoramiento continuo (Kaizen) se presentan como pilares fundamentales que complementan y refuerzan modelos de gestión como el basado en RCM (Reliability-Centered Maintenance).

El TPM es una filosofía de gestión originada en Japón y difundida por el Instituto Japonés de Mantenimiento de Plantas (JIPM), cuyo objetivo principal es maximizar la eficiencia global de los equipos a través de la participación de todos los niveles de la organización. A diferencia del enfoque tradicional donde el mantenimiento es responsabilidad exclusiva del área técnica, el TPM propone una gestión compartida del estado de los activos, promoviendo la autonomía, el orden y la prevención desde la operación.

TPM se basa en 8 pilares fundamentales, entre los cuales destacan:

1. **Mantenimiento autónomo:** el operador realiza tareas básicas como limpieza, inspección y lubricación.
2. **Mantenimiento planificado:** planificación estratégica para reducir tiempos de parada y aumentar disponibilidad.
3. **Mejora enfocada:** eliminación sistemática de pérdidas crónicas.
4. **Formación y entrenamiento:** desarrollo de competencias técnicas en todos los niveles.
5. **Gestión temprana de equipos:** incorporación de mantenibilidad y confiabilidad desde el diseño.
6. **Calidad mantenida:** evitar defectos a través del control del equipo
7. **TPM en áreas administrativas.**
8. **Seguridad, salud y medio ambiente.**

El modelo de gestión de mantenimiento basado en RCM y el enfoque TPM no son excluyentes, sino complementarios. Mientras el RCM aporta una estructura analítica para definir tareas de mantenimiento según modos de falla y consecuencias, el TPM proporciona una base cultural y operativa para que dichas tareas sean implementadas con compromiso transversal, especialmente desde el nivel operativo.

Las etapas 3 a 6 del modelo de Viveros et al. (2013) se ven directamente beneficiadas por la implementación de principios TPM:

- En el análisis de puntos débiles, la participación de operadores puede aportar datos claves para identificar fallas crónicas.
- En el diseño de planes de mantenimiento, el mantenimiento autónomo y la mejora continua permiten sostener intervenciones simples a nivel operativo.
- En la programación y ejecución, los pilares de formación y mejora enfocada aseguran que las tareas se ejecuten con disciplina, estándares y retroalimentación.

- En la evaluación y control, el uso de KPIs como OEE, tasa de fallas, y causas de paradas permite mantener el sistema en mejora continua.

## 4. Aplicación del Modelo de Gestión del Mantenimiento

### 4.1 Análisis Previo: Análisis cuali-cuantitativo de criticidad de los procesos productivos de Planta Santiago

En la sección actual se realizará un análisis de criticidad que busca priorizar una de las áreas productivas (inyección, prensa, envasado y pintura), para la aplicación del modelo de gestión del mantenimiento basado en el RCM, que buscará estratégicamente optimizar los recursos de mantenimiento para la mejora de la confiabilidad y mantenibilidad de los activos del área en cuestión.

Para efectos de este análisis el proceso de armado no será considerado debido a que es un proceso externalizado y el acceso a equipos destinados a proveedores están fuera del alcance del estudiante.

A continuación, se presentan los criterios seleccionados para realizar este análisis entre las áreas productivas y su puntuación varía entre 1 y 5.

| Criterio |                               | 1 (Bajo)          | 3 (Medio)                       | 5 (Alto)                                |
|----------|-------------------------------|-------------------|---------------------------------|---|
| 1        | Impacto en cadena productiva  | No afecta flujo   | Reduce parcialmente el flujo    | Detiene la línea o afecta a otras áreas |
| 2        | Impacto en calidad            | Sin impacto       | Genera retrabajo leve           | Afecta cumplimiento de especificación   |
| 3        | Impacto en seguridad          | Riesgo nulo       | Requiere control administrativo | Riesgo alto o catastrófico              |
| 4        | Capacidad productiva del área | < 5% de la planta | 5–20%                           | > 20% del total de producción           |
| 5        | Frecuencia de fallas          | < 1 al año        | 1–4 veces al año                | > 4 veces al año                        |
| 6        | Paradas no planificadas       | < 1 hora/año      | 1–10 horas/año                  | > 10 horas/año                          |
| 7        | Costo estimado de la falla    | <\$100.000 CLP    | \$100.000–\$500.000 CLP         | > \$500.000 CLP                         |

Tabla 14: Criterios y puntuación para análisis de criticidad de áreas productivas, Planta Santiago.

Fuente: Elaboración propia.

Ya asignada la clasificación del impacto de los criterios, se procede a determinar la criticidad de los distintos procesos llevados a cabo en Planta Santiago en función de los resultados dados por la suma de las puntuaciones de cada criterio (Tabla 15).

| Categorías           | Resultado |
|----------------------|-----------|
| Critico              | 28–35     |
| Medianamente critico | 18–27     |
| No critico           | <18       |

Tabla 15: Criterios del análisis de criticidad de áreas productivas, Planta Santiago.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 16 se presenta los resultados del análisis dejando en evidencia que el área con una criticidad alta corresponde al proceso de inyección, determinando de esta manera el área que finalmente será analizada para efectos de este trabajo.

| Área/Criterio | 1. Impacto en cadena productiva | 2. Impacto en calidad | 3. Impacto en seguridad | 4. Capacidad Productiva | 5. Frecuencia de las fallas | 6. Paradas no planificadas | 7. Costo estimado de la falla | Resultado | Categoría            |
|---------------|---------------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------------|-----------|----------------------|
| Prensa        | 5                               | 3                     | 3                       | 3                       | 5                           | 5                          | 3                             | 27        | Medianamente crítico |
| Inyección     | 5                               | 3                     | 3                       | 5                       | 5                           | 5                          | 5                             | 31        | Crítico              |
| Armado        | 3                               | 5                     | 1                       | 3                       | 1                           | 1                          | 1                             | 15        | No crítico           |
| Pintura       | 3                               | 5                     | 3                       | 3                       | 1                           | 1                          | 1                             | 17        | No crítico           |
| Envasado      | 3                               | 1                     | 3                       | 5                       | 3                           | 3                          | 3                             | 21        | Medianamente crítico |

Tabla 16: Resultados del análisis de criticidad según el proceso productivo y los criterios definidos.

Fuente: Elaboración propia.

## 4.2 Etapa 1: Análisis de la situación actual. Definición de objetivos, estrategias y responsabilidades de mantenimiento

### 4.2.1 Objetivos de Mantenimiento en la empresa

#### Objetivos estratégicos

- Garantizar la continuidad operativa de la planta disminuyendo los tiempos de inactividad de los procesos productivos.
- Reducir los costos operativos relacionados a falla y desviaciones durante la producción.
- Contribuir en proyectos asociados a sostenibilidad.
- Garantizar el aprendizaje continuo del personal con relación a la gestión de activos.

#### Objetivos tácticos

- Implementar una planificación y programación del mantenimiento de los activos que se alimente y actualice en base a la información histórica de fallas.
- Aumentar la disponibilidad de los activos mejorando la gestión de correctivos disminuyendo los tiempos de reparación.
- Trabajar en un sistema de gestión de repuesto que garantice un control en el inventario y la disponibilidad de estos.

#### Objetivos operativos

- Ejecución de la estrategia de gestión de correctivos y de la planificación de preventivos.
- Seguimiento y control de la ejecución de los mantenimientos autónomos por porte del área productiva.
- Monitoreo del uso y registro de órdenes de trabajo y del registro de horas invertidas en mantenimiento.

#### 4.2.2 Estructura organizacional del área

El área de mantenimiento está bajo las directrices del *Gerente de Calidad y Mantenimiento*, que se encarga de asegurar el cumplimiento de los estándares de calidad exigidos para los productos fabricados y la continuidad operacional de los procesos, y este a su vez se encuentra bajo la dirección del *director de Planta*, quien es responsable de la gestión integral de las operaciones en planta a nivel productivo, administrativo y comercial.

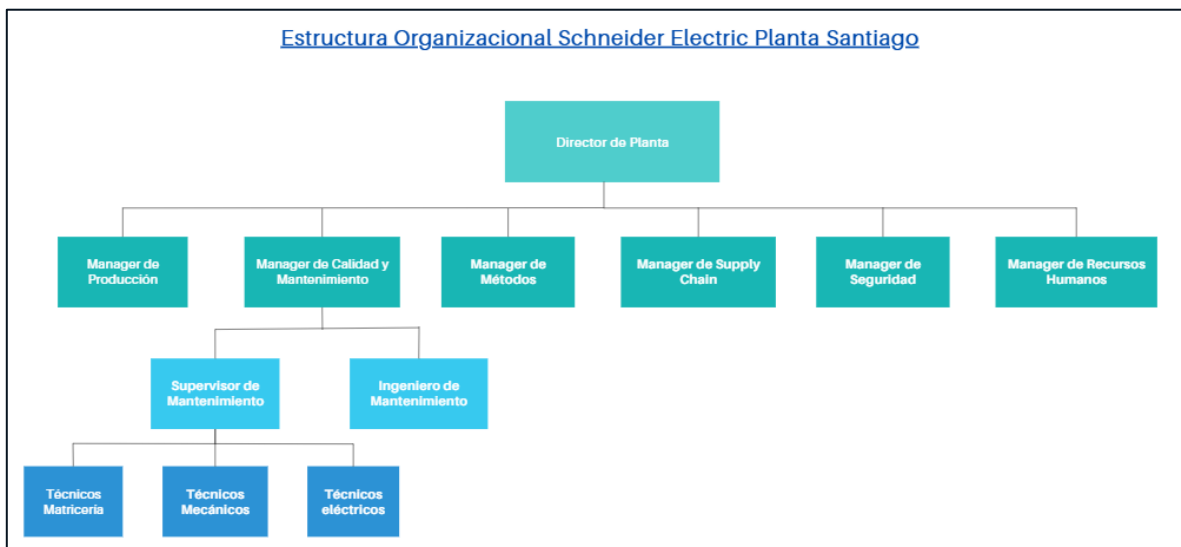


Figura 11: Estructura organizacional en Schneider Electric Planta Santiago.

Fuente: Schneider Electric, Recurso Humanos.

Para la gestión de mantenimiento, la planta cuenta con un Ingeniero en Mantenimiento y un Supervisor de Mantenimiento. El ingeniero de mantenimiento debe diseñar, planificar y optimizar las estrategias de mantenimiento de los activos de planta para asegurar la continuidad operativa y maximizar la disponibilidad de los activos. Por otro lado, el supervisor de mantenimiento es quien se encarga de coordinar las actividades diarias del equipo de mantenimiento, del tipo correctivas, preventivas y/o predictivas.

El área cuenta con dos sub-áreas, la primera, “Mantenimiento”, que se encarga de ejecutar el mantenimiento del tipo mecánico y eléctrico en máquinas y equipos de los procesos tales como, máquinas inyectoras, envasadoras, correas transportadoras, termo-reguladores, entre otros. La segunda sub-área corresponde a “Matricería”, que dentro de su alcance está la mantención de herramientas capaces de crear y dar forma a las piezas o componentes requeridos, tales como moldes de inyección y herramientas de corte progresivo o matrices de corte.

| Personal de mantenimiento          | Cantidad |
|------------------------------------|----------|
| <b>Supervisor de Mantenimiento</b> | 1        |
| <b>Ingeniero de Mantenimiento</b>  | 1        |
| <b>Técnico en Matricería</b>       | 3        |
| <b>Técnico Mecánico</b>            | 2        |
| <b>Técnico Eléctrico</b>           | 1        |

*Tabla 17: Personal de Mantenimiento en Schneider Electric Planta Santiago.*

*Fuente: Schneider Electric, Recurso Humanos.*

#### *Nivel de Mantenimiento dentro de la organización*

El área de mantenimiento no solo se encarga de cumplir con el soporte requerido por el área de producción durante la operación, sino que también cumple un rol estratégico en distintos aspectos: mantenimiento participa en la toma de decisiones asociadas a mejorar los niveles de eficiencia de los procesos; en el análisis de viabilidad y requerimiento para la producción de un nuevo producto; en el diseño de una nueva línea de producción; propone e impulsa iniciativas relacionadas a sostenibilidad como reducir el consumo energético de planta. Estas acciones posicionan al mantenimiento como un área de alto impacto en los objetivos de eficiencia y competitividad de la compañía.

Aunque el área de mantenimiento participa de ciertas decisiones estratégicas, existen oportunidades de mejora, como, por ejemplo, robustecer el diseño, planificación y programación de mantenimientos preventivos en sus activos críticos. Actualmente, aunque se ejecutan mantenimientos preventivos, estos no alcanzan el nivel requerido para garantizar la máxima disponibilidad de los equipos, lo que podría limitar el cumplimiento de los objetivos de producción y afectar indicadores clave como el OEE (Overall Equipment Effectiveness).

#### **4.2.3 Equipamiento del área de inyección**

El área mantenimiento es responsable de asegurar la continuidad operacional de los procesos desplegados en planta y garantizar que los activos estén disponibles, confiables y funcionando de manera óptima y segura.

La mantención de activos que están dentro su alcance considera inyectoras, equipos periféricos o de acondicionamiento y moldes de inyección. En las Tablas 18, 19 y 20 se entrega información sobre estos equipos.

| Máquinas Principales |              |        |               |            |           |
|----------------------|--------------|--------|---------------|------------|-----------|
| Tipo                 | Descripción  | Codigo | Marca         | Modelo     | Grupo     |
| Inyectora            | Inyectora 01 | IN-001 | ARBURG        | 920S       | G0 - 500T |
|                      | Inyectora 02 | IN-002 | ARBURG        | 720S       | G1 - 320T |
|                      | Inyectora 03 | IN-003 | ARBURG        | 720S       | G1 - 300T |
|                      | Inyectora 04 | IN-004 | ARBURG        | 720S       | G1 - 300T |
|                      | Inyectora 05 | IN-005 | ARBURG        | 720S       | G1 - 320T |
|                      | Inyectora 06 | IN-006 | ARBURG        | 720S       | G1 - 320T |
|                      | Inyectora 10 | IN-010 | TMC           | 150E       | G3 - 150T |
|                      | Inyectora 15 | IN-015 | TMC           | 90E        | G4 - 90T  |
|                      | Inyectora 16 | IN-016 | TMC           | 90E        | G4 - 90T  |
|                      | Inyectora 17 | IN-017 | TMC           | 90E        | G4 - 90T  |
|                      | Inyectora 18 | IN-018 | TMC           | 90E        | G4 - 90T  |
|                      | Inyectora 19 | IN-019 | TMC           | 90E        | G4 - 90T  |
|                      | Inyectora 20 | IN-020 | TMC           | 90E        | G4 - 90T  |
|                      | Inyectora 27 | IN-027 | HAITIAN       | SA 1600    | G3 - 160T |
|                      | Inyectora 28 | IN-028 | KRAUSS MAFFEI | KM40-90C2  | G5 - 40T  |
|                      | Inyectora 30 | IN-030 | BATTENFELD    | BA1000 CDC | G3 - 100T |
|                      | Inyectora 32 | IN-032 | ARBURG        | 520S       | G3 - 150T |
|                      | Inyectora 33 | IN-033 | ARBURG        | 420C       | G4 - 100T |
| Inyectora 34         | IN-034       | HAITAN | MA2000/G      | G2 - 200T  |           |

Tabla 18: Máquinas principales del área de inyección.

Fuente: Schneider Electric, área de mantenimiento.

| Equipos periféricos |                 |         |        |                        |
|---------------------|-----------------|---------|--------|------------------------|
| Activo              | Descripción     | Código  | Marca  | Modelo                 |
| Robot               | Robot Sepro 01  | RO-001  | SEPRO  | SR S5-25 S3 TRA        |
|                     | Robot Sepro 02  | RO-002  | SEPRO  | SR S5-25 S3 TRA        |
|                     | Robot Sepro 03  | RO-003  | SEPRO  | SR S5-25 S3 TRA        |
|                     | Robot Sepro 04  | RO-004  | SEPRO  | SR S5-25 S3 TRA        |
|                     | Robot Sepro 05  | RO-005  | SEPRO  | SR S5-25 S3 TRA        |
|                     | Robot Sepro 07  | RO-007  | SEPRO  | SR S5-25 S3 TRA        |
|                     | Robot Sepro 18  | RO-018  | SEPRO  | SR S5-1523 PRAINS      |
|                     | Robot Sepro 32  | RO-032  | SEPRO  | <i>Sin información</i> |
|                     | Robot Sepro 33  | RO-033  | SEPRO  | <i>Sin información</i> |
|                     | Robot Sepro 34  | RO-034  | SEPRO  | <i>Sin información</i> |
| Masterizador        | Masterizador 01 | MAS-001 | SIMAR  | FDM 5EX                |
|                     | Masterizador 02 | MAS-002 | SIMAR  | FDM 5EX                |
|                     | Masterizador 03 | MAS-003 | SIMAR  | FDM 5EX                |
|                     | Masterizador 04 | MAS-004 | SIMAR  | FDM 5EX                |
|                     | Masterizador 05 | MAS-005 | SIMAR  | FDM 5EX                |
|                     | Masterizador 06 | MAS-006 | SIMAR  | FDM 5EX                |
|                     | Masterizador 32 | MAS-032 | SIMAR  | FDM 5EX                |
| Secador             | Secador 01      | SEC-001 | SIMAR  | <i>Sin información</i> |
|                     | Secador 02      | SEC-002 | SIMAR  | <i>Sin información</i> |
|                     | Secador 03      | SEC-003 | SIMAR  | KTX70                  |
|                     | Secador 04      | SEC-004 | SIMAR  | <i>Sin información</i> |
|                     | Secador 05      | SEC-005 | SIMAR  | <i>Sin información</i> |
|                     | Secador 06      | SEC-006 | SIMAR  | <i>Sin información</i> |
|                     | Secador 32      | SEC-032 | SIMAR  | <i>Sin información</i> |
| Molino              | Molino 1        | ML-001  | Pulian | AH-160CE               |
|                     | Molino 2        | ML-002  | Enmair | EG-360                 |
|                     | Molino 3        | ML-003  | Enmair | EG-240                 |
|                     | Molino 4        | ML-004  | Enmair | EG-241                 |
|                     | Molino 5        | ML-005  | Enmair | EG-360                 |
|                     | Molino 6        | ML-006  | Enmair | EG-360                 |
| Aspiroplast         | Aspiroplas 1    | ASP-001 | SIMAR  | FX 2004                |
|                     | Aspiroplas 2    | ASP-002 | SIMAR  | FX 2004                |
|                     | Aspiroplas 3    | ASP-003 | SIMAR  | FX 2004                |
|                     | Aspiroplas 4    | ASP-004 | SIMAR  | FX 2004                |
|                     | Aspiroplas 5    | ASP-005 | SIMAR  | FX 2004                |
|                     | Aspiroplas 6    | ASP-006 | SIMAR  | FX 2004                |
|                     | Aspiroplas 32   | ASP-032 | SIMAR  | FX 2004                |

Tabla 19: Equipos periféricos del área de inyección.  
Fuente: Schneider Electric, área de mantenimiento.

| Moldes de Inyección  |            |
|----------------------|------------|
| Familia de productos | Cantidad   |
| Genesis              | 61         |
| Habit                | 31         |
| Miluz                | 14         |
| Orion                | 28         |
| Plasnavi             | 37         |
| Solutions            | 43         |
| <b>Total</b>         | <b>214</b> |

*Tabla 20: Resumen moldes de inyección del área de inyección.*

*Fuente: Schneider Electric, área de mantenimiento.*

#### 4.2.4 Flujo de proceso de Inyección

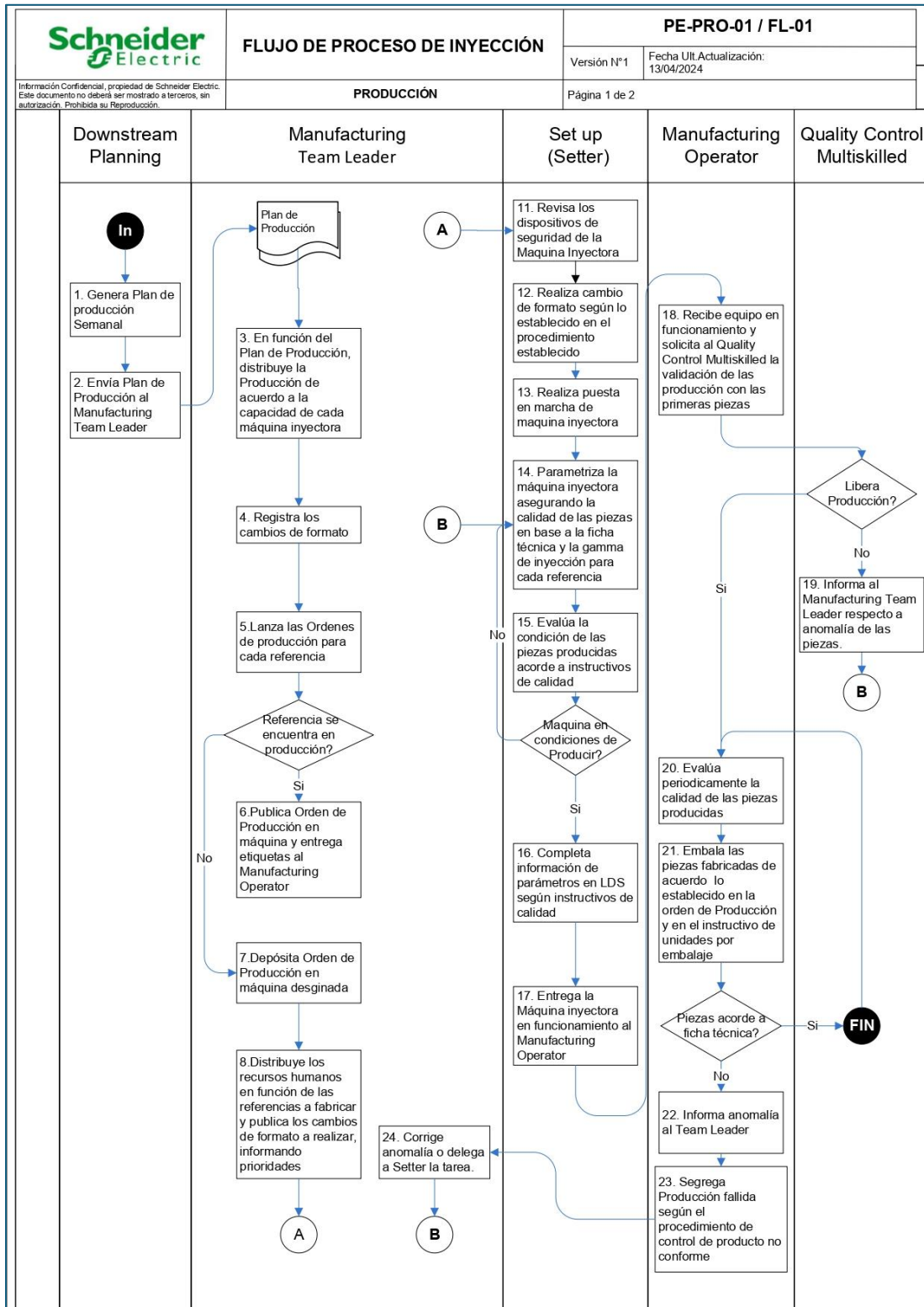


Figura 12: Flujo de proceso de inyección.  
Fuente: Schneider Electric, área de producción.

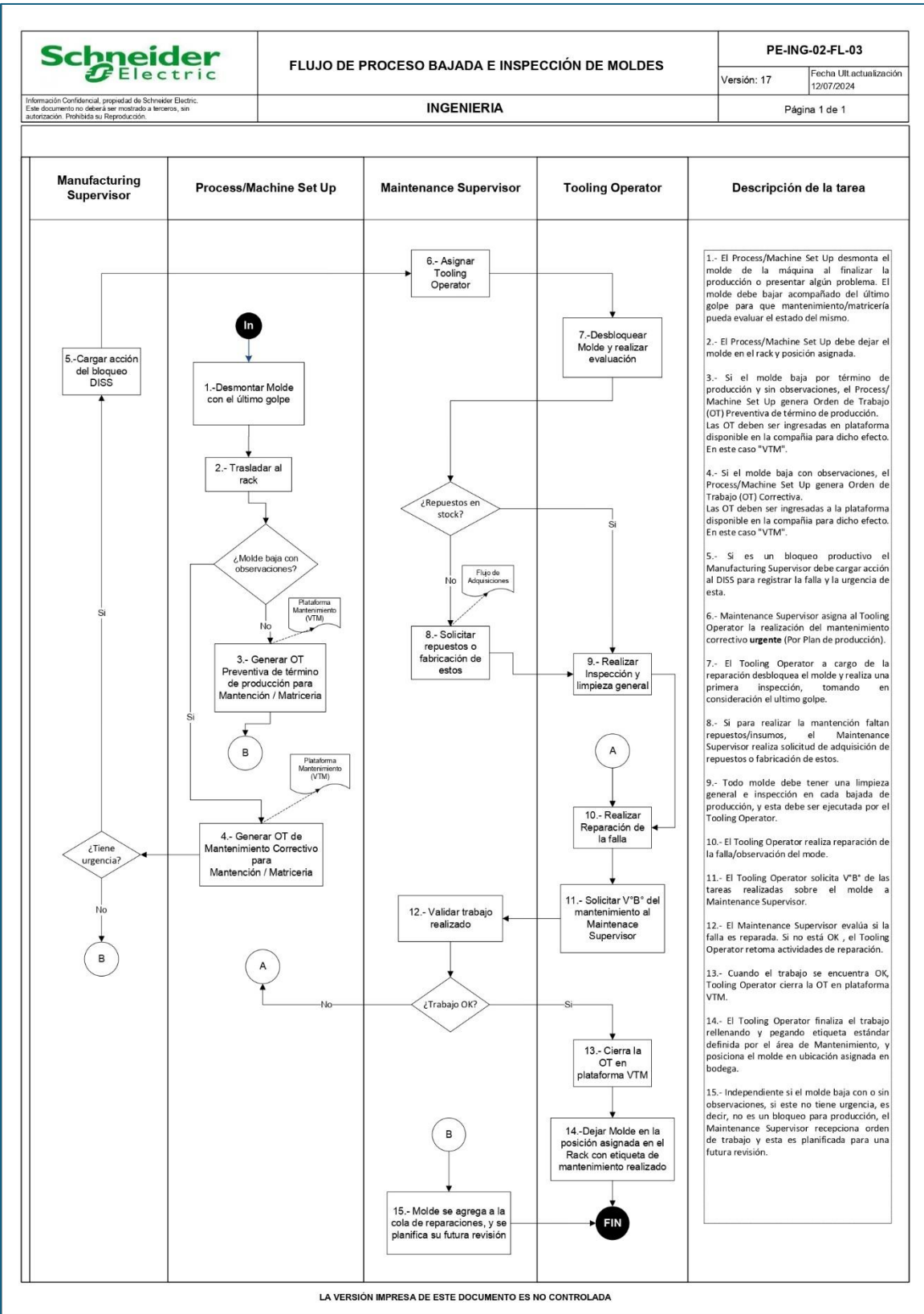


Figura 13: Flujo de proceso de bajada e inspección de moldes.

Fuente: Schneider Electric, área de ingeniería.

## 4.2.5 Gestión de la información

### **Barreras y bloqueos productivos**

Las *barreras y bloqueos productivos* son dos conceptos o situaciones reportadas por el área de producción que podrían estar afectando la continuidad operacional y con ello el cumplimiento de lo planificado, que trae por consecuencia un retraso en toda la cadena productiva (servicio al cliente). Estas situaciones deben ser atendidas y resueltas por las áreas soportes desplegadas en planta (mantenimiento, calidad, supply chain, recursos humanos, métodos y seguridad) según el nivel de urgencia de cada una.

La *barrera productiva* es una situación que podría poner en peligro la continuidad operacional. Es informada por el área de producción como una alerta preventiva que requiere atención y una resolución en el corto plazo. Si no es resuelta a tiempo puede impactar y detener la producción (paradas no planificadas).

El *bloqueo productivo* por otro lado es una situación o problema que detiene la producción (parada no planificada) generando retrasos y elevando los costos operacionales. Las áreas soporte deben ser capaces de entregar soluciones estratégicas a estos bloqueos para minimizar la detención (no calidad, indisponibilidad del activo, abastecimiento, falta de personal, entre otros). Un bloqueo productivo debe ser la máxima prioridad para las demás áreas y debe ser resuelto lo antes posible.

Una barrera productiva con el tiempo puede convertirse en un bloqueo productivo si no es atendido o resuelto en el plazo estimado una vez informada la situación.

### **Gestión de la información. Mantenimiento**

Una *falla* se considera *bloqueo productivo* solo si el activo se consideró dentro del plan de producción. Para mantenimiento un bloqueo productivo debe ser prioridad, y todos sus recursos deben estar dirigidos a la reparación de la falla.

Cuando mantenimiento es responsable de más de un bloqueo productivo es necesaria la priorización de las actividades correctivas a realizar. Para ello existen distintas instancias donde el personal encargado de la planificación de la producción se encarga de entregar la estrategia y priorización a mantenimiento para la ejecución de las reparaciones. El responsable de notificar una falla durante la operación es el área de producción por medio de la creación de órdenes de trabajo a través de las plataformas digitales para la gestión del mantenimiento (CMMS).

Para la gestión del mantenimiento de máquinas y equipos se utiliza el software llamado "Mantenimiento Fácil". Esta herramienta permite la creación y el ingreso de activos, equipos y repuestos, creación y cierre de tareas preventivas programables, creación y cierre de órdenes de trabajo que provengan de distintas fuentes (bloqueos productivos, seguridad, modificaciones, mejoras, entre otros). Este software es utilizado por los técnicos mecánicos y eléctricos.



Figura 14: Vista previa plataforma “Mantenimiento Fácil”.

Fuente: Schneider Electric, área de mantenimiento.

Para la gestión del mantenimiento de moldes se utiliza plataforma digital “VTM” (Vendor Tooling Management). A diferencia del software “Mantenimiento Fácil”, esta plataforma solo permite el ingreso del activo (molde), y la creación y cierre de órdenes de trabajo del tipo correctivas, preventivas, modificaciones y mejoras en el activo. Esta plataforma es utilizada por los técnicos matriceros.

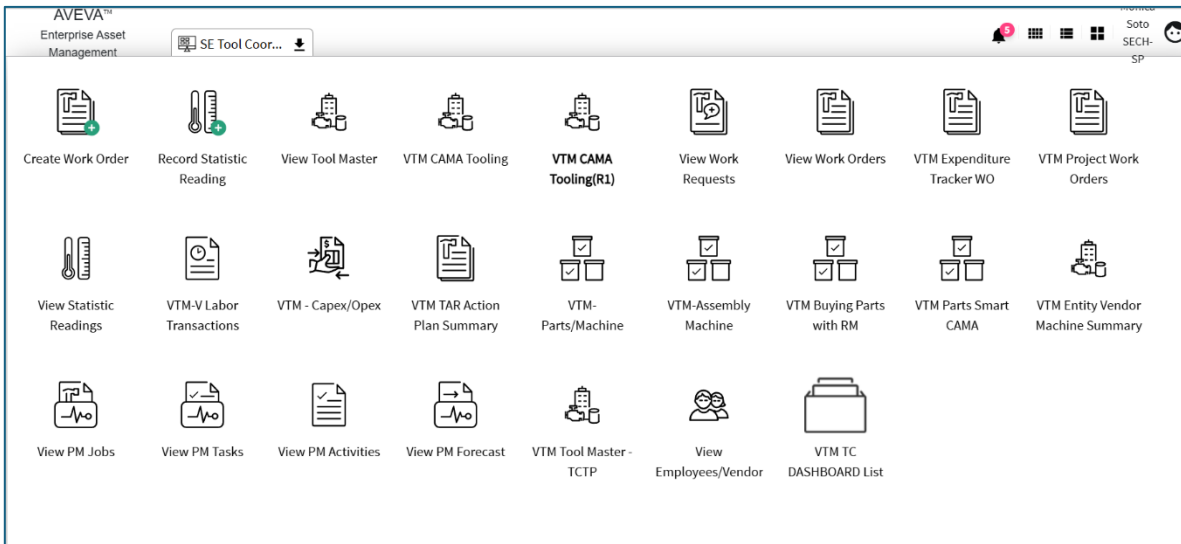


Figura 15: Vista previa plataforma “VTM”.

Fuente: Schneider Electric, área de mantenimiento.

La incorporación de herramientas digitales para la gestión del mantenimiento requiere de la adopción del uso de la herramienta en la rutina del área operativa, para el reporte de fallas y la creación de las órdenes de trabajo, y del área de mantenimiento, para el informe y cierre de

órdenes de trabajo. Esta adopción es un constante desafío para los estrategas del área de mantenimiento, constantemente se trabaja en impulsar el uso de las herramientas y mejorar la calidad de los datos.

#### 4.2.6 Planificación y programación del mantenimiento

Con los registros realizados por el área productiva, la compañía espera que con esta información el área de mantenimiento realice gestión de correctivos, cálculo y despliegue de KPIs, análisis de fallas y despliegue de planes de mantenimiento preventivo. Actualmente el área de mantenimiento tiene como desafío robustecer el análisis de datos para mejorar la respuesta de mantenimiento ante fallas inesperadas y utilizarlo para la construcción de planes de mantenimiento más eficientes y reducir el impacto de las fallas en la continuidad operativa.

Dentro del flujo de órdenes de trabajo correctivas reportadas por el área de producción, existen dos situaciones. Si la falla es un bloqueo productivo, este trabajo se torna prioridad, mientras que si la falla es reportada sin ser bloqueo productivo, este trabajo es dejado en espera hasta tener la capacidad para la ejecución de la reparación, o se le designe una prioridad dentro del total de órdenes de trabajo abiertas.

En mantenimiento existe un concepto utilizado en la gestión de órdenes correctivas y preventivas denominado “Backlog de Mantenimiento” y hace referencia a la cantidad de órdenes de trabajos pendientes por realizar. Actualmente el área de mantenimiento no cuenta con una gestión visual que concentre información relevante, y que ayude a gestionar y priorizar los trabajos pendientes. Una buena gestión visual concentra la siguiente información:

- Priorización de los trabajos (producción, seguridad, calidad)
- Origen de la falla (bloqueo productivo, seguridad, entre otros)
- Fecha estimada de inicio de la reparación
- Fecha estimada de entrega de la reparación
- Tiempo de reparación estimado
- Estado de la OT (En curso, en cola)
- Técnico asignado para la ejecución del mantenimiento

Hoy uno de los grandes desafíos del área del mantenimiento es lograr un flujo de información eficiente que logre contemplar estos puntos, dándole una visibilidad a nivel administrativo y gerencial. También obtener este tipo de información ayuda a los gestores del área a conocer el nivel de saturación o de demanda del área y con ello poder evaluar la posibilidad de contratar nuevo personal técnico.

#### **Moldes**

En cuanto a la planificación de mantenimientos preventivos de moldes, el área cuenta con una estrategia dirigida a mejorar la disponibilidad de moldes, ya que el rendimiento de estos se ve afectado por desviaciones o fallas durante la producción, afectando los indicadores de nivel de servicio y cumplimiento de los planes de producción.

Este plan de mantenimiento se caracteriza por designar una cantidad de tareas preventivas según la cantidad producida por el molde. Estas tareas permitirán aumentar la disponibilidad

del activo, anticipando y previniendo desvíos o fallas durante la producción. La periodicidad de estos mantenimientos se programa según la cantidad de ciclos que realiza el molde.

Se ha determinado tres tipos de mantenimientos preventivos para moldes:

- Mantenimiento Autónomo.
- Mantenimiento Preventivo Nivel 2.
- Mantenimiento Preventivo Nivel 3.

El mantenimiento autónomo es una cantidad de actividades que son ejecutadas por los operarios de producción, e incluye actividades como inspección, limpieza y lubricación de los moldes durante la producción, y la ejecución de estas son registradas por medio de un formulario. Estas actividades tienen por objetivo evidenciar a tiempo desviaciones antes de convertirse en una falla, generando una detención inesperada.

| Mantenimiento Autónomo Moldes   |  |   |   |   |  |
|---|--|---|---|---|--|
| 1. Formación de la pieza  | 1. Formación de la pieza                                 | 1. Formación de la pieza  | 6. Sistema de expulsión                         | 5. Sistema de Refrigeración                   | 5. Sistema de Refrigeración  |
| Cavidades   | Cavidades  | Cavidades   | Botadores                                       | Conectores/mangueras                          | Canales de refrigeración   |
| Inspección Visual:<br>Verificar visualmente las cavidades en busca de residuos de plástico, desgaste o daños. | Limpieza: Limpiar los residuos de plástico en cavidades. | Inspección y limpieza de cavidades: Eliminar restos de plástico de cavidades. | Comprobar visualmente: estado de los botadores. | Chequear el estado de conectores y mangueras. | Realizar drenaje y sopleteo de canales de refrigeración para eliminar el agua residual de agua de canales de refrigeración de molde. |
| Diario  | Diario   | Bajada de molde   | Bajada de molde                                 | Bajada de molde                               | Bajada de molde  |

*Tabla 21: Alcance del mantenimiento autónomo de moldes en Planta Santiago.*

*Fuente: Schneider Electric, Área de mantenimiento.*

El Mantenimiento Preventivo Nivel 2 se realiza una vez el molde haya terminado la producción planificada o luego de una cierta cantidad de ciclos ejecutados. Es llevado a cabo por los técnicos de matricería. Es alertado por medio de una orden de trabajo generada por el personal de producción e incluye comentarios relevantes de la últimas condiciones con las que trabajó el molde. Las actividades que contempla este nivel de mantenimiento preventivo son presentadas en la Tabla 22.

Este nivel de mantenimiento busca prevenir que el molde sea nuevamente inyectado con desviaciones de bajo impacto realizando una inspección general del estado del molde. Busca eliminar restos de plásticos en cavidades del molde, abolladuras en bebedero de molde, partes móviles sin lubricación, canales de refrigeración obstruidos, acoples del sistema de refrigeración dañados, entre otras desviaciones.

| Mantenimiento Preventivo de Moldes Nivel 2 |                              |  |
|--|------------------------------|--|
| Sistema                                    | Componente(s)                | Tarea  |
| 1. Formación de la pieza                   | Cavidades                    | Inspección y limpieza de cavidades: Eliminar restos de plástico de cavidades.<br>Revisar estado de pieza (último golpe).                                 |
| 2. Estructura y Soporte                    | Tornillo/Pernos              | Inspección de Tornillos y Pernos: Verificar que todos los tornillos y pernos estén bien ajustados y no haya piezas sueltas.                              |
| 3. Sistema de Inyección                    | Bebedero                     | Inspección de bebedero. Revisar si presenta abolladuras.   |
| 3. Sistema de Inyección                    | Canal de entrada de material | Inspección y limpieza de canal de entrada de material  |
| 4. Sistema de Guías y Centrado             | Guías y bujes                | Verificación de Alineación: Revisar los componentes de alineación (bujes, guías) para asegurarse de que no haya desgaste excesivo. Engrasar.             |
| 5. Sistema de Refrigeración                | Canales de refrigeración     | Verificación de Flujo: Comprobar el correcto flujo de agua en los canales de enfriamiento para asegurar que no haya obstrucciones (con pistola de aire). |
| 5. Sistema de Refrigeración                | Acoples                      | Chequear el estado de conectores . En caso de haber conectores en mal estado, realizar cambio.   |
| 6. Sistema de expulsión                    | Botadores                    | Revisión Completa: Desplazar placa botadora para inspección de botadores. Verificar el estado de estos y realizar reemplazo si corresponde.              |
| 6. Sistema de expulsión                    | Botadores                    | Lubricación: Aplicar lubricante a los botadores, contrabotadores y componentes móviles del sistema de expulsión.   |
| 7. Sistema de calefacción                  | Calefactores y termocuplas   | Pruebas de Funcionamiento: Realizar pruebas de funcionamiento de camara caliente (Control de temperatura, medición con Tester).                          |
| 8. Sistema de salida de gases              | Canales de salida de gases   | Inspección y limpieza de salidas de aire (gases).  |

Tabla 22: Alcance del mantenimiento preventivo nivel 2 de moldes en Planta Santiago.

Fuente: Schneider Electric, Área de Mantenimiento.

El Mantenimiento Preventivo Nivel 3 es programado por el área de mantenimiento y contempla cierta cantidad de ciclos acumulados por el molde. Para la programación de este nivel de mantenimiento, el planificador del mantenimiento considera los criterios entregados por la empresa para la definición de periodicidad de este nivel. Estos criterios se exponen en la Tabla 23. La propuesta de actividades a realizar en este nivel de mantenimiento es mucho más profunda que el nivel 2, ya que tiene por objetivo evidenciar y eliminar los signos de desgaste a causa del continuo uso del activo.

| Ciclos   | Categoría |
|--|-----------|
| Molding Tools L1 Regular (between every 10-50k cycles) | L1        |
| Molding Tools L2.1 (every 100k cycles)                 | L2.1      |
| Molding Tools L2.2 (every 300k cycles)                 | L2.2      |
| Molding Tools L2.3 (every 600k cycles)                 | L2.3      |
| Molding Tools L2.4 (every 900k cycles)                 | L2.4      |
| Molding Tools L2.5 (every 1,200k cycles)               | L2.5      |

Tabla 23: Criterio de mantenimiento según cantidad de ciclos del molde.

Fuente: Schneider Electric.

| Mantenimiento Preventivo de Moldes Nivel 3 |                            |  |
|--|----------------------------|--|
| Sistema                                    | Componente(s)              | Tarea  |
| 1. Formación de la pieza                   | Cavidades                  | Inspección y verificación de la calidad del acabado superficial de las cavidades para eliminar cualquier acumulación de residuos y mantener la superficie en óptimas condiciones (último golpe). |
| 1. Formación de la pieza                   | Cavidades                  | Inspección Dimensional: Verificar visualmente puntos críticos de las cavidades para detectar deformaciones. (Último golpe).  |
| 2. Estructura y Soporte                    | Placas                     | Desarmar y limpiar placas del molde.   |
| 3. Sistema de Inyección                    | Bebedero                   | Inspección de bebedero. Revisar si presenta abolladuras.   |
| 4. Sistema de Guías y Centrado             | Guías y bujes              | Verificación de Alineación: Revisar los componentes de alineación (bujes, guías) para asegurarse de que no haya desgaste excesivo.<br>Engrasar   |
| 5. Sistema de Refrigeración                | Acoples                    | Chequear el estado de conectores . En caso de haber conectores en mal estado, realizar cambio.   |
| 5. Sistema de Refrigeración                | Canales de refrigeración   | Pruebas de Flujo y Presión: Realizar pruebas de flujo y presión en los canales de enfriamiento para detectar posibles fugas u obstrucciones.   |
| 5. Sistema de Refrigeración                | Canales de refrigeración   | Limpieza de Canales: Realizar una limpieza de los canales de enfriamiento para eliminar depósitos de minerales y otros contaminantes.  |
| 5. Sistema de Refrigeración                | O-ring                     | Inspección y Reemplazo: Revisar los sellos para detectar fugas y reemplazarlos si es necesario.  |
| 5. Sistema de Expulsión                    | Botadores                  | Inspección/Reemplazo de Componentes Desgastados: Inspección y si requiere reemplazo de botadores y otros componentes móviles si muestran signos de desgaste.<br>Lubricar.                        |
| 7. Sistema de calefacción                  | Calefactores               | Pruebas de Funcionamiento: Realizar pruebas de funcionamiento de cámara caliente.<br>(Control de temperatura, medición con Tester)   |
| 8. Sistema de salida de gases              | Canales de salida de gases | Inspección y limpieza de salida de gases. En caso de deformación, recuperar forma de canales.  |

Tabla 24: Alcance del mantenimiento preventivo nivel 3 de moldes en Planta Santiago.

Fuente: Schneider Electric, Área de Mantenimiento.

## Máquinas y equipos

Para máquinas y equipos del área de inyección la planificación del mantenimiento ha sido realizada en dos niveles. Al igual que los moldes de inyección, también se ha desplegado actividades de mantenimiento autónomo, y también mantenimientos preventivos en función de la cantidad de horas operativas del activo.

Las tareas de mantenimiento autónomo para máquinas y equipos son ejecutadas por personas del área producción.

| Mantenimiento Autónomo Máquinas y equipos del área Inyección            |                      |       |            |  |
|---|----------------------|-------|------------|--|
| Tarea   | Frecuencia           | Turno | Equipo     | ¿Cómo?   |
| Inspección y limpieza plato móvil de la máquina.                        | Cada cambio de molde | AM    | Inyectora  | Utilizar limpiador Hasco Z 263 y lubricador Hasco Z 261 (alternativa alcohol).   |
| Inspección y limpieza plato fijo de la máquina.                         | Cada cambio de molde | AM    | Inyectora  | Utilizar limpiador Hasco Z 263 y lubricador Hasco Z 261 (alternativa alcohol).   |
| Limpiar anillo central.   | Cada cambio de molde | AM    | Inyectora  | Limpiar residuos del anillo central con bronce. Luego poner anticorrosivo (alternativa alcohol).   |
| Chequear fuga de material boquilla/ bebedero.                           | Diario               | AM    | Inyectora  | Verificar que no haya fuga de material entre boquilla máquina y bebedero molde. Realizar prueba de la hoja/cartón.   |
| Verificar sistema de lubricación.                                       | Diario               | AM    | Inyectora  | Verificar que los puntos rojos sobresalgan.  |
| Limpieza de filtro de succión de vacío. (Aspiroplas). Inyectora Arburg. | Semanal              | AM    | Aspiroplas | Realizar limpieza de filtro aspiroplas. Utilizar pistola de aire para la limpieza de filtro.   |
| Limpieza filtro Secador.  | Semanal              | AM    | Secador    | Realizar limpieza de filtro del secador. Utilizar pistola de aire.   |
| Limpieza y engrase de bujes y columnas. Inyectoras TMC y HAITIAN.       | Mensual              | AM    | Inyectora  | Limpiar con un paño el lugar y retirar suciedad. Engrasar todos los puntos con la bomba de engrase. Lugares inaccesibles, engrasar con la mano. Grasa EP-02. |
| Engrase sistema botador. Inyectoras TMC y HAITIAN                       | Mensual              | AM    | Inyectora  | Revisar sistema hidráulico y sellos. Grasa EP-02   |
| Control del nivel de aceite de lubricación. Inyectoras TMC y HAITIAN.   | Mensual              | AM    | Inyectora  | Cambiar aceite del sistema de lubricación de la unidad de cierre. Limpiar filtro filtro. Aceite Hidráulico ISO 20W50-40                                      |
| Limpieza de bandeja lado móvil molde. Inyectoras TMC y HAITIAN.         | Mensual              | AM    | Inyectora  | Limpieza de bandeja de aceite, retirar toda suciedad   |
| Limpieza y engrase de patines deslizantes.                              | Mensual              | AM    | Inyectora  | Limpiar la guía con un paño. Después de limpiar proceder a aceitar la guía.  |
| Inspección del estado de mangueras, manifold inyectora.                 | Mensual              | AM    | Inyectora  | Realizar inspección del estado de las mangueras instaladas en manifold de inyectora. De ser necesario, realizar cambio.                                      |

Tabla 25: Alcance del mantenimiento autónomo de equipos del área de inyección, Planta Santiago.  
Fuente: Schneider Electric, Área de Mantenimiento.

Las tareas de mantenimiento preventivo para máquinas y equipos son ejecutadas por personal técnico del área de mantenimiento. Existe una planificación y programación previa de los mantenimientos, pero falta robustecer la coordinación de paradas planificadas y el control de la ejecución de estos mismos. Actualmente se desconoce la tasa de cumplimiento del mantenimiento preventivo. El actual plan de mantenimiento, presentado en la Tabla 26, solo se basan en recomendaciones del fabricante, sin un análisis personalizado en función de los datos históricos y modos de fallos críticos.

| Mantenimiento Preventivo Máquina Inyectora |  |                                 |
|--|--|---------------------------------|
| Sistema                                    | Tarea  | Frecuencia (horas de operación) |
| Sistema hidráulico                         | Limpieza de filtros de aceite e hidráulico             | Cada 250 h                      |
| Sistema hidráulico                         | Verificación de fugas en mangueras y uniones           | Cada 250 h                      |
| Unidad de cierre/Unidad de inyección       | Lubricación de guías lineales y partes móviles         | Cada 250 h                      |
| Unidad de inyección                        | Inspección de resistencia de calefacción y sensores    | Cada 1.000 h                    |
| Unidad de cierre                           | Chequeo de alineación del plato móvil                  | Cada 2.000 h                    |
| Sistema eléctrico                          | Limpieza de tablero eléctrico                          | Cada 2.000 h                    |
| Sistema hidráulico                         | Reemplazo de sellos críticos (inyector + cierre molde) | Cada 4.000 h                    |
| Sistema hidráulico                         | Análisis de aceite (contaminación y viscosidad)        | Cada 4.000 h                    |

Tabla 26: Alcance del mantenimiento preventivo de máquina inyectora del área de inyección, Planta Santiago.

Fuente: Schneider Electric, Área de Mantenimiento.

## 4.2.7 Análisis de datos

### Gestión de históricos

Uno de los principales desafíos actuales entre las áreas de producción y mantenimiento consiste en reforzar la participación de los operarios en el registro oportuno de las órdenes de trabajo ante cualquier falla ocurrida durante la operación. La información generada por los usuarios directos del proceso es clave para alimentar la base de datos sobre la cual se construyen los indicadores de gestión del área de mantenimiento.

Aunque el área de mantenimiento presenta un flujo constante de órdenes tanto correctivas como preventivas, recientemente se ha comenzado a estructurar y utilizar esta información para la generación de indicadores clave como el MTBF (tiempo medio entre fallas), MTTR (tiempo medio de reparación) y la disponibilidad operativa, con el fin de apoyar la toma de decisiones estratégicas.

Actualmente, el enfoque está puesto en los dos activos principales del área de inyección: moldes e inyectoras. Se ha priorizado la generación de indicadores para los moldes, de modo que estos puedan ser considerados en la planificación semanal de la producción, así como en la mejora continua del plan de mantenimiento.

El equipo de mantenimiento entrega de forma semanal al área de planificación los indicadores de MTBF, MTTR y disponibilidad de moldes, información que se utiliza para definir la carga de trabajo del taller de inyección considerando la disponibilidad, el rendimiento y la calidad asociada a cada activo. La entrega de esta información se realiza mediante un dashboard interactivo, que además de mostrar los indicadores mencionados, proporciona datos históricos sobre la distribución de horas de mantenimiento, el porcentaje de mantenimiento correctivo y preventivo, y acciones de mejora implementadas (ver Figura 16).

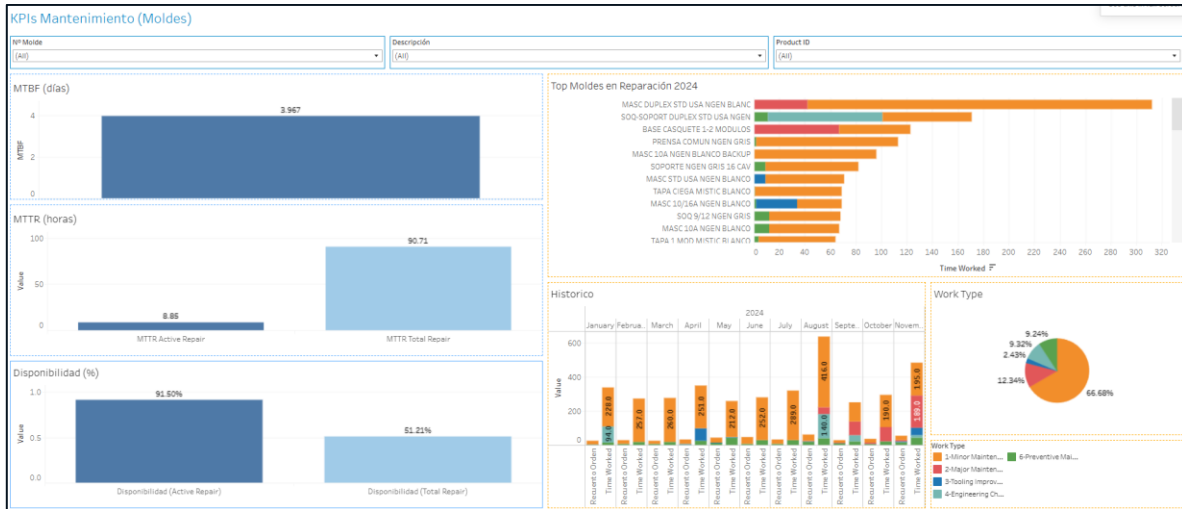


Figura 16: Dashboard de KPI de Moldes.  
Fuente: Schneider Electric, Área de Mantenimiento.

Cabe destacar que los objetivos del área de mantenimiento evolucionan en función de los lineamientos estratégicos de la compañía, por lo que existe un compromiso constante por optimizar la visualización, análisis y uso de los datos disponibles.

Finalmente, uno de los próximos desafíos clave será el despliegue de estos mismos indicadores para las inyectoras, activos igualmente críticos en el proceso de fabricación, asegurando así una visión integral del desempeño de los principales recursos productivos del área.

#### 4.2.8 Producción u operaciones

La disponibilidad, el rendimiento y la calidad de operación de las máquinas inyectoras, moldes y equipos periféricos impactan directamente en el cumplimiento semanal de los planes de producción. Para que el área de producción logre alcanzar las metas planificadas, es indispensable que los activos involucrados se encuentren en condiciones óptimas, que se disponga de materias primas a tiempo y que los recursos operativos estén correctamente coordinados.

La Figura 17 muestra la distribución de la producción semanal registrada durante el año 2024 para el molde 1733A, considerando un total de 32 semanas con actividad productiva. Como puede observarse, el 78% de las semanas se concentró en rangos de producción entre 20.000 y 100.000 piezas por semana, con el intervalo de 40.000 a 60.000 piezas como el más frecuente (25 % del total). Esta información es clave para proyectar la demanda operativa del activo, ya que permite establecer escenarios de confiabilidad y saturación realistas en función de los volúmenes más recurrentes, y evaluar la capacidad de respuesta del sistema ante cargas productivas mayores, menos frecuentes, pero operativamente críticas.

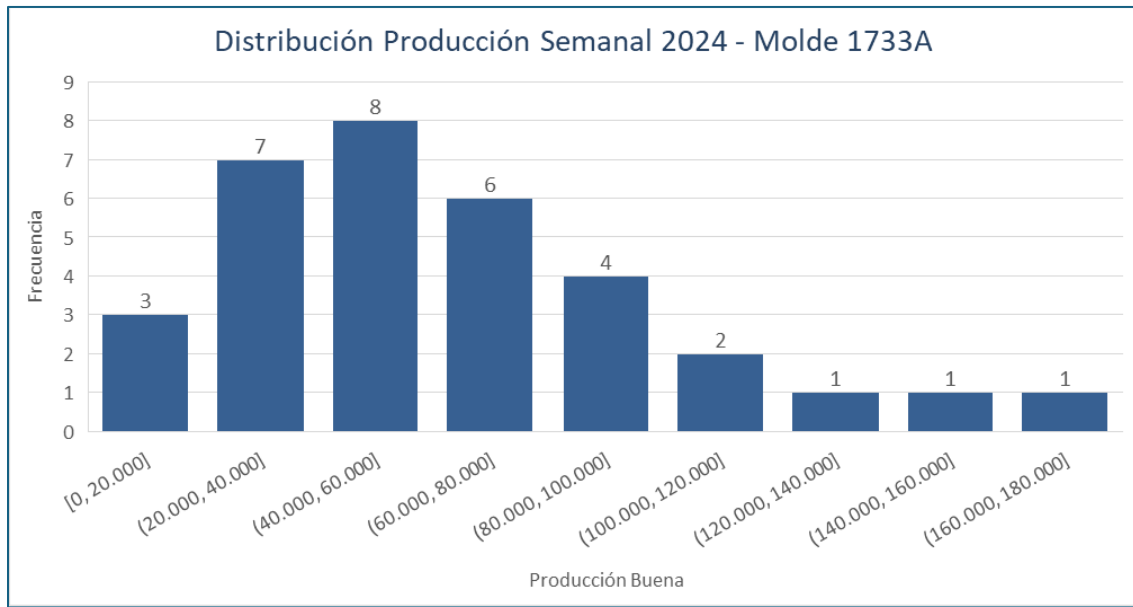


Figura 17: Distribución de la producción semanal 2024, del molde 1733A.  
Fuente: Schneider Electric, Área de Mantenimiento.

En la herramienta digital para el seguimiento de la producción, LDS (Lean Digitization System), además de registrarse la producción, también se registran las desviaciones o tiempos de inactividad relacionados a la producción de cada referencia (recordar que cada referencia está relacionada a un molde). Estas desviaciones pueden estar relacionadas a fallas de los activos, que tienen como consecuencia problemas de calidad, de rendimiento o simplemente de indisponibilidad de los activos. También se registran desviaciones relacionadas a logística, calidad de los materiales utilizados (ABS, policarbonato, masterbatch), falta de personal, entre otros. En las Tabla 27, 28 y 29 se presenta un listado de todas las razones de tiempo inactivo que pueden ser registradas.

| MANTENIMIENTO/SETEO                   |  |
|---------------------------------------|--|
| Tipos de tiempos inactivos            | Descripción  |
| Cavidades tapadas                     | Situación extraordinaria, donde el área de producción y el área de mantenimiento en conjunto deciden bloquear una cierta cantidad de cavidades.                          |
| Desvío tiempo por expulsión (botador) | Extensión del tiempo de expulsión debido a alguna anomalía (seteo, retención, botador defectuoso, entre otros)   |
| Falla de Molde                        | Falla general de molde.  |
| Falla eléctrica molde                 | Moldes con cámara caliente con falla del tipo eléctrica.   |
| Falla eléctrica máquina               | Falla del tipo eléctrica presentada en máquina inyectora.  |
| Falla de robot                        | Falla ocasionada en robot.   |
| Falla maquina                         | Falla general de máquina   |
| Filtración de agua en postizos.       | Situación que, de no ser reparada, obliga al setter a bloquear las pasadas de agua del molde, y con ello extender el tiempo de refrigeración de las piezas inyectadas.   |
| Filtración en conectores/mangueras.   | Situación que, de no ser reparada, obliga al setter a bloquear las pasadas de agua del molde, y con ello extender el tiempo de refrigeración de las piezas inyectadas.   |
| Cambio de formato/referencia          | Cambio de formato/referencia   |
| Cambio de Molde                       | Es cuando se retira un molde utilizado para la fabricación de un producto y reemplazarlo por otro.   |
| Desvío tiempo de ciclo                | Es cuando hay diferencia entre el tiempo de ciclo planificado y el tiempo de ciclo real que tiene el producto.   |
| Regulación molde                      | Se refiere al proceso de ajustar y configurar un molde utilizado en la fabricación para garantizar la calidad y precisión de las piezas producidas.                      |
| Regulaciones                          | Por lo general, estas regulaciones en el proceso incluyen parámetros como presión de inyección, velocidad, temperatura del material, tiempo de enfriamiento, entre otros |

*Tabla 27: Listado de razones de tiempo inactivo en el proceso de inyección relacionadas a mantenimiento o seteo/regulaciones.*

*Fuente: Schneider Electric, Área de Métodos.*

| GESTIÓN                    |  |
|----------------------------|--|
| Tipos de tiempos inactivos | Descripción  |
| Falla operacional          | Se refiere a un problema o disfunción en el funcionamiento de un sistema, equipo o proceso que afecta su desempeño normal. |
| Falta de personal          | Hace referencia a cuando la cantidad de empleados disponibles no son suficientes para cubrir las necesidades operativas.   |
| Gestión de personal        | Falta de planificación de recursos humanos (personal).   |

*Tabla 28: Listado de razones de tiempo inactivo en el proceso de inyección relacionadas a gestión.*

*Fuente: Schneider Electric, Área de Métodos.*



Tal como se ha señalado previamente, el área de mantenimiento es la encargada de gestionar el mantenimiento integral de todos los equipos de la planta, lo que incluye tanto los activos principales como los equipos de soporte y aquellos en condición de subarriendo, tales como compresores, generadores, chillers, entre otros. En consecuencia, el presupuesto del área debe incorporar también los costos correspondientes a servicios de mantenimiento externalizado para estos equipos auxiliares.

| Equipos   | Monto [CLP]        |
|---|--------------------|
| Mantenimiento Grupos Electrogenos                   | 2.700.000          |
| Mantenimineto Preventivo Compresor 1 (kaesser)      | 2.800.000          |
| Mantenimineto Preventivo Compresor 2 (Kaesser)      | 2.800.000          |
| Leasing Flowpack 36 meses(Codepack)                 | 14.052.000         |
| Mantenimiento Preventivo Flowpack (Codepack)        | 16.200.000         |
| Arriendo Chiller Maquina (Industrial frigo)         | 27.600.000         |
| Arriendo Chiller Moldes                             | 20.400.000         |
| Arriendo Alza Hombre                                | 7.200.000          |
| Insumos Mantenimiento Moldes                        | 30.000.000         |
| Mantencion Preventiva Molde Soquete Soporte Génesis | 10.800.000         |
| Insumos Mantenimiento Máquinas                      | 30.000.000         |
| Mantención Portones Empresa Externa                 | 13.800.000         |
| Maquina Inyectora 2                                 | 10.800.000         |
| <b>Total</b>  | <b>178.102.000</b> |

*Tabla 30: Presupuesto del área de mantenimiento para el año 2024.*

*Fuente: Schneider Electric, Área de Mantenimiento.*

#### 4.2.10 Logística

##### *Gestión de almacenes*

El área de mantenimiento cuenta con un pañol destinado al almacenamiento de repuestos e insumos. Este inventario de repuestos es gestionado por el supervisor del área, y es quien se encarga de la compra de insumos y repuestos según la necesidad requerida.

El sub-área de Mantenimiento cuenta con plataforma que permite la gestión de repuestos, por lo que todo repuesto utilizado en la reparación o mantención de una máquina o equipos es asociado a una OT, llevando un seguimiento del inventario del repuesto.

Se realizan inventarios cíclicos y completos de los repuestos asociados a mantenimiento de máquinas y equipos, y estos se realizan bajando la información de la plataforma Mantenimiento Fácil y comparándola con las cantidades disponibles en el pañol. Los inventarios cíclicos se realizan quincenal o mensual y se toma una muestra de aproximadamente 20 repuestos, mientras que el inventario completo se realiza cada 6 meses y considera la totalidad de repuestos disponibles en el pañol.

Para la sub-área de Matricería, la plataforma de mantenimiento solo permite la gestión de ordenes de trabajo del tipo correctivas, preventivas o modificaciones/mejoras y no la gestión de repuestos. El seguimiento de flujo de repuestos de moldes y matrices no es gestionado de ninguna otra forma, por lo que este punto requiere el apoyo y la creación de una estrategia que cumpla la función de un CMMS, como por ejemplo una plataforma digital simple que lleve el registro de inventario de repuestos.

## 4.2.11 Análisis FODA

A continuación, completaremos la descripción de la situación actual en la que se desempeña el área de mantenimiento utilizando la herramienta estratégica, el análisis FODA, que permitirá una visión más transversal de los factores internos y externos que pueden afectar al área de mantenimiento dentro del contexto operacional de la empresa.

Este análisis se compone del análisis interno, que contempla las fortalezas y debilidades, y un análisis externo que considera a partir de qué nivel una amenaza se vuelve real y que constituye una oportunidad potencial real.

| Fortalezas  | Oportunidades   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de herramienta digital que permite el registro de órdenes de trabajo.</li> <li>• Proximidad de proveedores clave gracias a la geolocalización de la empresa.</li> <li>• Personal técnico con amplia experiencia en el rubro.</li> <li>• Recurso financieros.</li> <li>• Mantenimiento autónomo desplegado (TPM).</li> <li>• Infraestructura y equipos disponibles para reparaciones internas.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementación de mantenimientos preventivos programados para la disminución de paros no planificados.</li> <li>• Acceso a programas de formación técnica especializada.</li> <li>• Aumento de la demanda de productos en el mercado (tomacorrientes e interruptores).</li> <li>• Cursos para mejorar la gestión del mantenimiento (estrategia).</li> </ul>  |
| Debilidades   | Amenazas  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta tasa de detenciones no planificadas (fallas).</li> <li>• Mantenimiento reactivo predominante.</li> <li>• Falta de indicadores clave como MTBF, MTTR, Disponibilidad, Confiabilidad y Mantenibilidad.</li> <li>• Falta de integración entre departamentos para priorizar tareas de mantenimiento (Planificación, Producción).</li> <li>• Falta de gestión de inventarios.</li> <li>• Falta de análisis de activos críticos y repuestos críticos.</li> <li>• Reportes de mantenimiento no estándar (información entregada sin estructura).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La no justificación (análisis) de costos de repuestos e insumos puede resultar en una reducción del presupuesto.</li> <li>• La no entrega de productos en plazos comprometidos con el cliente por el no cumplimiento de planes productivos por paros no planificados.</li> <li>• El no mapeo de plazos de entrega de repuestos puede transformarse en una detención mayor a la esperada.</li> <li>• Desgaste acelerado de equipos por la falta de tareas proactivas de mantenimiento.</li> <li>• Competencia de productos importados.</li> </ul> |

*Figura 19: Análisis FODA del área de mantenimiento en el contexto operacional de Planta Santiago, Schneider Electric.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Para complementar el análisis FODA, también se realizará el análisis PESTEL, el cuál entrega una visión macro ambiental, con factores que puedes influir en el rendimiento y las operaciones de la organización en donde el área de mantenimiento desempeña su servicio.

|   |   |
|---|---|
| <p><b>Político</b></p> <p><b>Relaciones comerciales internacionales:</b> Costos de materias primas importadas afectan directamente el costo del producto fabricado.</p> <p><b>Política energética:</b> El posicionamiento Schneider Electric como una empresa que suministra sus procesos de energía 100% renovable.</p> <p><b>Reducción de jornada laboral:</b> Políticas publicas que benefician a los trabajadores pero que afectan la coordinación de turnos de producción y disponibilidad del soporte técnico de mantenimiento.</p> | <p><b>Económico</b></p> <p><b>Tipo de cambio:</b> Fluctuaciones del dólar y su impacto en el costo de materias primas.</p> <p><b>Inflación local e internacional:</b> Aumento de costos de materias primas y servicios.</p> <p><b>Variaciones en la demanda del mercado:</b> Las fluctuaciones en la demanda de los productos ofrecidos impacta la continuidad de los procesos, aumentando las detenciones por baja producción.</p> |
| <p><b>Social</b></p> <p><b>Escasez de técnicos especializados:</b> Los procesos de inyección y prensa requiere de técnicos especializados en el mantenimiento de moldes y matrices.</p> <p><b>Gestión del cambio:</b> Las mejoras van de la mano de resistencia al cambio del personal lo cual afectan y retrasan la obtención de resultados positivos.</p>   | <p><b>Tecnológica</b></p> <p><b>Automatización de procesos:</b> Bajo nivel de procesos automatizados por falta de expertos en el área.</p> <p><b>Sistemas de gestión del mantenimiento:</b> Bajo alcance de gestión de la información. Uso de plataformas ineficaces e insuficientes para gestionar efectivamente el área.</p>  |
| <p><b>Ecológica</b></p> <p><b>Normativas ambientales:</b> Regulaciones y exigencias en el manejo de residuos de los distintos procesos (residuos de pintura, plástico, metales).</p> <p><b>Sistemas de enfriamiento:</b> La dureza del agua afecta los activos que requieren de un proceso enfriamiento.</p> <p><b>Eficiencia energética:</b> Proyectos en curso para combatir el uso ineficiente de la energía en proceso de alto consumo (Inyección).</p>   | <p><b>Legal</b></p> <p><b>Normativas eléctricas:</b> Los productos fabricados deben cumplir con la normativa de los países donde son comercializados (Chile, Argentina, México).</p> <p><b>Auditorias Internas:</b> Al ser Schneider Electric una compañía multinacional, se rige bajo altos estándares que buscan controlar y mejorar sus procesos.</p>  |

*Figura 20: Análisis PESTEL del área de mantenimiento en el contexto operacional de Planta Santiago, Schneider Electric.*

*Fuente: Elaboración propia.*

## 4.3 Etapa 2: Jerarquización de activos de inyección

### 4.3.1 Análisis de Criticidad

Para la evaluación de criticidad de los equipos se contemplarán los criterios definidos por la empresa. La definición y escala de estos criterios serán entregados y concentrados en la Figura 21. Los equipos considerados en este análisis son los descritos en la “Etapa 1” del modelo de gestión propuesto.

| Criterios de decisión |   |
|-----------------------|---|
| <b>Legal</b>          |   |
| 10                    | Se requiere autorización legal para PM (Preventive Maintenance)   |
| 1                     | Se puede realizar PM de manera interna sin permiso legal  |
| <b>Seguridad</b>      |   |
| 10                    | Riesgo de lesiones para las personas  |
| 1                     | Sin riesgo para la seguridad  |
| <b>Calidad</b>        |   |
| 9                     | Alta probabilidad de no detectar los defectos internamente  |
| 7                     | Los defectos no se detectan en la línea y se detectan en otro sector                                      |
| 4                     | Se detectan defectos en la línea / sector   |
| 1                     | Bajo riesgo de defectos o reprocesamientos  |
| <b>Capacidad</b>      |   |
| 9                     | CAMA (Capacity Management) > 120%   |
| 7                     | 100% < CAMA < 120%  |
| 4                     | 60% < CAMA < 100%   |
| 1                     | CAMA < 60%  |
| <b>Disponibilidad</b> |   |
| 9                     | El equipo está disponible < 50%   |
| 7                     | 50% < Disponibilidad < 60%  |
| 4                     | 60% < Disponibilidad < 70%  |
| 1                     | Disponibilidad > 70%  |
| <b>Contingencia</b>   |   |
| 9                     | No hay equipo de respaldo   |
| 7                     | Equipo con desviaciones de gran impacto (calidad, producción...)  |
| 4                     | Equipo con desviaciones de bajo impacto   |
| 1                     | Equipo de respaldo disponible   |
| <b>Mantenibilidad</b> |   |
| 9                     | Pieza específica (fabricada, largo plazo de entrega), se necesitan habilidades del extras                 |
| 7                     | Parte más específica, conocimientos técnicos necesarios para sustituir las piezas                         |
| 4                     | Piezas de recambio estándar en todo el mundo, conocimientos técnicos necesarios para sustituir las piezas |
| 1                     | Piezas de recambio estándar y sin necesidad de conocimientos específicos                                  |
| <b>Limitación</b>     |   |
| 9                     | Equipo es cuello de botella   |
| 7                     | Altas detenciones   |
| 4                     | Averías y pérdida de rendimiento  |
| 1                     | Bajo efecto en caso de avería   |
| <b>Costo</b>          |   |
| 9                     | El coste de mantenimiento de la máquina es demasiado elevado  |
| 7                     | El coste de mantenimiento de la máquina es elevado  |
| 4                     | El coste de mantenimiento de la máquina es mediano  |
| 1                     | El coste de mantenimiento de la máquina es bajo   |

Figura 21: Criterios considerados en el análisis de criticidad de activos.

Fuente: Schneider Electric.

La matriz de decisión considera a los equipos como “Estándar” si el NPR es menor a 200, como “Clave” si el NPR está entre 200 y 320, y como “Crítico” si el NPR es mayor a 320. El equipo será considerado automáticamente “Crítico” si en los criterios “Legal”, “Seguridad” o “Calidad”, son considerados con la puntuación más alta respectivamente.

| Matriz de decisión |          |       |
|--------------------|----------|-------|
|                    | Estándar | < 200 |
| 200 <              | Clave    | < 320 |
| 320 <              | Crítico  |       |

Figura 22: Matriz de criticidad para definición de activos críticos.

Fuente: Schneider Electric.

Considerando la información entregada anteriormente, se presentan los resultados del análisis de criticidad de los equipos del área inyección. Este análisis fue desglosado en dos tablas, la Tabla 31 considera máquinas inyectoras y equipos periféricos, mientras que la Tabla 32 considera la totalidad de los moldes de inyección.

| Listado máquinas y periféricos (Área de Inyección) |           |               |              |       |           |         |           |                |              |                |            |       |     |           |
|--|-----------|---------------|--------------|-------|-----------|---------|-----------|----------------|--------------|----------------|------------|-------|-----|-----------|
| n° Maquina   | Grupo     | Marca         | Tipo         | Legal | Seguridad | Calidad | Capacidad | Disponibilidad | Contingencia | Mantenibilidad | Limitación | Costo | NPR | Categoría |
|  |           |               |              | 10    | 10        | 8       | 7         | 6              | 5            | 6              | 8          | 8     |     |           |
| 1  | G0 - 500T | Arburg        | Inyectora    | 1     | 1         | 4       | 1         | 7              | 1            | 7              | 4          | 7     | 236 | Clave     |
| 2  | G1 - 320T | Arburg        | Inyectora    | 1     | 1         | 4       | 4         | 4              | 1            | 7              | 4          | 4     | 215 | Clave     |
| 3  | G1 - 300T | Arburg        | Inyectora    | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 7              | 4          | 4     | 197 | Estándar  |
| 4  | G1 - 300T | Arburg        | Inyectora    | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 7              | 4          | 4     | 197 | Estándar  |
| 5  | G1 - 320T | Arburg        | Inyectora    | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 7              | 4          | 4     | 197 | Estándar  |
| 6  | G1 - 320T | Arburg        | Inyectora    | 1     | 1         | 4       | 4         | 4              | 1            | 7              | 4          | 4     | 215 | Clave     |
| 10   | G3 - 150T | TMC           | Inyectora    | 1     | 1         | 4       | 1         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 92  | Estándar  |
| 15   | G4 - 90T  | TMC           | Inyectora    | 1     | 1         | 4       | 1         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 92  | Estándar  |
| 16   | G4 - 90T  | TMC           | Inyectora    | 1     | 1         | 4       | 1         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 92  | Estándar  |
| 17   | G4 - 90T  | TMC           | Inyectora    | 1     | 1         | 4       | 1         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 92  | Estándar  |
| 18   | G4 - 90T  | TMC           | Inyectora    | 1     | 1         | 4       | 1         | 4              | 1            | 1              | 1          | 1     | 110 | Estándar  |
| 19   | G4 - 90T  | TMC           | Inyectora    | 1     | 1         | 4       | 1         | 7              | 1            | 1              | 1          | 1     | 128 | Estándar  |
| 20   | G4 - 90T  | TMC           | Inyectora    | 1     | 1         | 4       | 1         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 92  | Estándar  |
| 27   | G3 - 160T | Haitian       | Inyectora    | 1     | 1         | 4       | 1         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 92  | Estándar  |
| 28   | G5 - 40T  | Krauss Maffei | Inyectora    | 1     | 1         | 4       | 1         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 92  | Estándar  |
| 30   | G3 - 100T | Batenfeld     | Inyectora    | 1     | 1         | 4       | 1         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 92  | Estándar  |
| 32   | G3 - 150T | Arburg        | Inyectora    | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 4              | 4          | 4     | 179 | Estándar  |
| 33   | G4 - 100T | Arburg        | Inyectora    | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 4              | 4          | 4     | 179 | Estándar  |
| 34   | G2 - 200T | Haitian       | Inyectora    | 1     | 1         | 4       | 1         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 92  | Estándar  |
| 1  | -         | SEPRO         | Robot        | 1     | 1         | 4       | 1         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 92  | Estándar  |
| 2  | -         | SEPRO         | Robot        | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 113 | Estándar  |
| 3  | -         | SEPRO         | Robot        | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 113 | Estándar  |
| 4  | -         | SEPRO         | Robot        | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 113 | Estándar  |
| 5  | -         | SEPRO         | Robot        | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 113 | Estándar  |
| 7  | -         | SEPRO         | Robot        | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 113 | Estándar  |
| 18   | -         | SEPRO         | Robot        | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 113 | Estándar  |
| 32   | -         | SEPRO         | Robot        | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 113 | Estándar  |
| 33   | -         | SEPRO         | Robot        | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 113 | Estándar  |
| 34   | -         | SEPRO         | Robot        | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 113 | Estándar  |
| 1  | -         | SIMAR         | Masterizador | 1     | 1         | 4       | 1         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 92  | Estándar  |
| 2  | -         | SIMAR         | Masterizador | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 113 | Estándar  |
| 3  | -         | SIMAR         | Masterizador | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 113 | Estándar  |
| 4  | -         | SIMAR         | Masterizador | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 113 | Estándar  |
| 5  | -         | SIMAR         | Masterizador | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 113 | Estándar  |
| 6  | -         | SIMAR         | Masterizador | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 113 | Estándar  |
| 32   | -         | SIMAR         | Masterizador | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 113 | Estándar  |
| 1  | -         | SIMAR         | Secador      | 1     | 1         | 4       | 1         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 92  | Estándar  |
| 2  | -         | SIMAR         | Secador      | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 113 | Estándar  |
| 3  | -         | SIMAR         | Secador      | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 113 | Estándar  |
| 4  | -         | SIMAR         | Secador      | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 113 | Estándar  |
| 5  | -         | SIMAR         | Secador      | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 113 | Estándar  |
| 6  | -         | SIMAR         | Secador      | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 113 | Estándar  |
| 32   | -         | SIMAR         | Secador      | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 113 | Estándar  |
| 1  | -         | Pulian        | Molino       | 1     | 1         | 4       | 1         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 92  | Estándar  |
| 2  | -         | Enmair        | Molino       | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 113 | Estándar  |
| 3  | -         | Enmair        | Molino       | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 113 | Estándar  |
| 4  | -         | Enmair        | Molino       | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 113 | Estándar  |
| 5  | -         | Enmair        | Molino       | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 113 | Estándar  |
| 6  | -         | Enmair        | Molino       | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 113 | Estándar  |
| 1  | -         | SIMAR         | Aspiroplas   | 1     | 1         | 4       | 1         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 92  | Estándar  |
| 2  | -         | SIMAR         | Aspiroplas   | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 113 | Estándar  |
| 3  | -         | SIMAR         | Aspiroplas   | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 113 | Estándar  |
| 4  | -         | SIMAR         | Aspiroplas   | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 113 | Estándar  |
| 5  | -         | SIMAR         | Aspiroplas   | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 113 | Estándar  |
| 6  | -         | SIMAR         | Aspiroplas   | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 113 | Estándar  |
| 32   | -         | SIMAR         | Aspiroplas   | 1     | 1         | 4       | 4         | 1              | 1            | 1              | 1          | 1     | 113 | Estándar  |

Tabla 31: Resultados del análisis de criticidad de activos (Máquinas inyectoras y equipos periféricos).

Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis de criticidad de moldes de inyección, al ser 214 los moldes a analizar, se entregará una vista previa de los resultados.

| Listado Moldes (Área de Inyección) |  |                    |           |       |           |         |           |                |              |                |            |       |     |           |
|------------------------------------|--|--------------------|-----------|-------|-----------|---------|-----------|----------------|--------------|----------------|------------|-------|-----|-----------|
| n° Molde                           | Descripción                              | Tipo               | Familia   | Legal | Seguridad | Calidad | Capacidad | Disponibilidad | Contingencia | Mantenibilidad | Limitación | Costo | NPR | Categoría |
| 1791A                              | TAPA 1 MOD MISTIC BLANCO                 | Molde de Inyección | Genesis   | 1     | 1         | 4       | 1         | 1              | 4            | 4              | 7          | 1     | 173 | Estándar  |
| 1799C                              | SOPORTE NGEN GRIS 16 CAV                 | Molde de Inyección | Genesis   | 1     | 1         | 4       | 1         | 4              | 9            | 4              | 1          | 1     | 168 | Estándar  |
| 1795                               | TAPA CIEGA MISTIC BLANCO                 | Molde de Inyección | Genesis   | 1     | 1         | 4       | 1         | 1              | 4            | 4              | 1          | 4     | 149 | Estándar  |
| 1760                               | SOQ 9/12 NGEN GRIS                       | Molde de Inyección | Genesis   | 1     | 1         | 4       | 1         | 7              | 4            | 4              | 1          | 1     | 161 | Estándar  |
| 0910A                              | HELICE 10A GRIS                          | Molde de Inyección | Genesis   | 1     | 1         | 4       | 1         | 1              | 4            | 4              | 1          | 4     | 149 | Estándar  |
| 1762B                              | PRENSA COMUN NGEN GRIS                   | Molde de Inyección | Genesis   | 1     | 1         | 4       | 1         | 7              | 4            | 4              | 4          | 4     | 209 | Clave     |
| 1764B                              | SOQ 10/16A NGEN GRIS                     | Molde de Inyección | Genesis   | 1     | 1         | 4       | 1         | 1              | 4            | 4              | 1          | 4     | 149 | Estándar  |
| 1710B                              | MASC 10A NGEN BLANCO                     | Molde de Inyección | Genesis   | 1     | 1         | 4       | 1         | 1              | 1            | 4              | 1          | 4     | 134 | Estándar  |
| 1733A                              | MASC DUPLEX STD USA NGEN BLANC           | Molde de Inyección | Genesis   | 1     | 1         | 4       | 7         | 7              | 9            | 4              | 7          | 4     | 300 | Clave     |
| 1784A                              | TAPA MONOBLOCK NGEN BLANCO               | Molde de Inyección | Genesis   | 1     | 1         | 4       | 1         | 1              | 4            | 4              | 1          | 4     | 149 | Estándar  |
| 1783A                              | TAPA 3M GEN BLANCO                       | Molde de Inyección | Genesis   | 1     | 1         | 4       | 1         | 1              | 1            | 4              | 1          | 4     | 134 | Estándar  |
| 1753A                              | SOQ-SOPORT DUPLEX STD USA NGEN           | Molde de Inyección | Genesis   | 1     | 1         | 4       | 1         | 1              | 9            | 4              | 1          | 1     | 150 | Estándar  |
| 1782A                              | TAPA 2 MOD NGEN BLANCO                   | Molde de Inyección | Genesis   | 1     | 1         | 4       | 1         | 1              | 1            | 4              | 1          | 4     | 134 | Estándar  |
| 1780                               | TAPA CIEGA MOD NGEN BLANCO               | Molde de Inyección | Genesis   | 1     | 1         | 4       | 1         | 7              | 4            | 4              | 1          | 4     | 185 | Estándar  |
| 1750                               | SOQ-SOPORT TRIPLEX 10A NGEN GR           | Molde de Inyección | Genesis   | 1     | 1         | 4       | 1         | 7              | 1            | 4              | 1          | 1     | 146 | Estándar  |
| 1766                               | SOQ STD USA NGEN GRIS                    | Molde de Inyección | Genesis   | 1     | 1         | 4       | 1         | 7              | 4            | 4              | 4          | 4     | 209 | Clave     |
| 1762A                              | PRENSA COMUN NGEN GRIS BACKUP            | Molde de Inyección | Genesis   | 1     | 1         | 4       | 1         | 7              | 4            | 4              | 4          | 1     | 185 | Estándar  |
| 1770A                              | BASE CASQUETE 1-2 MODULOS                | Molde de Inyección | Genesis   | 1     | 1         | 4       | 1         | 7              | 4            | 4              | 4          | 4     | 209 | Clave     |
| 1731                               | MASC TRIPLEX 10A NGEN BLANCO             | Molde de Inyección | Genesis   | 1     | 1         | 4       | 1         | 1              | 4            | 4              | 1          | 1     | 125 | Estándar  |
| 1773B                              | BASE CASQUETE 3-CIEGO MODULOS            | Molde de Inyección | Genesis   | 1     | 1         | 4       | 1         | 7              | 1            | 4              | 1          | 1     | 146 | Estándar  |
| 1760A                              | SOQ 9/12 NGEN GRIS                       | Molde de Inyección | Genesis   | 1     | 1         | 4       | 1         | 1              | 4            | 4              | 1          | 1     | 125 | Estándar  |
| 202051                             | TECLA UNIPOLAR BASE                      | Molde de Inyección | Plasnavi  | 1     | 1         | 4       | 1         | 7              | 4            | 1              | 4          | 1     | 167 | Estándar  |
| 5033                               | INTERMEDIATE PLATE FOR SWITCH ENHANCED   | Molde de Inyección | Plasnavi  | 1     | 1         | 4       | 1         | 1              | 4            | 1              | 1          | 4     | 131 | Estándar  |
| 5004                               | HOLDER SHUTTER USA 15A                   | Molde de Inyección | Orion     | 1     | 1         | 4       | 1         | 7              | 4            | 1              | 1          | 1     | 143 | Estándar  |
| 8082                               | CUERPO ADAPT TRIPLE PLANO BLAN           | Molde de Inyección | Solutions | 1     | 1         | 4       | 1         | 7              | 1            | 1              | 1          | 1     | 128 | Estándar  |
| 1744                               | CAJA CHICHARRA NGEN BLANCO               | Molde de Inyección | Genesis   | 1     | 1         | 4       | 1         | 7              | 1            | 4              | 1          | 1     | 146 | Estándar  |
| 8001                               | CUERPO MACHO MOUSE BLANCO                | Molde de Inyección | Solutions | 1     | 1         | 4       | 1         | 7              | 1            | 1              | 1          | 1     | 128 | Estándar  |
| 5016                               | CENTER PLATE USA 2P+E 15A SH 1M WHT      | Molde de Inyección | Orion     | 1     | 1         | 4       | 1         | 4              | 4            | 1              | 1          | 1     | 125 | Estándar  |
| 8007                               | CUERPO MACHO CONVERT TECH BLAN           | Molde de Inyección | Solutions | 1     | 1         | 4       | 1         | 7              | 1            | 1              | 1          | 1     | 128 | Estándar  |
| 5028                               | FIXING FRAME FOR IP55 CP 4X2 3M WH       | Molde de Inyección | Orion     | 1     | 1         | 4       | 1         | 1              | 4            | 1              | 1          | 4     | 131 | Estándar  |
| 2050                               | TAPA CALOTA ICC DIN BLANCO               | Molde de Inyección | Solutions | 1     | 1         | 4       | 1         | 7              | 4            | 1              | 1          | 1     | 143 | Estándar  |
| 1721                               | MASC RJ45 NGEN BLANCO                    | Molde de Inyección | Genesis   | 1     | 1         | 4       | 1         | 7              | 4            | 4              | 1          | 1     | 161 | Estándar  |
| 5022                               | SUP PL F2P 2x4 1M WH                     | Molde de Inyección | Orion     | 1     | 1         | 4       | 1         | 1              | 4            | 1              | 1          | 4     | 131 | Estándar  |
| 5014                               | CENTER PLATE SO IT BIPASSO+SCHUKO WH AB  | Molde de Inyección | Orion     | 1     | 1         | 4       | 1         | 7              | 1            | 1              | 1          | 1     | 128 | Estándar  |
| 443                                | FRONT PLATE PLASTIC GREEN APPLE RODA CLA | Molde de Inyección | Plasnavi  | 1     | 1         | 4       | 1         | 4              | 4            | 1              | 1          | 1     | 125 | Estándar  |
| 1790                               | TAPA MONOBLOCK MISTIC BLANCO             | Molde de Inyección | Genesis   | 1     | 1         | 4       | 1         | 7              | 4            | 4              | 1          | 1     | 161 | Estándar  |
| 1110                               | MASC 10A HAB21 BEIGE                     | Molde de Inyección | Habit     | 1     | 1         | 4       | 1         | 7              | 4            | 1              | 1          | 1     | 143 | Estándar  |
| 5316                               | CENTER PLATE ITA SO 2P+E WHITE           | Molde de Inyección | Miluz     | 1     | 1         | 4       | 1         | 1              | 1            | 1              | 4          | 4     | 140 | Estándar  |

Tabla 32: Vista previa de los resultados del análisis de criticidad de activos (Moldes).

Fuente: Elaboración propia.

En base a los resultados, no existen equipos “Críticos” en el área de inyección, pero si se consideran 3 equipos “Clave” en el primer análisis (máquinas inyectoras y equipos periféricos) y 4 moldes “Clave” en el segundo análisis (moldes).

A continuación, se presentará un resumen del análisis realizado.

Para el primer análisis los equipos claves corresponden a máquinas inyectoras, que a diferencia de los otros equipos históricamente han sufrido mayor número de detenciones no programadas y que han afectado la disponibilidad.

| Descripción  | Código | Marca  | Modelo | Grupo     | NPR | Categoría |
|--------------|--------|--------|--------|-----------|-----|-----------|
| Inyectora 01 | IN-001 | ARBURG | 920S   | G0 - 500T | 236 | Clave     |
| Inyectora 02 | IN-002 | ARBURG | 720S   | G1 - 320T | 215 | Clave     |
| Inyectora 06 | IN-006 | ARBURG | 720S   | G1 - 320T | 215 | Clave     |

Tabla 33: Resumen de resultados del primer análisis de criticidad de activos.  
Fuente: Elaboración propia.

Para el segundo análisis evidenciamos solo 4 equipos (moldes) claves, todos de la familia de productos Génesis.

| Descripción | Código                         | Tipo               | Familia | NPR | Categoría |
|-------------|--------------------------------|--------------------|---------|-----|-----------|
| 1762B       | PRENSA COMUN NGEN GRIS         | Molde de Inyección | Genesis | 209 | Clave     |
| 1733A       | MASC DUPLEX STD USA NGEN BLANC | Molde de Inyección | Genesis | 300 | Clave     |
| 1766        | SOQ STD USA NGEN GRIS          | Molde de Inyección | Genesis | 209 | Clave     |
| 1770A       | BASE CASQUETE 1-2 MODULOS      | Molde de Inyección | Genesis | 209 | Clave     |

Tabla 34: Resumen de resultados del segundo análisis de criticidad de activos.  
Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados entregados por el análisis realizado podemos concluir que tenemos 3 inyectoras y 4 moldes claves o también denominados semi-criticos. Como ya fue mencionado anteriormente, los equipos principales del proceso de inyección son la inyectora y el molde, y con el análisis de criticidad realizado evidenciamos cuales son específicamente los equipos con mayor NPR. Ahora para poder tomar una decisión sobre cuáles serán los equipos con los que continuaremos la implementación de este modelo de gestión, añadiremos al análisis una información extra, que es la máquina inyectora en la que trabajan estos moldes categorizados como “Clave”, con el fin de conocer si existe un sistema inyectora-molde más críticos que otro.

| Moldes de Inyección |                                |           | Máquina Inyectora    |           |
|---------------------|--------------------------------|-----------|----------------------|-----------|
| Código              | Descripción                    | Categoría | Código               | Categoría |
| 1762B               | PRENSA COMUN NGEN GRIS         | Clave     | IN-005               | Estándar  |
| 1733A               | MASC DUPLEX STD USA NGEN BLANC | Clave     | IN-006               | Clave     |
| 1766                | SOQ STD USA NGEN GRIS          | Clave     | IN-032/IN-033/IN-034 | Estándar  |
| 1770A               | BASE CASQUETE 1-2 MODULOS      | Clave     | IN-034               | Estándar  |

Tabla 35: Asociación de moldes categorizados como clave y la máquina inyectora en la que trabajan.  
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 35 se puede apreciar que efectivamente existe un sistema inyectora-molde más crítico que otro, por lo que el resultado final de este análisis es el molde “**1733A**” y la máquina inyectora “**IN-006**” y estos dos equipos serán considerado para continuar con la aplicación del modelo de gestión desarrollado en este trabajo.

### 4.3.2 Análisis Funcional de Equipos Claves

El análisis funcional de un activo es un proceso que permite descomponer y entender su funcionamiento, identificando los subsistemas del activo y como contribuyen a la función principal y secundarias. Para ello se desarrollará un diagrama funcional que permita conocer

las entradas, subprocesos y salidas. Por otro lado, se definirán las funciones principales a través de una descomposición funcional del activo, considerando sus principales subsistemas. Este análisis se realizará para el sistema inyectora-molde que resultaron con un mayor NPR en el análisis de criticidad realizado anteriormente.

## **Inyectora**

### Función principal

- Transformar material plástico granulado en piezas moldeadas a través del proceso de inyección de plástico en un molde con cavidades de una forma previamente definida.

### Funciones secundarias

- Fusión del material plástico granulado (ABS, Policarbonato): Calentar el plástico granulado hasta su punto de fusión gracias a los elementos calefactores, instalados en el cilindro de inyección, que entregan el calor necesario para elevar la temperatura del material granulado y convertirlo en un material de alta fluidez.
- Inyección del material fundido: A través de la fuerza generada por el sistema hidráulico de la unidad de inyección, el material fundido es transportado a través del cilindro de inyección para luego ser inyectado a través de una boquilla acoplada al molde y finalmente ser distribuido por los canales de este.
- Expulsión de piezas moldeadas: El retiro de las piezas es realizado gracias a la conexión entre el sistema de expulsión del molde y un elemento de la máquina inyectora que coordina y permite el movimiento de la placa expulsora del molde, y por defecto la expulsión de las piezas ya inyectadas.
- Control del proceso: El control de proceso está compuesto por una serie de sensores, actuadores y controladores que a través de una interfaz permite al usuario ajustar parámetros y supervisar el proceso.
- Dosificación del material plástico granulado: Mide y prepara la cantidad exacta de material que va desde la tolva al cilindro de inyección.
- Sostener la compactación y presión durante la inyección: El proceso requiere que el nivel de compactación y la presión del material inyectado se mantenga para asegurar el llenado completo, la eliminación de burbujas de aire y reducir el riesgo de defectos internos de las piezas.
- Apertura de molde: El sistema denominado unidad de cierre es el encargado de realizar el movimiento lineal de apertura y cierre del plato “móvil” de la máquina inyectora, donde esta posiciona el lado “móvil” del molde, y está sincronizado con el ciclo del molde. La apertura del molde da el espacio para que el molde realice el proceso de expulsión de piezas.
- Cierre de molde: El cierre y bloqueo de molde se realiza para inyectar el material fundido. Permite que el molde no se abra, aplicando una fuerza de sujeción mayor a la presión dentro del molde generada por la inyección. Un cierre correcto del molde evita la generación de rebabas y defectos en las piezas.

## Diagrama Funcional

| Entrada                                 | Subsistema               | Salida  |
|---|--------------------------|---|
| Aceite                                  | Unidad de cierre         | Movimiento lineal                               |
| Energía eléctrica<br>Aceite             | Unidad de inyección      | Calor sensible y latente<br>Movimiento rotativo |
| Aceite + Presión                        | Sistema Hidráulico       | Movimiento                                      |
| Energía                                 | Sistema eléctrico        | Energía   |
| Agua a temperatura deseada (15 a 25 °C) | Sistema de Refrigeración | Agua a temperatura deseada (25 a 35 °C)         |

Tabla 36: Diagrama funcional de subsistemas de máquina inyectora.

Fuente: Elaboración propia.

| Entrada                  | Subproceso                                     | Salida            |
|--------------------------|--|-------------------|
| Plástico granulado       | Fusión del material                            | Plástico fundido  |
| Plástico fundido         | Proceso de inyección de plástico               | Piezas inyectadas |
| Parámetros de producción | Optimización del ciclo de producción del molde | Ciclo optimizado  |

Tabla 37: Diagrama funcional de subprocesos de máquina inyectora.

Fuente: Elaboración propia.

## Molde

### Función principal

- El molde de inyección tiene como función principal dar forma al material plástico fundido, permitiendo su solidificación y enfriamiento dentro de una cavidad o cavidades específicas, para obtener una pieza plástica con una geometría y características definidas.

### Funciones secundarias

- Distribuir el plástico fundido: Permite que el plástico sea transportado por canales internos manteniendo una temperatura óptima para mantener su fluidez y así llegue de forma uniforme a todas las cavidades del molde. Para ello existen moldes que utilizan una “cámara caliente” que a través de resistencias térmicas entregan calor a las boquillas internas del molde por donde se inyecta el material hacia las cavidades.
- Control de la temperatura del molde: Permite enfriar las piezas una vez las cavidades hayan sido completamente llenadas con el material fundido. El enfriamiento es realizado gracias a unos canales internos del molde por donde pasa agua a cierta temperatura. Estos canales recorren la totalidad de las cavidades extrayendo el calor de las piezas y acelerando el proceso de enfriamiento
- Expulsión de las piezas moldeadas: A través de un sistema de expulsión compuesto por una placa y elementos llamados botadores, que están anexado a un cilindro controlado por la máquina inyectora, se realiza la expulsión de las piezas ya inyectadas. La cantidad de botadores necesarios para botar una pieza dependen de la geometría y tamaño de la pieza.

- Ventilación y expulsión de gases: Durante el proceso de inyección se generan gases por distintas razones, mientras el material es inyectado al molde, dentro de él puede quedar aire que no alcanza a ser liberado, también la fundición del material plástico puede liberar gases sobre todo si viene con humedad residual. Para ello existe unas ranuras que permiten la liberación de estos gases, evitando problemas de calidad que pueden ser generados por esta situación (burbujas de aire en la pieza, marcas de gas, vacíos internos).
- Mantener el tiempo ciclo de óptimo de trabajo: El tiempo de ciclo de trabajo de un molde de inyección es el tiempo en que el molde se tarda en realizar las principales fases para la conformación de la pieza plástica (cierre de molde, inyección, enfriamiento, apertura de molde). Este tiempo viene definido por el fabricante y normalmente se le denomina tiempo de ciclo teórico. Con el tiempo, el molde va perdiendo eficiencia, impactando directamente en el tiempo de ciclo, por ende, a lo largo de la vida útil de este equipo, este tiempo tiende a aumentar.

#### Diagrama Funcional

| Entrada                                 | Subsistema                    | Salida                                  |
|---|-------------------------------|---|
| -                                       | Sistema de Inyección          | -                                       |
| Plástico fundido                        | Sistema de Moldeo             | Piezas inyectadas                       |
| Agua a temperatura deseada (15 a 25 °C) | Sistema de Enfriamiento       | Agua a temperatura deseada (25 a 35 °C) |
| Aceite                                  | Sistema de Expulsión          | Movimiento lineal                       |
| Energía eléctrica                       | Sistema de Calefacción        | Calor latente                           |
| Fuerza axial                            | Sistema de Guías y Alineación | Movimiento axial                        |
| Material plástico fundido con gases     | Sistema de Ventilación        | Material plástico fundido con gases     |

Tabla 38: Diagrama funcional de subsistemas de molde de inyección.

Fuente: Elaboración propia.

## 4.4 Etapa 3: Análisis de puntos débiles en equipos de alto impacto

En el análisis de jerarquización de equipos de la etapa anterior, concluimos hay un sistema inyectora-molde que fue categorizados como clave o semi-crítico y al cual se les dará énfasis en lo que queda de implementación del modelo de gestión de mantenimiento. Esto se debe a que principalmente obtuvieron una puntuación más alta en distintos puntos del análisis, resultando un NPR elevado. A continuación, será desarrollado el análisis de puntos débiles de estos equipos, con el fin de identificar aquellas situaciones que representan un riesgo para la operación, disponibilidad y mantenibilidad del equipo. El análisis será efectuado para los siguientes equipos.

| Código | Descripción                    | Tipo               |
|--------|--------------------------------|--------------------|
| IN-006 | Inyectora 6                    | Máquina Inyectora  |
| 1733A  | MASC DUPLEX STD USA NGEN BLANC | Molde de Inyección |

Tabla 39: Equipos que serán analizados en las siguientes etapas del modelo de gestión de mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis de puntos débiles de los equipos no solo le daremos enfoque a aquellas actividades o situaciones que pueden impactar la disponibilidad y confiabilidad operativa, sino que también ampliaremos la visión integrando las normativas ISO 31000 e ISO 45000. La ISO 31000 es la normativa de Gestión del Riesgo que tiene por objetivo ayudar a proteger los activos de la organización, cumplir sus objetivos y mejorar la toma de decisiones mientras que la ISO 45000, es la normativa de Seguridad y Salud en el Trabajo destinada a proteger a los trabajadores de accidentes y enfermedades laborales. De esta forma y bajo las directrices de estas normativas permite que este análisis tenga un equilibrio entre eficiencia productiva y protección del capital humano.

Para el análisis de esta etapa analizaremos las fallas más frecuentes y el riesgo asociado a cada una de ellas, de esta forma podremos priorizar una falla por equipo y proceder a realizar un análisis más profundo a aquellas fallas que representen un mayor riesgo. El de las fallas que representen un mayor riesgo serán analizadas mediante un RCA o Análisis de Causa Raíz.

El cálculo del riesgo contemplará la frecuencia e impacto que tengan las fallas identificadas.

$$\text{Riesgo} = \text{Frecuencia} \times \text{Impacto}$$

En primer lugar, identificaremos los riesgos asociados a las fallas más comunes del sistema inyectora-molde. Estos riesgos serán clasificados bajo los criterios definidos en la Tabla 40.

| Criterio                            | Normativa Asociada                          |
|-------------------------------------|---|
| <b>Impacto Operativo</b>            | ISO 31000 (Gestión de Riesgos)              |
| <b>Impacto en Seguridad y Salud</b> | ISO 45000 (Seguridad y Salud en el Trabajo) |

Tabla 40: Criterios para evaluar Impacto de la falla.

Fuente: Elaboración propia.

En segundo lugar, definiremos la puntuación asociada a los distintos niveles de Impacto de los criterios ya definidos, entregados en la Tabla 41.

| Nivel   | Puntuación | Definición  |
|---|------------|---|
| <b>Impacto Operativo (ISO 31000)</b>            |            |   |
| <b>Crítico</b>                                  | 5          | Para total del proceso de inyección, pérdida significativa de la producción.              |
| <b>Mayor</b>                                    | 4          | Reducción del rendimiento o calidad, necesidad de intervención correctiva urgente.        |
| <b>Moderado</b>                                 | 3          | Afectación parcial de la operación, se requiere mantenimiento programado.                 |
| <b>Menor</b>                                    | 2          | Afectación leve, no interrumpe la producción, puedes esperar al mantenimiento preventivo. |
| <b>Insignificante</b>                           | 1          | Sin impacto visible en la operación   |
| <b>Impacto en Seguridad y Salud (ISO 45000)</b> |            |   |
| <b>Crítico</b>                                  | 5          | Lesiones graves o mortales, exposición a condiciones de alto riesgo.                      |
| <b>Mayor</b>                                    | 4          | Lesiones que requieren hospitalización, riesgo significativo de accidente.                |
| <b>Moderado</b>                                 | 3          | Lesiones leves, primeros auxilios necesarios, riesgo moderado.                            |
| <b>Menor</b>                                    | 2          | Incidentes sin lesiones, solo exposición a situaciones de riesgo leve.                    |
| <b>Insignificante</b>                           | 1          | Sin riesgo para la seguridad o salud del personal.  |

Tabla 41: Niveles para evaluar el Impacto de la falla en función de la ISO 31000 y la ISO 45000.

Fuente: Elaboración propia.

Al considerar dos tipos de impacto la fórmula de riesgo anteriormente definida quedará de la siguiente manera.

$$Riesgo = Frecuencia * (0,5 * Impacto Operativo + 0,5 * Impacto Seguridad y Salud)$$

La frecuencia de las principales fallas será representada según la Tabla 42.

| Frecuencia |  |            |
|------------|--|------------|
| Nivel      | Descripción  | Puntuación |
| Muy Alta   | Ocurre regularmente, casi seguro ( $Nf \geq 9$ )   | 5          |
| Alta       | Ocurre con frecuencia ( $8 \geq Nf \geq 6$ )       | 4          |
| Moderada   | Puede ocurrir en algún momento ( $5 > Nf \geq 4$ ) | 3          |
| Baja       | Poco probable que ocurra ( $3 > Nf \geq 2$ )       | 2          |
| Muy Baja   | Raramente ocurre ( $Nf \leq 1$ )                   | 1          |

Tabla 42: Niveles para evaluar la frecuencia de las fallas.

Fuente: Elaboración propia.

Ya definidos el cálculo de riesgo, frecuencias y los criterios y niveles para evaluar los riesgos de los equipos, el siguiente paso es identificar las fallas más comunes de los equipos a estudiar. Esta información será recopilada según el historial de falla de cada equipo en particular durante el año 2024.

| Título falla                                 | Cantidad |
|--|----------|
| IN-006 - INYECTORA 6                         |          |
| Fuga de agua manifold                        | 3        |
| Falla eléctrica cilindro de inyección        | 2        |
| Fuga de aceite zona inyección                | 1        |
| Rebalse de plástico                          | 1        |
| Molde 1733A - MASC DUPLEX STD USA NGEN BLANC |          |
| Piezas con rebaba                            | 6        |
| Retención - Plástico pegado                  | 6        |
| Boquilla de molde tapada                     | 3        |
| Falla eléctrica                              | 2        |

Tabla 43: Principales fallas del sistema inyectora-molde durante el año 2024.  
Fuente: Elaboración propia.

Ya obtenida esta información procedemos a realizar la puntuación de frecuencias e impacto para posteriormente calcular el riesgo de cada una de estas fallas.

| Falla | Título falla                                 | Cantidad | Frecuencia (1-5) | Impacto Operativo (1-5) | Impacto en SS (1-5) | Riesgo |
|-------|--|----------|------------------|-------------------------|---------------------|--------|
| 1     | IN-006 - INYECTORA 6                         |          |                  |                         |                     |        |
| 1.A   | Fuga de agua manifold                        | 3        | 2                | 3                       | 3                   | 7      |
| 1.B   | Falla eléctrica cilindro de inyección        | 2        | 2                | 5                       | 1                   | 6      |
| 1.C   | Fuga de aceite zona inyección                | 1        | 1                | 3                       | 2                   | 2,5    |
| 1.D   | Rebalse de plástico                          | 1        | 1                | 5                       | 2                   | 3,5    |
| 2     | Molde 1733A - MASC DUPLEX STD USA NGEN BLANC |          |                  |                         |                     |        |
| 2.A   | Piezas con rebaba                            | 6        | 4                | 4                       | 1                   | 10     |
| 2.B   | Retención - Plástico pegado                  | 6        | 4                | 5                       | 1                   | 12     |
| 2.C   | Boquilla de molde tapada                     | 3        | 2                | 5                       | 1                   | 6      |
| 2.D   | Falla eléctrica                              | 2        | 2                | 5                       | 1                   | 6      |

Tabla 44: Calculo del riesgo para las principales fallas del sistema inyectora-molde durante el año 2024.

Fuente: Elaboración propia.

Ya obtenido el cálculo se evidencia que las fallas 1.A y 2.B fueron aquellas con mayor puntuación por lo que el RCA estará enfocado en estas dos fallas.

#### 4.4.1 RCA Inyectora 6

**Problema:** Fuga de agua manifold.

**Descripción del problema:** El sistema de enfriamiento en el proceso de inyección de plásticos es fundamental para garantizar la calidad de las piezas producidas y la eficiencia del ciclo de inyección. El manifold actúa como un distribuidor de agua, controlando el flujo hacia los

canales de refrigeración del molde mediante un sistema de llaves de paso y mangueras flexibles. Este sistema asegura que el molde mantenga una temperatura adecuada, controlada por un termorregulador, para optimizar la fluidez del plástico fundido y el correcto llenado de las cavidades.

**Descripción de los riesgos:** Los riesgos asociados a la falla incluyen interrupciones operativas, ya que la fuga de agua del manifold puede afectar la refrigeración del molde, generando pérdidas en la calidad en las piezas producidas. Por otro lado, la acumulación de agua en el suelo aumenta el riesgo de deslizamientos y caídas del personal, y también el contacto del agua con componentes eléctricos podría provocar cortocircuitos, descargas eléctricas, comprometiendo tanto la seguridad del personal como la integridad de los equipos.

#### **Potenciales causas raíces (6M)**

- Método: Procedimientos inadecuados de mantenimiento preventivo.
- Máquina: Deterioro del manifold y componentes de conexión.
- Medida: Falta de monitoreo de parámetros como presión, temperatura o flujo de agua.
- Mano de obra: Operarios sin capacitación para el ajuste de conexiones.
- Material: Mangueras, acoples o manifold de baja de calidad o no adecuados al uso industrial.
- Medio ambiente: Ambiente con cambios de temperaturas bruscos.

**Acción correctiva prioritaria:** Implementar un programa de mantenimiento preventivo con revisiones periódicas de los acoples, manifold y llaves de paso. Utilizar materiales de alta calidad y realizar capacitaciones periódicas al personal de operaciones para que integren tareas de mantenimientos en sus rutinas diarias.

#### **4.4.2 RCA Molde 1733A**

**Problema:** Retención – Plástico pegado.

**Descripción del problema:** La retención del plástico o el pegado del material en el lado móvil del molde es un problema crítico que afecta tanto la calidad del producto como la continuidad operativa. Esta falla suele ocurrir durante el set up o configuración del proceso, especialmente cuando no se ha alcanzado la estabilidad térmica del molde o si el sistema de desmoldeo no funciona correctamente.

**Descripción de los riesgos:** La mayor parte de los riesgos de esta falla son del tipo operativos, ya que el plástico adherido impide el correcto funcionamiento del sistema de botadores, causando paradas frecuentes e interrupciones del proceso. Durante el retiro del material, el operador puede deteriorar la geometría de las cavidades y aumentar la probabilidad de defectos de las piezas inyectadas. Dentro de los riesgos asociados a la salud y seguridad de los trabajadores tenemos el riesgo de quemaduras al manipular material a altas temperaturas, y también lesiones musculares por realizar constantemente el acto de retirar el plástico solidificado de las caras del molde.

#### **Potenciales causas raíces (6M)**

- Método: Parámetros de configuración del molde inadecuados.

- Máquina: Sistema de botadores con fallas o mal funcionamiento.
- Medida: Falta de indicadores precisos de temperatura y presión del molde.
- Mano de obra: Operadores sin capacitación para realizar ajustes en el set up del proceso.
- Material: Plástico de baja calidad o no adecuado para la temperatura de inyección.
- Medio ambiente: Variaciones bruscas de temperatura en el entorno de trabajo.

**Acción correctiva prioritaria:** Revisar y ajustar los parámetros del proceso de inyección, capacitar al personal en el set up del molde, y asegurar el uso de materiales plásticos adecuados. Además, establecer un sistema de monitoreo en tiempo real de la temperatura y presión del molde.

#### 4.4.3 Disponibilidad y Confiabilidad

En esta sección se realizará el cálculo de la de la disponibilidad y confiabilidad para los activos que resultaron con un mayor NPR en la etapa anterior, la inyectora 6 y el molde n° 1733A. Conocer el valor de estos indicadores permitirá identificar que tan frecuente los activos experimentan fallas y también permite establecer una línea base de rendimiento, que servirá para contrastar con estos mismos indicadores en un periodo futuro, luego de implementar las estrategias de mantenimiento proactivo que serán desarrolladas en este trabajo.

A continuación, se presentará los datos necesarios para realizar el cálculo de los indicadores, y los resultados de disponibilidad y disponibilidad para los dos equipos claves.

Los tiempos de operación y detención, así como también la cantidad de fallos, son los datos históricos del año 2024, por lo que el cálculo de MTBF, MTTR y Disponibilidad corresponden al periodo del año 2024. Por otro lado, para el cálculo del indicador de Confiabilidad se requiere la definición de un periodo de estudio futuro, que para este análisis será definido como 2 semanas, es decir, 5 días o 120. La elección de este periodo de tiempo está relacionada por la cantidad de tiempo que suelen estar los molde en producción, en promedio un molde trabaja continuamente por un periodo de 5 días o 120 horas, por lo que el equipo de mantenimiento debe asegurar al menos que este periodo de operación sea continuo y sin interrupciones.

|                                   | Inyectora 6 | MASC DUPLEX STD USA<br>NGEN BLANC |
|-----------------------------------|-------------|-----------------------------------|
|                                   | IN-006      | 1733A                             |
| Tiempo productivo planificado [h] | 2568        | 2131                              |
| Tiempo detención por fallo [h]    | 32          | 312                               |
| Cantidad de fallas total          | 7           | 18                                |
| MTBF [h]                          | 362         | 101                               |
| MTTR [h]                          | 5           | 17                                |
| Periodo de estudio [h]            | 120         | 120                               |
| Disponibilidad                    | 99%         | 85%                               |
| Confiabilidad                     | 72%         | 30%                               |

Tabla 45: Cálculo de disponibilidad y confiabilidad para equipos clave.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los resultados del cálculo de los principales indicadores de mantenimiento podemos llegar a las siguientes conclusiones:

- Para ambos activos se obtiene un alto índice de disponibilidad, lo que quiere decir que el equipo tiene una alta capacidad para estar operativo cuando se necesita, es decir, el equipo está disponible para su uso la mayor parte del tiempo, incluso teniendo una alta frecuencia de mantenimiento correctivos.
- Por otro lado, el resultado del cálculo de confiabilidad para la maquina inyectora es del 72%, lo que nos indica una probabilidad aceptable de operar sin interrupciones en el periodo de tiempo de estudio (120 horas).
- Para el caso del molde, se obtuvo una confiabilidad del 30% lo que indica que existe una baja probabilidad de que el equipo no falle, es decir, un 70% de probabilidad de que el equipo falle en el periodo de tiempo de estudio (120 horas). Esto se debe a una alta frecuencia de falla lo que nos entrega un bajo MTBF. En conclusión, el equipo no es confiable para mantener una operación continua.
- Una confiabilidad baja en los equipos obliga al equipo de mantenimiento a destinar recursos a la reparación de fallas reiterativas, es decir, a destinar recursos a mantenimientos correctivos, aumentando los costos operativos.
- Otra conclusión que se puede obtener de los resultados de confiabilidad es que al tener el equipo una confiabilidad baja, la producción se ve constantemente interrumpida, aumentando los costos operativos por no lograr la producción, o lograrla a un costo muy alto.
- La alta frecuencia de fallas en un equipo podría indicar que las reparaciones o intervenciones realizadas por el equipo de mantenimiento están siendo “rápidas” y “temporales”, pero no definitivas. Una reparación temporal y rápida permite que el equipo esté disponible puntualmente para esa producción, pero seguirá presentando problemas en producciones futuras, disminuyendo el MTBF y la confiabilidad.

En definitiva, los datos y conclusiones resultantes de esta etapa serán de gran utilidad para las siguientes etapas, ya que como fue mencionado anteriormente, define la línea base del análisis de estos equipos.

## 4.5 Etapa 4. Diseño de planes de mantenimiento y recursos necesarios

En esta etapa, se desarrolla la estructuración formal de los planes de mantenimiento, los cuales se fundamentan en los resultados del análisis de criticidad realizado en las etapas previas. Para ello, se implementa la metodología Reliability-Centered Maintenance (RCM), cuyo enfoque permite identificar y priorizar las funciones críticas del sistema, analizar los modos de falla asociados, y definir estrategias de mantenimiento apropiadas según la naturaleza de cada falla y sus consecuencias operativas. La aplicación del método RCM se ha enfocado en los activos críticos del área de inyección de plástico, específicamente en la máquina inyectora 6 y el molde 1733A, debido a su alta participación en el volumen de producción y su impacto en la continuidad operacional.

## 4.5.1 Inyectora

| Hoja de Información RCM |   | Sistema          |  | Subsistema N° |  | Facilitador   |  |
|-------------------------|---|------------------|--|---------------|--|---|--|
|                         |   | Inyectora        |  | 1             |  | Mónica Soto   |  |
|                         |   | Subsistema       |  | Fecha         |  | Hoja  |  |
|                         |   | Unidad de cierre |  | 15-02-2024    |  | 1 de 1  |  |
| Función                 |   | Falta funcional  |  | Modo de falla |  | Efecto  |  |
| 1                       | Garantizar el correcto soporte, sujeción y alineación del molde.  | A                | Pérdida total o parcial de la capacidad de sujeción del molde.   | 1             | Falla en los pernos de fijación del molde por desgaste en los hilos del perno.                             | Molde se afloja durante la inyección.   |  |
|                         |   |                  |  | 2             | Falla en los hilos internos de los orificios de sujeción en las placas por desgaste en los hilos internos. | Molde se afloja durante la inyección.   |  |
|                         |   | B                | Desalineación entre el plato fijo y el plato móvil.  | 1             | Obstrucción entre plato y molde.   | Movimiento irregular del molde, mala distribución de esfuerzos. Se activa el bloqueo de molde por presencia de obstrucciones. |  |
|                         |   |                  |  | 2             | Desgaste o daño en las guías de alineación del plato móvil.  | El molde no cierra correctamente generando defectos de calidad, incrementa la fricción en la operación.                       |  |
| 2                       | Permitir el desplazamiento de la placa móvil durante la apertura y cierre de molde.   | A                | Pérdida total del desplazamiento de la placa móvil (bloqueo completo).                                 | 1             | Fallo en la bomba hidráulica.  | No se genera movimiento del plato móvil.  |  |
|                         |   |                  |  | 2             | Fallo en las válvulas de control de dirección del sistema hidráulico.                                      | El flujo de aceite no llega a los cilindros, por lo que no se genera el movimiento del plato móvil.                           |  |
|                         |   | B                | Movimiento irregular o restringido del plato móvil. Golpeteo o vibraciones anómalas durante el cierre. | 1             | Desgaste y acumulación de residuos en las rieles de desplazamiento.  | Vibraciones, sonidos por aumento de la fricción.  |  |
|                         |   |                  |  | 3             | Fuga severa en el sistema hidráulico.  | Pérdida de presión progresiva, intermitencias en el cierre.   |  |
| 3                       | Entregar fuerza de apertura y cierre a la unidad (Cerrar molde) y para sostener el cierre de la unidad durante el ciclo de inyección (300 t). | A                | Pérdida de la fuerza de cierre y capacidad de sostener el cierre.                                      | 1             | Fallo en el sensor de posición del cierre.   | El sistema no detecta la posición correcta del molde, no es posible inyectar.   |  |
|                         |   |                  |  | 2             | Sobrecalentamiento del fluido hidráulico por sobre los 60° C.  | Reducción en la viscosidad del aceite, afectando la transmisión de presión. Intermitencia en la apertura y cierre de molde.   |  |
|                         |   |                  |  | 3             | Fallo en el cilindro hidráulico de expulsión.  | La pieza queda atrapada en el molde.  |  |
| 4                       | Realizar la expulsión de la o las piezas moldeadas tras finalizar el ciclo de inyección.  | A                | Pérdida de la función de expulsión (No se expulsan las piezas o la expulsión es incompleta).           | 1             | Obstrucción mecánica en el sistema de expulsión.   | La pieza queda atrapada en el molde.  |  |
|                         |   |                  |  | 2             | Fricción excesiva en el mecanismo de expulsión.  | Movimiento lento o con mayor resistencia.   |  |
|                         |   | B                | Tiempos de expulsión prolongados o irregulares.  | 1             |  |   |  |

Tabla 46: Hoja de Información Unidad de Cierre, Inyectora.

Fuente: Elaboración propia.

| Hoja de Decisión RCM      |    |    |                             |   |   |   |    | Sistema          |    |                   | Subsistema N° |    |  | Facilitador       |                                   |  |
|---------------------------|----|----|-----------------------------|---|---|---|----|------------------|----|-------------------|---------------|----|--|-------------------|-----------------------------------|--|
|                           |    |    |                             |   |   |   |    | Inyectora        |    |                   | 1             |    |  | Mónica Soto       |                                   |  |
|                           |    |    |                             |   |   |   |    | Subsistema       |    |                   | Fecha         |    |  | Hoja              |                                   |  |
|                           |    |    |                             |   |   |   |    | Unidad de cierre |    |                   | 05-03-2025    |    |  | 1 de 1            |                                   |  |
| Referencia de información |    |    | Evaluación de consecuencias |   |   |   | H1 | H2               | H3 | Acción a falta de |               |    | Tarea Propuesta  | Intervalo Inicial | A realizarse por                  |  |
| F                         | FF | FM | H                           | S | E | O | O1 | O2               | O3 | H4                | H5            | S4 |  |                   |                                   |  |
| 1                         | A  | 1  | S                           | S |   |   | N  | N                | N  | S                 |               |    | Revisar condición de los pernos (desgaste de hilos, desgaste, óxido o corrosión).  | 1M                | Producción                        |  |
| 1                         | A  | 2  | S                           | S |   |   | N  | S                |    |                   |               |    | Realizar el repaso de los hilos de orificios de ambas placas.  | 3M                | Tecnico mecánico                  |  |
| 1                         | B  | 1  | S                           | N | N | S | S  |                  |    |                   |               |    | Realizar limpieza del plato, eliminando contaminación, presencia de óxido.   | 1M                | Producción                        |  |
| 1                         | B  | 2  | N                           |   |   |   | S  |                  |    |                   |               |    | Revisar el estado de las guías, realizar limpieza y lubricación de guías.  | 3M                | Tecnico mecánico                  |  |
| 2                         | A  | 1  | N                           |   |   |   | S  |                  |    |                   |               |    | Monitoreo de presión hidráulica y vibraciones en la bomba. Realizar pruebas de flujo (medición de presión y caudal). Esto ayuda a evaluar el rendimiento de la bomba y garantizar su fiabilidad. | 1A                | Tecnico mecánico/<br>Especialista |  |
| 2                         | A  | 2  | N                           |   |   |   | N  | N                | N  | S                 |               |    | Inspección de válvulas hidráulicas y prueba de flujo de aceite (limpieza y ajustes).   | 2A                | Tecnico mecánico                  |  |
| 2                         | B  | 1  | S                           | N | N | N | S  | N                |    |                   |               |    | Realizar limpieza y lubricación de rieles y patines.   | 3M                | Tecnico mecánico                  |  |
| 3                         | A  | 1  | S                           | S |   |   | N  | N                | S  |                   |               |    | Cambio de sellos de los cilindros y mangueras.   | 3A                | Técnico mecánico                  |  |
| 3                         | A  | 2  | N                           |   |   |   | S  |                  |    |                   |               |    | Inspección y chequeo del funcionamiento del sensor. Calibración periódica del sensor de posición.  | 6M                | Técnico mecánico                  |  |
| 3                         | A  | 3  | N                           |   |   |   | S  |                  |    |                   |               |    | Mantenimiento del sistema de refrigeración del aceite, que incluya inspección y limpieza. Cambio de sellos.  | 1A                | Tecnico mecánico                  |  |
| 4                         | A  | 1  | N                           |   |   |   | S  |                  |    |                   |               |    | Cambio de sellos de los cilindros y mangueras.   | 3A                | Técnico mecánico                  |  |
| 4                         | A  | 2  | S                           | N | N | S | S  |                  |    |                   |               |    | Limpieza periódica del sistema de expulsión de la máquina.   | 6M                | Técnico mecánico                  |  |
| 4                         | B  | 1  | S                           | N | N | S | S  |                  |    |                   |               |    | Lubricación periódica de guías del sistema de expulsión (cilindro de expulsión). Lubricar ligeramente el casquillo de guía o la barra del expulsor.  | 3M                | Producción                        |  |

Tabla 47: Hoja de Decisión Unidad de Cierre, Inyectora.

Fuente: Elaboración propia.

| Hoja de Información RCM |   | Sistema             |   | Subsistema N°   |  | Facilitador   |  |
|-------------------------|---|---------------------|---|---|--|---|--|
|                         |   | Inyectora           |   | 2   |  | Mónica Soto   |  |
|                         |   | Subsistema          |   | Fecha   |  | Hoja  |  |
|                         |   | Unidad de inyección |   | 15-02-2024  |  | 1 de 1  |  |
| Funciones               |   | Falla funcional     |   | Modo de falla   |  | Efecto  |  |
| 1                       | Alimentar de material plástico granulado al cilindro de plastificación.   | A                   | El material no ingresa al cilindro de plastificación, deteniendo el proceso de inyección. | 1   | Falla del motor eléctrico de tolva.                        | El motor no gira, impidiendo la alimentación de material al cilindro de plastificación. |  |
|                         |   |                     |   | 2   | Sensor de nivel de la tolva defectuoso.                    | El sensor no detecta correctamente la cantidad de material en la tolva.                 |  |
| 2                       | Fundir y homogeneizar el material plástico granulado a 320° C.  | A                   | Fusión y homogeneización incompleta del material plástico.                                | 1   | Temperatura insuficiente en el cilindro de plastificación. | El material no se funde completamente, generando grumos.                                |  |
|                         |   | B                   | Bloqueo o atascamiento del material plástico en el husillo.                               | 1   | Presencia de material degradado en el husillo.             | Obstrucción parcial del flujo de material.  |  |
| 2                       | Fallo en el motor de giro del husillo.  |                     |   | El husillo no se mueve, deteniendo el proceso de inyección. |  |   |  |
| 3                       | Inyectar el material plastificado, sosteniendo la presión de compactación durante el proceso de solidificación. | A                   | Pérdida total de la capacidad de inyección.   | 1   | Fallo en la bomba hidráulica del sistema de inyección.     | No se genera la presión necesaria para inyectar el material.                            |  |
|                         |   | B                   | Pérdida de presión durante la fase de compactación.                                       | 1   | Fugas de aceite en el sistema hidráulico de inyección.     | Pérdida de presión en el sistema.   |  |
|                         |   | C                   | Variabilidad en la velocidad del husillo de inyección.                                    | 1   | Desgaste en los cojinetes del husillo.                     | Vibraciones anormales en el husillo, velocidad inestable.                               |  |
|                         |   | D                   | Fugas de material en la boquilla de inyección.  | 1   | Fugas en la conexión entre la boquilla y el molde.         | El material se escapa por la unión entre la boquilla y el molde.                        |  |

Tabla 48: Hoja de Información Unidad de Inyección, Inyectora.

Fuente: Elaboración propia.

| Hoja de Decisión RCM      |    |    |                             |   |   |   |    | Sistema             |    |                   | Subsistema N° |    |  |                   | Facilitador                       |  |
|---------------------------|----|----|-----------------------------|---|---|---|----|---------------------|----|-------------------|---------------|----|--|-------------------|-----------------------------------|--|
|                           |    |    |                             |   |   |   |    | Inyectora           |    |                   | 2             |    |  |                   | Mónica Soto                       |  |
|                           |    |    |                             |   |   |   |    | Subsistema          |    |                   | Fecha         |    |  |                   | Hoja                              |  |
|                           |    |    |                             |   |   |   |    | Unidad de inyección |    |                   | 05-03-2025    |    |  |                   | 1 de 1                            |  |
| Referencia de información |    |    | Evaluación de consecuencias |   |   |   | H1 | H2                  | H3 | Acción a falta de |               |    | Tarea Propuesta  | Intervalo Inicial | A realizarse por                  |  |
| F                         | FF | FM | H                           | S | E | O | O1 | O2                  | O3 | H4                | H5            | S4 |  |                   |                                   |  |
| 1                         | A  | 1  | N                           |   |   |   | N  | N                   | N  | S                 |               |    | Inspección de conexiones eléctricas y pruebas de funcionamiento de motor hidráulico.   | 1A                | Técnico mecánico                  |  |
| 1                         | A  | 2  | N                           |   |   |   | S  |                     |    |                   |               |    | Catibración y verificación periódica del sensor de tolva.  | 1A                | Técnico mecánico                  |  |
| 2                         | A  | 1  | S                           | N | N | N | S  |                     |    |                   |               |    | Monitoreo continuo de la temperatura del cilindro con alarmas .  | 1M                | Técnico mecánico                  |  |
| 2                         | A  | 1  | S                           | N | N | N | N  | S                   |    |                   |               |    | Estandarizar elementos calefactores y termocuplas según el molde y material utilizado (320° C y ABS).  | Tarea correctiva  | Supervisor mantenimiento          |  |
| 2                         | B  | 1  | N                           | N | S |   | N  | S                   |    |                   |               |    | Limpieza programada del husillo y cilindro. Eliminar material degradado y restos de plástico del interior del cilindro.  | 1A                | Técnico mecánico                  |  |
| 2                         | B  | 2  | N                           |   |   |   | S  |                     |    |                   |               |    | Inspección de sellos y desgaste en el motor hidráulico.  | 1A                | Técnico mecánico                  |  |
| 3                         | A  | 1  | N                           |   |   |   | S  |                     |    |                   |               |    | Monitoreo de presión hidráulica y vibraciones en la bomba. Realizar pruebas de flujo (medición de presión y caudal). Esto ayuda a evaluar el rendimiento de la bomba y garantizar su fiabilidad. | 1A                | Tecnico mecánico/<br>Especialista |  |
| 3                         | B  | 1  | S                           | S |   |   | N  | N                   | S  |                   |               |    | Cambio preventivo de sellos y mangueras en intervalos establecidos.  | 3A                | Técnico mecánico                  |  |
| 3                         | C  | 1  | N                           |   |   |   | S  |                     |    |                   |               |    | Monitoreo de vibraciones en el husillo y cojinetes.  | 1A                | Técnico mecánico                  |  |
| 3                         | D  | 1  | S                           | S |   |   | N  | N                   | N  | S                 |               |    | Inspección de sellado y ajuste de la boquilla en cada mantenimiento. De ser necesario realizar el cambio de boquilla.  | 6M                | Técnico mecánico                  |  |
| 4                         | D  | 2  | S                           | S |   |   | N  | N                   | N  | S                 |               |    | Verificar que no exista rebalse entre la boquilla de la inyectora y el bebedero del molde.   | 1M                | Producción                        |  |

Tabla 49: Hoja de Decisión Unidad de Inyección, Inyectora.

Fuente: Elaboración propia.

| Hoja de Información RCM |  | Sistema            |   | Subsistema N° |  | Facilitador   |  |
|-------------------------|--|--------------------|---|---------------|--|---|--|
|                         |  | Inyectora          |   | 3             |  | Mónica Soto   |  |
|                         |  | Subsistema         |   | Fecha         |  | Hoja  |  |
|                         |  | Sistema hidráulico |   | 15-02-2024    |  | 1 de 1  |  |
| Funciones               |  | Falla funcional    |   | Modo de falla |  | Efecto  |  |
| 1                       | Generación y suministro de presión hidráulica.       | A                  | Pérdida total de presión hidráulica.                      | 1             | Falla en la bomba hidráulica. Desgaste en el rotor.                  | Mal funcionamiento de los actuadores hidráulicos, pérdida de fuerza en el accionamiento.  |  |
|                         |  |                    |   | 2             | Falla en la bomba hidráulica. Fallo en el acoplamiento con el motor. | El motor gira sin transmitir la potencia a la bomba.  |  |
|                         |  |                    |   | 3             | Fallo en el motor. Sobre calentamiento del motor.                    | Pérdida total de capacidad del motor para accionar la bomba hidráulica.   |  |
|                         |  | B                  | Generación de cavitación en la bomba hidráulica.          | 1             | Obstrucciones en la entrada de la bomba.                             | Restricción del flujo de aceite hacia la bomba. Se generan ruidos (golpeteos). La cavitación en bombas daña los componentes del sistema (rotor, etc). |  |
| 2                       | Accionamiento del pistón de inyección.               | A                  | Fugas de aceite en el pistón de inyección.                | 1             | Desgaste o daño en los sellos del pistón.                            | Fugas de aceite en la zona del pistón, reducción de la presión en el actuador.  |  |
|                         |  |                    |   | 2             | Pérdida de ajuste o aflojamiento en las conexiones hidráulicas.      | Pérdida de presión hidráulica, imposibilidad de accionar el pistón.   |  |
| 3                       | Accionamiento del pistón de cierre del molde.        | A                  | Fugas de aceite en el pistón de cierre.                   | 1             | Desgaste o daño en los sellos del pistón.                            | Fugas de aceite en la zona del pistón, reducción de la presión en el actuador.  |  |
|                         |  |                    |   | 2             | Pérdida de ajuste o aflojamiento en las conexiones hidráulicas.      | Pérdida de presión hidráulica, imposibilidad de accionar el pistón.   |  |
| 4                       | Filtración y limpieza del fluido hidráulico.         | A                  | Fluido hidráulico contaminado con partículas o impurezas. | 1             | Desgaste o rotura en los sellos del sistema hidráulico.              | Ingreso de partículas en el fluido hidráulico, contaminación del sistema.   |  |
|                         |  |                    |   | 2             | Presencia de humedad en el fluido hidráulico.                        | Corrosión en componentes del sistema.   |  |
|                         |  |                    |   | 3             | Residuos generados por degradación del aceite hidráulico.            | Acumulación de lodos en el sistema hidráulico, obstrucción de filtros.  |  |
|                         |  | B                  | Saturación o bloqueo de los filtros hidráulicos.          | 1             | Colapso mecánico del material filtrante.                             | Pérdida de capacidad de filtración, ingreso de partículas en el sistema.  |  |
| 5                       | Almacenamiento y distribución del fluido hidráulico. | A                  | Nivel insuficiente de fluido hidráulico en el estanque.   | 1             | Fallo en el sensor de nivel del tanque.                              | Lecturas incorrectas del nivel de fluido hidráulico.  |  |
|                         |  |                    |   | 2             | Fugas en el sistema hidráulico.                                      | Pérdida de presión hidráulica.  |  |
|                         |  | B                  | Sobre calentamiento del fluido hidráulico en el estanque. | 1             | Fallo en el sistema de refrigeración del fluido hidráulico.          | Aumento de la temperatura del aceite.   |  |
|                         |  |                    |   | 2             | Rotura de mangueras hidráulicas.                                     | Fugas de aceite a alta presión, pérdida de control del sistema.   |  |

Tabla 50: Hoja de Información Sistema Hidráulico, Inyectora.

Fuente: Elaboración propia.

| Hoja de Decisión RCM      |    |    |                             |   |   |   |    | Sistema            |    |                   | Subsistema N° |    |  | Facilitador       |                  |  |
|---------------------------|----|----|-----------------------------|---|---|---|----|--------------------|----|-------------------|---------------|----|--|-------------------|------------------|--|
|                           |    |    |                             |   |   |   |    | Inyectora          |    |                   | 3             |    |  | Mónica Soto       |                  |  |
|                           |    |    |                             |   |   |   |    | Subsistema         |    |                   | Fecha         |    |  | Hoja              |                  |  |
|                           |    |    |                             |   |   |   |    | Sistema hidráulico |    |                   | 05-03-2025    |    |  | 1 de 1            |                  |  |
| Referencia de información |    |    | Evaluación de consecuencias |   |   |   | H1 | H2                 | H3 | Acción a falta de |               |    | Tarea Propuesta  | Intervalo Inicial | A realizarse por |  |
| F                         | FF | FM | H                           | S | E | O | O1 | O2                 | O3 | H4                | H5            | S4 |  |                   |                  |  |
| 1                         | A  | 1  | S                           | N | N | S | N  | N                  | N  | S                 |               |    | Inspección periódica de la bomba hidráulica. Overhaul.   | 2A                | Técnico mecánico |  |
| 1                         | A  | 2  | S                           | N | N | S | N  | N                  | N  | S                 |               |    | Verificación de alineación y ajuste del acoplamiento.  | 2A                | Técnico mecánico |  |
| 1                         | A  | 3  | S                           | N | N | S | S  |                    |    |                   |               |    | Lubricación de los componentes del acoplamiento .  | 6M                | Técnico mecánico |  |
| 1                         | A  | 3  | S                           | N | N | S | S  |                    |    |                   |               |    | Monitoreo de temperatura del motor con sensores térmicos. Realizar termografía.  | 1A                | Técnico mecánico |  |
| 1                         | A  | 3  | S                           | N | N | S | N  | S                  |    |                   |               |    | Mantenimiento del sistema de ventilación y refrigeración del motor .   | 1A                | Técnico mecánico |  |
| 1                         | B  | 1  | N                           |   |   |   | S  |                    |    |                   |               |    | Limpieza regular de los filtros de succión.  | 1A                | Técnico mecánico |  |
| 2                         | A  | 1  | S                           | S |   |   | N  | N                  | N  | S                 |               |    | Inspección visual de fugas y desgaste en sellos del cilindro.  | 1S                | Técnico mecánico |  |
| 2                         | A  | 2  | S                           | N | N | S | N  | N                  | N  | S                 |               |    | Ajuste de conexiones con control de torque .   | 6M                | Técnico mecánico |  |
| 3                         | A  | 1  | S                           | N | N | S | N  | N                  | N  | S                 |               |    | Inspección visual de fugas y desgaste en sellos.   | 1S                | Técnico mecánico |  |
| 3                         | A  | 2  | S                           | N | N | S | N  | N                  | N  | S                 |               |    | Ajuste de conexiones con control de torque .   | 6M                | Técnico mecánico |  |
| 4                         | A  | 1  | N                           |   |   |   | N  | N                  | N  | S                 |               |    | Revisión periódica de fugas en el sistema (mangueras, conexiones, cilindros, sellos).  | 1S                | Técnico mecánico |  |
|                           |    |    |                             |   |   |   | N  | N                  | S  |                   |               |    | Reemplazo programado de sellos y mangueras.  | 3A                | Técnico mecánico |  |
| 4                         | A  | 2  | N                           |   |   |   | N  | N                  | S  |                   |               |    | Cambio del aceite.   | 5A                | Técnico mecánico |  |
| 4                         | A  | 3  | N                           |   |   |   | S  |                    |    |                   |               |    | Comprobar el aceite hidráulico en cuanto a partículas de suciedad según ISO 4406.  | 2A                | Especialista     |  |
| 4                         | A  | 3  | N                           |   |   |   | S  |                    |    |                   |               |    | Análisis del fluido hidráulico para determinar su estado químico.  | 2A                | Especialista     |  |
| 4                         | B  | 1  | N                           |   |   |   | N  | N                  | S  |                   |               |    | Limpieza de filtro. Realizar inspección del estado del filtro, en caso de presentar deterioro, solicitar el cambio del filtro.   | 1A                | Técnico mecánico |  |
| 5                         | A  | 1  | N                           |   |   |   | N  | N                  | N  | S                 |               |    | Prueba de calibración del sensor de nivel del estanque.  | 1A                | Técnico mecánico |  |
| 5                         | A  | 2  | S                           | S |   |   | N  | S                  |    |                   |               |    | Realizar limpieza del estanque para evitar la acumulación de contaminantes. Cuando el aceite esta expuesto a temperaturas elevadas, este se degrada, formando lodos en el sistema.                               | 2A                | Técnico mecánico |  |
| 5                         | B  | 1  | N                           |   |   |   | N  | S                  |    |                   |               |    | Limpieza y mantenimiento de intercambiadores térmicos. Realizar limpieza interna de los tubos de refrigeración, hacer circular liquido de limpieza para eliminar posibles incrustaciones de sarro en el sistema. | 1A                | Técnico mecánico |  |
| 5                         | B  | 2  | S                           | S |   |   | S  |                    |    |                   |               |    | Inspección visual de desgaste y termográfica de mangueras hidráulicas.   | 1A                | Técnico mecánico |  |

Tabla 51: Hoja de Decisión Sistema Hidráulico, Inyectora.

Fuente: Elaboración propia.

| Hoja de Información RCM |   | Sistema           |  |   | Subsistema N°   |   | Facilitador |  |
|-------------------------|---|-------------------|--|---|---|---|-------------|--|
|                         |   | Inyectora         |  |   | 4   |   | Mónica Soto |  |
|                         |   | Subsistema        |  |   | Fecha   |   | Hoja        |  |
|                         |   | Sistema eléctrico |  |   | 15-02-2024  |   | 1 de 1      |  |
| Funciones               |   | Falla funcional   |  |   | Modo de falla   |   | Efecto      |  |
| 1                       | Suministro y distribución de energía eléctrica.               | A                 | Pérdida el suministro eléctrico.   | 1 | Falla en el interruptor general.                                      | Pérdida total de energía en la inyectora.   |             |  |
|                         |   |                   |  | 2 | Activación del sistema de protección ante sobrecarga o cortocircuito. | Desconexión del sistema por sobrecarga.   |             |  |
| 2                       | Protección y seguridad del sistema eléctrico.                 | A                 | Pérdida de la función de aislamiento eléctrico, generando riesgo de descargas.           | 1 | Deterioro del aislamiento en cables eléctricos.                       | Fugas de corriente, posible cortocircuito y riesgo de descargas eléctricas.   |             |  |
| 3                       | Regulación y conversión de energía eléctrica.                 | A                 | Falta de conversión de voltaje por fallo en el transformador.                            | 1 | Sobrecalentamiento del transformador.                                 | Pérdida de eficiencia en la conversión de voltaje, reducción de la vida útil del transformador.   |             |  |
| 4                       | Gestión térmica y disipación de calor.                        | A                 | Pérdida total o parcial de la función de disipación térmica del intercambiador de calor. | 1 | Obstrucción en circuitos de agua del intercambiador de calor.         | Reducción de la eficiencia en la disipación térmica, incremento de la temperatura en el sistema eléctrico.  |             |  |
| 5                       | Visualización y monitoreo del sistema eléctrico y de control. | A                 | Fallo en la retroalimentación de alarmas o advertencias del sistema eléctrico.           | 1 | Falla en los actuadores de alarma (luces o sonido de advertencia).    | Las alarmas visuales o sonoras no se activan ante fallos en el sistema eléctrico, es decir, los operadores no reciben advertencias en caso de eventos críticos. |             |  |

Tabla 52: Hoja de Información Sistema Eléctrico, Inyectora.

Fuente: Elaboración propia.

| Hoja de Decisión RCM      |    |    |                             |   |   |   |          | Sistema           |          |    | Subsistema N° |                 |                   |                  | Facilitador |    |  |    |                   |
|---------------------------|----|----|-----------------------------|---|---|---|----------|-------------------|----------|----|---------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------|----|--|----|-------------------|
|                           |    |    |                             |   |   |   |          | Inyectora         |          |    | 4             |                 |                   |                  | Mónica Soto |    |  |    |                   |
|                           |    |    |                             |   |   |   |          | Subsistema        |          |    | Fecha         |                 |                   |                  | Hoja        |    |  |    |                   |
|                           |    |    |                             |   |   |   |          | Sistema eléctrico |          |    | 05-03-2025    |                 |                   |                  | 1 de 1      |    |  |    |                   |
| Referencia de información |    |    | Evaluación de consecuencias |   |   |   |          | Acción a falta de |          |    |               | Tarea Propuesta | Intervalo Inicial | A realizarse por |             |    |  |    |                   |
| F                         | FF | FM | H                           | S | E | O | H1<br>S1 | H2<br>S2          | H3<br>S3 | O3 |               |                 |                   |                  | H4          | H5 | S4   |    |                   |
| 1                         | A  | 1  | S                           | N | N | S | N        | N                 | N        | S  |               |                 |                   |                  |             |    | Inspección y prueba periódica del interruptor general.<br>Verificar visualmente el estado del interruptor, buscando signos de sobrecalentamiento o desgaste.<br>Activar y desactivar el interruptor bajo condiciones controladas para asegurar su correcto funcionamiento.<br>Medir la resistencia de los contactos para detectar desgaste.        | 1A | Técnico Eléctrico |
| 1                         | A  | 2  | S                           | N | N | S | S        |                   |          |    |               |                 |                   |                  |             |    | Verificación de calibración y respuesta del sistema de protección ante sobrecarga.<br>Revisión e inspección del sistema de protección (fusibles, disyuntores, relés térmicos).<br>Inspeccionar las conexiones eléctricas para detectar signos de calentamiento.<br>Medir el consumo eléctrico de los circuitos para detectar posibles sobrecargas. | 6M | Técnico Eléctrico |
| 2                         | A  | 1  | S                           | S |   |   | S        |                   |          |    |               |                 |                   |                  |             |    | Revisión de aislamiento en cables eléctricos y detección de puntos calientes.<br>Realización de termografías.  | 6M | Técnico Eléctrico |
| 3                         | A  | 1  | N                           |   |   |   | S        |                   |          |    |               |                 |                   |                  |             |    | Revisión térmica del transformador y mantenimiento de su sistema de refrigeración.   | 6M | Técnico Eléctrico |
| 4                         | A  | 1  | N                           |   |   |   | N        | S                 |          |    |               |                 |                   |                  |             |    | Limpieza y eliminación de obstrucciones en circuitos de agua del intercambiador.   | 6M | Técnico Eléctrico |
| 5                         | A  | 1  | N                           |   |   |   | N        | N                 | N        | S  |               |                 |                   |                  |             |    | Prueba periódica de alarmas visuales y sonoras.  | 1A | Técnico Eléctrico |

Tabla 53: Hoja de Decisión Sistema Eléctrico, Inyectora.

Fuente: Elaboración propia.

| Hoja de Información RCM |   | Sistema                  |  | Subsistema N° |   | Facilitador   |                                    |
|-------------------------|---|--------------------------|--|---------------|---|---|------------------------------------|
|                         |   | Inyectora                |  | 5             |   | Mónica Soto   |                                    |
|                         |   | Subsistema               |  | Fecha         |   | Hoja  |                                    |
|                         |   | Sistema de refrigeración |  | 03-03-2024    |   | 1 de 1  |                                    |
| Funciones               |   | Falla funcional          |  | Modo de falla |   | Efecto  |                                    |
| 1                       | Suministro y distribución de agua de refrigeración desde la inyectora al molde. | A                        | Pérdida total del suministro de agua de refrigeración.                   | 1             | Fallo en la bomba de agua de refrigeración.   | La bomba de agua deja de funcionar, deteniendo el flujo de refrigerante a los moldes y otros subsistemas. El efecto inmediato es la reducción de la eficiencia en el enfriamiento de los moldes, aumentando el tiempo de ciclo. |                                    |
|                         |   | B                        | Obstrucción en las líneas de distribución.                               | 1             | Acumulación de sedimentos en los conductos internos. Formación de incrustaciones o depósitos minerales en las tuberías. | Los conductos se reducen progresivamente por la acumulación de residuos, disminuyendo el flujo de refrigerante, generando un mayor consumo energético en la bomba de agua debido a la obstrucción.                              |                                    |
|                         |   |                          |  | 2             | Falla en el manifold de distribución del agua de refrigeración al molde.  | La distribución del refrigerante se ve afectada, generando zonas con enfriamiento insuficiente o nulo, presentando zonas calientes en los moldes y afectando la calidad de moldeo de la piezas.                                 |                                    |
|                         |   | C                        | Rotura de mangueras que conectan el manifold de la inyectora y el molde. | 1             | Envejecimiento y degradación del material de la manguera.   | La manguera pierde flexibilidad y resistencia, generando fugas o colapsos parciales.  |                                    |
|                         |   |                          |  | 2             | Impacto o daño mecánico accidental.   | La manguera se perfora o rompe por un golpe externo, generando una fuga repentina y la interrupción del proceso de enfriamiento.  |                                    |
|                         |   | 2                        | Control y regulación del caudal de refrigeración.                        | B             | Fallo en las válvulas de control de refrigeración.  | 1   | Fugas en los sellos de la válvula. |
| 2                       | Fisuras en el cuerpo de la válvula.   |                          |  |               |   | El material del cuerpo de la válvula presenta microfisuras o grietas que permiten la fuga de refrigerante se persiben fugas visibles de agua.   |                                    |
| 3                       | Sellado y prevención de fugas.  | A                        | Fugas de agua en los conectores rápidos del sistema.                     | 1             | Corrosión en los conectores rápidos.  | El contacto prolongado con el refrigerante, humedad o productos químicos agresivos deteriora el material de las conexiones, causando su debilitamiento y posterior fuga.  |                                    |

Tabla 54: Hoja de Información Sistema de Refrigeración, Inyectora.

Fuente: Elaboración propia.

| Hoja de Decisión RCM      |    |    |                             |   |   |   |    | Sistema                  |    |    | Subsistema N°     |    |  | Facilitador   |                   |                          |
|---------------------------|----|----|-----------------------------|---|---|---|----|--------------------------|----|----|-------------------|----|--|---|-------------------|--------------------------|
|                           |    |    |                             |   |   |   |    | Inyectora                |    |    | 5                 |    |  | Mónica Soto   |                   |                          |
|                           |    |    |                             |   |   |   |    | Subsistema               |    |    | Fecha             |    |  | Hoja  |                   |                          |
|                           |    |    |                             |   |   |   |    | Sistema de refrigeración |    |    | 05-03-2025        |    |  | 1 de 1  |                   |                          |
| Referencia de información |    |    | Evaluación de consecuencias |   |   |   |    | H1                       | H2 | H3 | Acción a falta de |    |  | Tarea Propuesta   | Intervalo Inicial | A realizarse por         |
| F                         | FF | FM | H                           | S | E | O | S1 | S2                       | S3 | H4 | H5                | S4 |  |   |                   |                          |
| 1                         | A  | 1  | S                           | N |   |   | S  |                          |    |    |                   |    |  | Inspección periódica del estado de la bomba y medición de flujo del agua de refrigeración.  | 6M                | Técnico Mecánico         |
| 1                         | B  | 1  | N                           |   |   |   | N  | S                        |    |    |                   |    |  | Implementación de un plan de limpieza química y mecánica a los conductos de refrigeración y manifolds, para prevenir acumulaciones. | 1A                | Técnico Mecánico         |
| 1                         | B  | 1  | N                           |   |   |   | S  |                          |    |    |                   |    |  | Control de calidad del agua utilizada en refrigeración.   | 6M                | Técnico Mecánico         |
| 1                         | B  | 2  | S                           | N | N | S | N  | N                        | N  | S  |                   |    |  | Inspección visual y ajuste periódico de conexiones del manifold.  | 3M                | Técnico Mecánico         |
| 1                         | C  | 1  | S                           | S |   |   | N  | N                        | S  |    |                   |    |  | Cambio de mangueras debido a la degradación térmica y química.  | 1M                | Producción               |
| 1                         | C  | 2  | S                           | S |   |   | N  | N                        | N  | S  |                   |    |  | Capacitación al personal en manipulación segura de mangueras.   | 1A                | Seguridad/<br>Producción |
| 2                         | B  | 1  | S                           | S |   |   | N  | N                        | S  |    |                   |    |  | Uso de sellos de alta resistencia y reemplazo programado.   | 6M                | Técnico Mecánico         |
| 2                         | B  | 2  | S                           | S |   |   | N  | N                        | N  | S  |                   |    |  | Revisión periódica con pruebas de presión y detección de fugas.   | 6M                | Técnico Mecánico         |
| 3                         | A  | 1  | S                           | N | N | S | N  | N                        | S  |    |                   |    |  | Inspección y cambio de conectores rápidos.  | 3M                | Técnico Mecánico         |

Tabla 55: Hoja de Decisión Sistema de Refrigeración, Inyectora.

Fuente: Elaboración propia.

## 4.5.2 Molde

| Hoja de Información RCM |   |                 |   | Sistema              |  | Subsistema N°  |  | Facilitador |  |
|-------------------------|---|-----------------|---|----------------------|--|--|--|-------------|--|
|                         |   |                 |   | Molde de Inyección   |  | 1  |  | Mónica Soto |  |
|                         |   |                 |   | Subsistema           |  | Fecha  |  | Hoja        |  |
|                         |   |                 |   | Sistema de inyección |  | 03-03-2024   |  | 1 de 1      |  |
| Funciones               |   | Falla funcional |   | Modo de falla        |  | Efecto   |  |             |  |
| 1                       | Distribuir el material fundido hacia las cavidades del molde. | A               | Falla total en la distribución del material fundido | 1                    | Fallo en el sistema de calefacción   | Las resistencias eléctricas o sensores de temperatura fallan, impidiendo que el sistema mantenga la temperatura óptima para el flujo del material. Variaciones en la viscosidad del material, inyección defectuosa, posible solidificación del <u>polímero dentro del sistema.</u> |  |             |  |
|                         |   |                 |   | 2                    | Obstrucción total de boquilla de inyección de molde  | El material fundido no puede fluir por el canal de colada debido a bloqueos internos. No hay llenado de las cavidades del molde, piezas defectuosas o nulas, aumento de la presión en la máquina de inyección.   |  |             |  |
|                         |   |                 |   | 3                    | Rebalse en zona bebedero molde y boquilla de inyectora por abolladura en zona bebedero molde | El material inyectado fluye fuera del sistema de inyección, derramándose en la zona de la boquilla y bebedero. Desperdicio de material (rebalse) generando un aumento de los tiempos no productivos y piezas defectuosas.  |  |             |  |

Tabla 56: Hoja de Información Sistema de Inyección, Molde.

Fuente: Elaboración propia.

| Hoja de Decisión RCM      |    |    |                             |   |   |   |          | Sistema              |          |                   | Subsistema N° |    |                 | Facilitador  |                    |                          |
|---------------------------|----|----|-----------------------------|---|---|---|----------|----------------------|----------|-------------------|---------------|----|-----------------|--|--------------------|--------------------------|
|                           |    |    |                             |   |   |   |          | Molde de inyección   |          |                   | 1             |    |                 | Mónica Soto  |                    |                          |
|                           |    |    |                             |   |   |   |          | Subsistema           |          |                   | Fecha         |    |                 | Hoja   |                    |                          |
|                           |    |    |                             |   |   |   |          | Sistema de inyección |          |                   | 10-03-2025    |    |                 | 1 de 1   |                    |                          |
| Referencia de información |    |    | Evaluación de consecuencias |   |   |   | H1<br>S1 | H2<br>S2             | H3<br>S3 | Acción a falta de |               |    | Tarea Propuesta | Intervalo Inicial  | A realizarse por   |                          |
| F                         | FF | FM | H                           | S | E | O | O1       | O2                   | O3       | H4                | H5            | S4 |                 |  |                    |                          |
| 1                         | A  | 1  | S                           | N | N | S | S        |                      |          |                   |               |    |                 | Pruebas de funcionamiento del sistema de control térmico utilizan equipo de control de temperatura de molde. Verificar que la temperatura de los calefactores se eleven a 320° C en un periodo de 10 a 15 minutos. | Cada 10.000 ciclos | Técnico matricero        |
|                           |    |    |                             |   |   |   | N        | S                    |          |                   |               |    |                 | Estandarizar elementos calefactores y termocuplas según el molde y material utilizado (320° Cy ABS).   | Tarea correctiva   | Supervisor mantenimiento |
| 1                         | A  | 2  | S                           | N | N | S | N        | S                    |          |                   |               |    |                 | Filtrado del material fundido antes de ingresar al sistema de inyección del molde. Instalar filtro en boquilla de inyección de máquina inyectora.  | Tarea correctiva   | Técnico mecánico         |
| 1                         | A  | 3  | S                           | S |   |   | N        | N                    | N        | S                 |               |    |                 | Inspección del estado del bebedero del molde. Verificar que no se presenten abolladuras.   | Cada 40.000 ciclos | Técnico matricero        |

**Tabla 57: Hoja de Decisión Sistema de Inyección, Molde.**  
Fuente: Elaboración propia.

| Hoja de Información RCM |  |   |  | Sistema            |   |   | Subsistema N° |  |  | Facilitador |  |
|-------------------------|--|---|--|--------------------|---|---|---------------|--|--|-------------|--|
|                         |  |   |  | Molde de inyección |   |   | 2             |  |  | Mónica Soto |  |
|                         |  |   |  | Subsistema         |   |   | Fecha         |  |  | Hoja        |  |
|                         |  |   |  | Sistema de moldeo  |   |   | 03-03-2025    |  |  | 1 de 1      |  |
| Funciones               |  |   |  | Falla funcional    |   |   | Modo de falla |  |  | Efecto      |  |
| 1                       | Dar forma a la pieza con precisión dimensional y calidad superficial adecuada. | A | Falla en la precisión dimensional de la pieza. La pieza moldeada no cumple con las dimensiones especificadas, generando defectos de tamaño o ajuste. | 1                  | Desgaste excesivo de las cavidades, insertos o postizos.  | Se produce una erosión progresiva en las cavidades del molde, insertos o postizos, lo que provoca cambios en la geometría de la pieza moldeada. Piezas con dimensiones fuera de tolerancia, falta de ajuste en ensamblajes, mayor variabilidad en las dimensiones de las piezas producidas. |               |  |  |             |  |
|                         |  |   |  | 2                  | Deformaciones en la pieza debido a un enfriamiento desigual de las cavidades.   | Se generan diferencias de temperatura en distintas zonas de la cavidad del molde, causando contracciones irregulares en la pieza moldeada. Piezas con curvaturas no deseadas, diferencias de espesor en zonas críticas, dimensiones inconsistentes.   |               |  |  |             |  |
|                         |  | B | Falla en la calidad superficial de la pieza. La superficie de la pieza presenta defectos que afectan su apariencia o funcionalidad.                  | 1                  | Cavidades desgastadas o dañadas, generando imperfecciones en la superficie (estética de la pieza).  | El desgaste de las cavidades provoca que la superficie de la pieza adquiera texturas no deseadas. Presencia de irregularidades, rugosidad excesiva o deformaciones en la superficie de la pieza.  |               |  |  |             |  |
|                         |  | C | Falla que produce la generación de rebabas en la pieza.  | 1                  | Cierre de molde deforme, el ajuste entre el postizo que tiene la forma de la pieza y la placa porta molde esta desalinado, generando rebabas.                         | Se genera una separación entre las partes del molde, permitiendo que el material fluya fuera de la cavidad de inyección. Rebabas en los bordes de la pieza.   |               |  |  |             |  |
|                         |  | D | Falla que produce un aporte de material no deseado en la pieza.  | 1                  | Rebaba en zona expulsora, se observa una cantidad de material extra en esta zona, generando un defecto de calidad que puede afectar el armado de esta pieza con otra. | Se genera un exceso de material en la zona de expulsión, formando una acumulación de material no deseada. Defecto de calidad que puede interferir con el ensamblaje de la pieza.  |               |  |  |             |  |

**Tabla 58: Hoja de Información Sistema de Moldeo, Molde.**  
Fuente: Elaboración propia.

| Hoja de Decisión RCM      |    |    |                             |   |   |   |          | Sistema            |          |                   | Subsistema N° |    |   |   | Facilitador       |  |  |
|---------------------------|----|----|-----------------------------|---|---|---|----------|--------------------|----------|-------------------|---------------|----|---|---|-------------------|--|--|
|                           |    |    |                             |   |   |   |          | Molde de inyección |          |                   | 2             |    |   |   | Mónica Soto       |  |  |
|                           |    |    |                             |   |   |   |          | Subsistema         |          |                   | Fecha         |    |   |   | Hoja              |  |  |
|                           |    |    |                             |   |   |   |          | Sistema de moldeo  |          |                   | 10-03-2025    |    |   |   | 1 de 1            |  |  |
| Referencia de información |    |    | Evaluación de consecuencias |   |   |   | H1<br>S1 | H2<br>S2           | H3<br>S3 | Acción a falta de |               |    | Tarea Propuesta   | Intervalo Inicial                                   | A realizarse por  |  |  |
| F                         | FF | FM | H                           | S | E | O | O1       | O2                 | O3       | H4                | H5            | S4 |   |   |                   |  |  |
| 1                         | A  | 1  | S                           | N | N | S | N        | N                  | N        | S                 |               |    | Inspección periódica del desgaste en cavidades, insertos y postizos revisando las últimas piezas inyectadas.  | Cada 10.000 ciclos                                  | Técnico matricero |  |  |
| 1                         | A  | 2  | S                           | N | N | S | N        | N                  | S        |                   |               |    | Inspección y mantenimiento del sistema de refrigeración del molde. Realizar limpieza de los canales de refrigeración del molde.   | Cada 40.000 ciclos                                  | Técnico matricero |  |  |
|                           |    |    |                             |   |   |   | S        |                    |          |                   |               |    | Despilche de agua estancada posterior a una producción para evitar la acumulación de minerales en los canales de refrigeración.   | Cada término de producción (Mantenimiento Autónomo) | Producción        |  |  |
| 1                         | B  | 1  | S                           | N | N | S | N        | S                  |          |                   |               |    | Limpieza y eliminación de residuos en superficies de cierre (plástico degradado, óxido). Usar cepillos y solventes adecuados para remover partículas contaminantes.                                     | Cada 10.000 ciclos                                  | Técnico matricero |  |  |
| 1                         | C  | 1  | S                           | N | N | S | N        | N                  | N        | S                 |               |    | Inspección periódica de la alineación y ajuste del cierre del molde. Revisar alineación de placas y postizos. Revisar últimas piezas inyectadas.  | Cada 10.000 ciclos                                  | Técnico matricero |  |  |
| 1                         | D  | 1  | S                           | N | N | S | N        | N                  | S        |                   |               |    | Inspección del estado de los expulsores. De ser necesario sustituir los expulsores desgastados para evitar fugas de material. Revisar últimas piezas producidas para revisar condiciones de no calidad. | Cada 40.000 ciclos                                  | Técnico matricero |  |  |

Tabla 59: Hoja de Decisión Sistema de Moldeo, Molde.

Fuente: Elaboración propia.

| Hoja de Información RCM |  |  |  |  |  |  |  | Sistema                  |  |   | Subsistema N°  |   |  |  | Facilitador |  |  |
|-------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--------------------------|--|---|--|---|--|--|-------------|--|--|
|                         |  |  |  |  |  |  |  | Molde de Inyección       |  |   | 3  |   |  |  | Mónica Soto |  |  |
|                         |  |  |  |  |  |  |  | Subsistema               |  |   | Fecha  |   |  |  | Hoja        |  |  |
|                         |  |  |  |  |  |  |  | Sistema de refrigeración |  |   | 03-03-2025   |   |  |  | 1 de 1      |  |  |
| Funciones               |  |  |  |  |  |  |  | Falla funcional          |  |   | Modo de falla  |   |  |  | Efecto      |  |  |
| 1                       | Controlar la temperatura (25° C) del molde para garantizar una solidificación uniforme del material inyectado. |  |  |  |  |  |  | A                        | Falla en la uniformidad del enfriamiento del molde. El molde no mantiene una temperatura homogénea, generando diferencias en la solidificación del material inyectado. | 1 | Obstrucción parcial en uno o varios de los canales de refrigeración, reduciendo el flujo de agua.    | Piezas inyectadas pueden quedar retenidas en el molde por el efecto de una deficiencia en la refrigeración. También pueden haber defectos de calidad que comprometen la calidad estructural de la pieza o su estética.  |  |  |             |  |  |
|                         |  |  |  |  |  |  |  |                          |  | 2 | Fugas de agua por desgaste o deterioro en los sellos del sistema.                                    | Se reduce el flujo de refrigerante en el molde por fugas de agua, afectando la disipación de calor. Incremento de la temperatura en ciertas zonas del molde. Presencia de humedad o acumulación de agua en zonas cercanas al molde.   |  |  |             |  |  |
|                         |  |  |  |  |  |  |  |                          |  | 3 | Conectores dañados o mal ajustados, provocando fugas de agua y fluctuaciones en la presión del agua. | Disminución en la circulación del refrigerante, afectando el enfriamiento del molde. Fluctuaciones en la temperatura del molde durante la inyección. Zonas con sobrecalentamiento y otras con enfriamiento excesivo. Fugas visibles en los puntos de conexión del sistema de refrigeración. |  |  |             |  |  |
|                         |  |  |  |  |  |  |  | B                        | Pérdida total de refrigeración en el molde.  | 1 | Bloqueo total en los canales de refrigeración por acumulación de residuos o incrustaciones.          | Piezas con defectos de contracción, quemaduras o deformaciones. Aumento del tiempo de ciclo para intentar compensar la falta de enfriamiento.   |  |  |             |  |  |
|                         |  |  |  |  |  |  |  |                          |  | 2 | Fugas de agua por fisuras en los postizos del molde.   | Se forman grietas o fisuras en los canales de refrigeración, permitiendo la fuga total del refrigerante, por lo que se bloquea la refrigeración para producir igualmente con esta falla.  |  |  |             |  |  |

Tabla 60: Hoja de Información Sistema de Refrigeración, Molde.

Fuente: Elaboración propia.

| Hoja de Decisión RCM      |    |    |                             |   |   |   |    | Sistema                  |    |    |                   | Subsistema N° |  |   |   | Facilitador       |  |
|---------------------------|----|----|-----------------------------|---|---|---|----|--------------------------|----|----|-------------------|---------------|--|---|---|-------------------|--|
|                           |    |    |                             |   |   |   |    | Molde de inyección       |    |    |                   | 3             |  |   |   | Mónica Soto       |  |
|                           |    |    |                             |   |   |   |    | Subsistema               |    |    |                   | Fecha         |  |   |   | Hoja              |  |
|                           |    |    |                             |   |   |   |    | Sistema de refrigeración |    |    |                   | 10-03-2025    |  |   |   | 1 de 1            |  |
| Referencia de información |    |    | Evaluación de consecuencias |   |   |   |    | H1                       | H2 | H3 | Acción a falta de |               |  | Tarea Propuesta   | Intervalo Inicial                                   | A realizarse por  |  |
| F                         | FF | FM | H                           | S | E | O | O1 | O2                       | O3 | H4 | H5                | S4            |  |   |   |                   |  |
| 1                         | A  | 1  | S                           | N | N | S | N  | S                        |    |    |                   |               |  | Limpieza periódica de los canales de refrigeración. Utilizar productos desincrustantes y realizar enjuagues con agua tratada.   | Cada 40.000 ciclos                                  | Técnico matricero |  |
| 1                         | A  | 2  | S                           | S |   |   | N  | N                        | S  |    |                   |               |  | Realizar pruebas de funcionamiento al sistema de refrigeración, en caso de presentar fugas, realizar la revisión y sustitución programada de sellos de ser necesario. | Cada 40.000 ciclos                                  | Técnico matricero |  |
| 1                         | A  | 3  | S                           | S |   |   |    |                          |    |    |                   |               |  | Verificación del ajuste y estado de conectores. Revisar la presión del agua y realizar inspección visual de posibles fugas.   | Cada termino de producción (Mantenimiento Autónomo) | Producción        |  |
| 1                         | B  | 1  | S                           | N | N | S | N  | S                        |    |    |                   |               |  | Limpieza periódica de los canales de refrigeración. Utilizar productos desincrustantes y realizar enjuagues con agua tratada.   | Cada 40.000 ciclos                                  | Técnico matricero |  |
| 1                         | B  | 2  | S                           | S |   |   | N  | N                        | N  | S  |                   |               |  | Inspección con pruebas de presión para detectar fisuras. Aplicar presión controlada y detectar pérdidas de caudal en el sistema.                                      | Cada 40.000 ciclos                                  | Técnico matricero |  |

Tabla 61: Hoja de Decisión Sistema de Refrigeración, Molde.

Fuente: Elaboración propia.

| Hoja de Información RCM |  |   |   |  |  |  |  | Sistema              |  |  |  | Subsistema N° |  |  |  | Facilitador |  |
|-------------------------|--|---|---|--|--|--|--|----------------------|--|--|--|---------------|--|--|--|-------------|--|
|                         |  |   |   |  |  |  |  | Molde de Inyección   |  |  |  | 4             |  |  |  | Mónica Soto |  |
|                         |  |   |   |  |  |  |  | Subsistema           |  |  |  | Fecha         |  |  |  | Hoja        |  |
|                         |  |   |   |  |  |  |  | Sistema de expulsión |  |  |  | 03-03-2025    |  |  |  | 1 de 1      |  |
| Funciones               |  |   |   |  |  |  |  | Falla funcional      |  |  |  | Modo de falla |  |  |  | Efecto      |  |
| 1                       | Liberar todas las piezas inyectadas  | A | Falla en la expulsión total de la pieza moldeada. La pieza no se libera completamente del molde, quedando adherida o expulsada de forma incompleta.                   |  |  |  |  | 1                    | Expulsores desgastados o con falta de lubricación, impidiendo un movimiento suave.                 | Los expulsores no se desplazan correctamente debido a desgaste excesivo o falta de lubricación, lo que provoca fricción y trabas en el sistema. Piezas que se quedan atascadas en el molde o la expulsión es incompleta.   |  |               |  |  |  |             |  |
|                         |  |   |   |  |  |  |  | 2                    | Obstrucción en los agujeros de los expulsores por acumulación de residuos o material solidificado. | Los residuos del material inyectado o contaminantes se acumulan en los agujeros donde se alojan los expulsores, limitando su movimiento. Movimiento restringido de los expulsores. Expulsión forzada que puede dañar la pieza o el molde.  |  |               |  |  |  |             |  |
|                         |  |   |   |  |  |  |  | 3                    | Placa expulsora se atasca debido a desgaste.   | La placa expulsora pierde su alineación por desgaste o falta de mantenimiento, lo que genera un movimiento irregular de los expulsores. Expulsores que se traban o no aplican la fuerza de manera uniforme. Necesidad de realizar ajustes constantes en el sistema de expulsión.                         |  |               |  |  |  |             |  |
| 2                       | Distribuir la fuerza de expulsión de manera uniforme para evitar marcas visibles en la pieza moldeada sin dañarla ni deformarla. | A | Retención de pieza en el molde luego de ser inyectada. La pieza no se desprende completamente del molde, requiriendo reiterar la expulsión o una intervención manual. |  |  |  |  | 1                    | Excesiva rugosidad o defectos en la superficie de la cavidad del molde.                            | La rugosidad excesiva o defectos en la cavidad generan puntos de adherencia entre la pieza y el molde (retención).   |  |               |  |  |  |             |  |
|                         |  |   |   |  |  |  |  | 1                    | Expulsión con marcas o daños en la pieza moldeada  | Distribución desigual de los expulsores, generando puntos de presión excesiva en ciertas áreas. Los expulsores aplican fuerza de manera irregular, ejerciendo más presión en algunas zonas que en otras. Se generan marcas en la superficie de la pieza, que pueden afectar su estética y funcionalidad. |  |               |  |  |  |             |  |

Tabla 62: Hoja de Información Sistema de Expulsión, Molde.

Fuente: Elaboración propia.

| Hoja de Decisión RCM |    |    |               |   |   |   |    | Sistema                    |    |    |    | Subsistema N°   |  |                    |                   | Facilitador |  |
|----------------------|----|----|---------------|---|---|---|----|----------------------------|----|----|----|-----------------|--|--------------------|-------------------|-------------|--|
|                      |    |    |               |   |   |   |    | Molde de inyección         |    |    |    | 4               |  |                    |                   | Mónica Soto |  |
|                      |    |    |               |   |   |   |    | Subsistema                 |    |    |    | Fecha           |  |                    |                   | Hoja        |  |
|                      |    |    |               |   |   |   |    | Sistema de expulsión       |    |    |    | 10-03-2025      |  |                    |                   | 1 de 1      |  |
| Referencia de        |    |    | Evaluación de |   |   |   |    | H1 H2 H3 Acción a falta de |    |    |    | Tarea Propuesta | Intervalo Inicial  | A realizarse por   |                   |             |  |
| F                    | FF | FM | H             | S | E | O | S1 | S2                         | S3 | H4 | H5 |                 |  |                    | S4                |             |  |
| 1                    | A  | 1  | S             | N | N | S | N  | S                          |    |    |    |                 | Lubricación periódica de los expulsores según las especificaciones del fabricante.   | Cada 10.000 ciclos | Técnico matricero |             |  |
| 1                    | A  | 1  | S             | N | N | S | N  | N                          | N  | S  |    |                 | Inspección del estado de los expulsores. De ser necesario sustituir los expulsores desgastados para evitar fugas de material. Revisar últimas piezas producidas para revisar condiciones de no calidad.  | Cada 40.000 ciclos | Técnico matricero |             |  |
| 1                    | A  | 2  | S             | N | N | S | N  | S                          |    |    |    |                 | Limpieza regular de los agujeros de los expulsores con procedimientos de mantenimiento estandarizados.   | Cada 10.000 ciclos | Técnico matricero |             |  |
| 1                    | A  | 3  | S             | N | N | S | N  | N                          | N  | S  |    |                 | Lubricación de los pernos guía y mecanismo de desplazamiento de la placa. Inspección de la alineación de la placa expulsora.   | Cada 10.000 ciclos | Técnico matricero |             |  |
| 1                    | A  | 3  | S             | N | N | S | N  | S                          |    |    |    |                 | Lubricación de los pernos guía y mecanismo de desplazamiento de la placa. Inspección de la alineación de la placa expulsora.   | Cada 10.000 ciclos | Técnico matricero |             |  |
| 1                    | B  | 1  | S             | N | N | S | N  | N                          | N  | S  |    |                 | Inspección periódica del desgaste en cavidades, insertos y postizos revisando las últimas piezas inyectadas. En el caso de encontrar defectos en la pieza inyectada, coordinar la reparación correspondiente junto con el supervisor del área. | Cada 10.000 ciclos | Técnico matricero |             |  |
| 2                    | A  | 1  | S             | N | N | S | N  | S                          |    |    |    |                 | Inspección del estado de los expulsores. De ser necesario sustituir los expulsores desgastados para evitar fugas de material. Revisar últimas piezas producidas para revisar condiciones de no calidad.  | Cada 40.000 ciclos | Técnico matricero |             |  |

Tabla 63: Hoja de Decisión Sistema de Expulsión, Molde.

Fuente: Elaboración propia.

| Hoja de Información RCM |   |   |   |   |  |  |  | Sistema                |  |  |  | Subsistema N° |  |   |  | Facilitador  |  |
|-------------------------|---|---|---|---|--|--|--|------------------------|--|--|--|---------------|--|---|--|--|--|
|                         |   |   |   |   |  |  |  | Molde de Inyección     |  |  |  | 5             |  |   |  | Mónica Soto  |  |
|                         |   |   |   |   |  |  |  | Subsistema             |  |  |  | Fecha         |  |   |  | Hoja   |  |
|                         |   |   |   |   |  |  |  | Sistema de calefacción |  |  |  | 03-03-2025    |  |   |  | 1 de 1   |  |
| Funciones               |   |   |   |   |  |  |  | Falla funcional        |  |  |  | Modo de falla |  |   |  | Efecto   |  |
| 1                       | A | Mantener la temperatura óptima en el sistema de colada caliente para evitar la solidificación prematura del material. | A | Pérdida total de calefacción en el sistema de colada caliente |  |  |  |                        |  |  |  |               |  | 1 | Fallo de una o varias resistencias eléctricas por fatiga o daño térmico.                                 | Las resistencias eléctricas dejan de generar calor debido a un daño por fatiga térmica o deterioro interno. Pérdida total o parcial de calefacción en el sistema de colada caliente. Interrupción del proceso de inyección.                  |  |
|                         |   |   |   |   |  |  |  |                        |  |  |  |               |  | 2 | Fallo de una o varias resistencias eléctricas por rebalse de material en el sistema eléctrico del molde. | El material fundido se filtra en el sistema eléctrico, dañando las resistencias y provocando cortocircuitos. Generación de fallas eléctricas en el sistema de calefacción. Riesgo de cortocircuitos y daños en otros componentes eléctricos. |  |
|                         |   |   |   |   |  |  |  |                        |  |  |  |               |  | 3 | Conexión eléctrica defectuosa o mal ajuste en el suministro de energía.                                  | Una mala conexión interrumpe el suministro de energía a las resistencias eléctricas, impidiendo su correcto funcionamiento. Paradas de producción debido a falta de estabilidad térmica.   |  |
|                         |   |   |   |   |  |  |  |                        |  |  |  |               |  | 4 | Termocupla defectuosa o mal calibrada, generando lecturas erróneas de temperatura.                       | La termocupla no mide correctamente la temperatura real del sistema, enviando información errónea al controlador de calefacción. Sobrecalentamiento o enfriamiento del sistema de colada caliente.   |  |

Tabla 64: Hoja de Información Sistema de Calefacción, Molde.

Fuente: Elaboración propia.

| Hoja de Decisión RCM      |    |    |                             |   |   |   |    | Sistema                |    |    |                   | Subsistema N° |  |   |  | Facilitador        |                   |
|---------------------------|----|----|-----------------------------|---|---|---|----|------------------------|----|----|-------------------|---------------|--|---|--|--------------------|-------------------|
|                           |    |    |                             |   |   |   |    | Molde de inyección     |    |    |                   | 5             |  |   |  | Mónica Soto        |                   |
|                           |    |    |                             |   |   |   |    | Subsistema             |    |    |                   | Fecha         |  |   |  | Hoja               |                   |
|                           |    |    |                             |   |   |   |    | Sistema de calefacción |    |    |                   | 10-03-2025    |  |   |  | 1 de 1             |                   |
| Referencia de información |    |    | Evaluación de consecuencias |   |   |   |    | H1                     | H2 | H3 | Acción a falta de |               |  |   | Tarea Propuesta  | Intervalo Inicial  | A realizarse por  |
| F                         | FF | FM | H                           | S | E | O | S1 | S2                     | S3 | H4 | H5                | S4            |  |   |  |                    |                   |
| 1                         | A  | 1  | S                           | N | N | S | N  | N                      | N  | S  |                   |               |  |   | Pruebas de funcionamiento del sistema de control térmico utilizando equipo de control de temperatura de molde. Verificar que la temperatura de los calefactores se eleven a 320° C en un periodo de 10 a 15 minutos. En caso de no lograr elevar la temperatura a 320° grados, realizar una inspección del manifold de inyección y los elementos calefactores. | Cada 10.000 ciclos | Técnico matricero |
| 1                         | A  | 2  | S                           | N | N | S | N  | S                      |    |    |                   |               |  | Mantenimiento preventivo del cableado eléctrico, ajustando conexiones flojas y limpiando contactos. Inspeccionar estado de tomacorriente, de ser necesario programar cambio del elemento.   | Cada 40.000 ciclos   | Técnico matricero  |                   |
| 1                         | A  | 3  | S                           | N | N | S | N  | S                      |    |    |                   |               |  | Mantenimiento preventivo del cableado eléctrico, ajustando conexiones flojas y limpiando contactos. Inspeccionar estado de tomacorriente, de ser necesario programar cambio del elemento.   | Cada 40.000 ciclos   | Técnico matricero  |                   |
| 1                         | A  | 4  | S                           | N | N | S | N  | N                      | N  | S  |                   |               |  | Pruebas de funcionamiento del sistema de control térmico utilizando equipo de control de temperatura de molde. Verificar que la temperatura de los calefactores se eleven a 320° C en un periodo de 10 a 15 minutos. En caso de no lograr elevar la temperatura a 320° grados, realizar una inspección del manifold de inyección, elementos calefactores y termocuplas. | Cada 10.000 ciclos   | Técnico matricero  |                   |

Tabla 65: Hoja de Decisión Sistema de Calefacción, Molde.

Fuente: Elaboración propia.

| Hoja de Información RCM |   |                 |  | Sistema                       |   | Subsistema N°  |  | Facilitador |  |
|-------------------------|---|-----------------|--|-------------------------------|---|--|--|-------------|--|
|                         |   |                 |  | Molde de Inyección            |   | 6  |  | Mónica Soto |  |
|                         |   |                 |  | Subsistema                    |   | Fecha  |  | Hoja        |  |
|                         |   |                 |  | Sistema de guías y alineación |   | 03-03-2024   |  | 1 de 1      |  |
| Funciones               |   | Falla funcional |  | Modo de falla                 |   | Efecto   |  |             |  |
| 1                       | Asegurar el correcto cierre del molde evitando desalineaciones. | A               | Desalineación del molde durante el cierre. | 1                             | Falta de lubricación en las guías, causando fricción y cierre irregular.  | El aumento de fricción genera resistencia al movimiento del molde durante el cierre. La falta de lubricación provoca desgaste acelerado en las guías y casquillos.   |  |             |  |
|                         |   |                 |  | 2                             | Interferencia de residuos sólidos en la superficie de contacto de cierre. | La presencia de residuos impide un cierre hermético del molde. Se generan puntos de fuga donde el material puede escaparse durante la inyección. Rebabas visibles en la pieza moldeada. Marcas o impresiones de residuos en la superficie del molde. |  |             |  |

Tabla 66: Hoja de Información Sistema de Guías y Alineación, Molde.

Fuente: Elaboración propia.

| Hoja de Decisión RCM      |    |    |                             |   |   |   |          | Sistema                       |          |                   | Subsistema N° |    |  |                 | Facilitador  |                    |                   |
|---------------------------|----|----|-----------------------------|---|---|---|----------|-------------------------------|----------|-------------------|---------------|----|--|-----------------|--|--------------------|-------------------|
|                           |    |    |                             |   |   |   |          | Molde de inyección            |          |                   | 6             |    |  |                 | Mónica Soto  |                    |                   |
|                           |    |    |                             |   |   |   |          | Subsistema                    |          |                   | Fecha         |    |  |                 | Hoja   |                    |                   |
|                           |    |    |                             |   |   |   |          | Sistema de guías y alineación |          |                   | 10-03-2025    |    |  |                 | 1 de 1   |                    |                   |
| Referencia de información |    |    | Evaluación de consecuencias |   |   |   | H1<br>S1 | H2<br>S2                      | H3<br>S3 | Acción a falta de |               |    |  | Tarea Propuesta | Intervalo Inicial  | A realizarse por   |                   |
| F                         | FF | FM | H                           | S | E | O | O1       | O2                            | O3       | H4                | H5            | S4 |  |                 |  |                    |                   |
| 1                         | A  | 1  | S                           | N | N | S | N        | S                             |          |                   |               |    |  |                 | Lubricación programada de las guías y casquillos.<br>Aplicar lubricante específico para alta temperatura y carga mecánica.             | Cada 10.000 ciclos | Técnico matricero |
| 1                         | A  | 2  | S                           | N | N | S | N        | S                             |          |                   |               |    |  |                 | Limpieza y eliminación de residuos en superficies de cierre.<br>Usar cepillos y solventes adecuados para remover partículas abrasivas. | Cada 10.000 ciclos | Técnico matricero |

Tabla 67: Hoja de Decisión Sistema de Guías y Alineación, Molde.

Fuente: Elaboración propia.

| Hoja de Información RCM |   |                 |  |  |   |  |  | Sistema                |  |        | Subsistema N°  |  |  |  | Facilitador  |  |  |
|-------------------------|---|-----------------|--|--|---|--|--|------------------------|--|--------|--|--|--|--|--|--|--|
|                         |   |                 |  |  |   |  |  | Molde de inyección     |  |        | 7  |  |  |  | Mónica Soto  |  |  |
|                         |   |                 |  |  |   |  |  | Subsistema             |  |        | Fecha  |  |  |  | Hoja   |  |  |
|                         |   |                 |  |  |   |  |  | Sistema de ventilación |  |        | 03-03-2025   |  |  |  | 1 de 1   |  |  |
| Funciones               |   | Falla funcional |  |  |   | Modo de falla  |  |                        |  | Efecto |  |  |  |  |  |  |  |
| 1                       | Eliminar el aire o gas que atrapado dentro de la cavidad para evitar defectos como quemaduras o burbujas. |                 |  |  | A | Bloqueo total o parcial de las ranuras de ventilación. |  |                        |  | 1      | Acumulación de residuos de material fundido o impurezas en las ranuras de ventilación. |  |  |  | El aire atrapado no se elimina completamente, provocando defectos en la pieza moldeada.<br>Aparición de burbujas o defectos internos en la pieza moldeada. |  |  |

Tabla 68: Hoja de Información Sistema de Ventilación, Molde.

Fuente: Elaboración propia.

| Hoja de Decisión RCM      |    |    |                             |   |   |   |          | Sistema                |          |                   | Subsistema N° |    |  |                 | Facilitador   |                    |                   |
|---------------------------|----|----|-----------------------------|---|---|---|----------|------------------------|----------|-------------------|---------------|----|--|-----------------|---|--------------------|-------------------|
|                           |    |    |                             |   |   |   |          | Molde de inyección     |          |                   | 7             |    |  |                 | Mónica Soto   |                    |                   |
|                           |    |    |                             |   |   |   |          | Subsistema             |          |                   | Fecha         |    |  |                 | Hoja  |                    |                   |
|                           |    |    |                             |   |   |   |          | Sistema de ventilación |          |                   | 10-03-2025    |    |  |                 | 1 de 1  |                    |                   |
| Referencia de información |    |    | Evaluación de consecuencias |   |   |   | H1<br>S1 | H2<br>S2               | H3<br>S3 | Acción a falta de |               |    |  | Tarea Propuesta | Intervalo Inicial   | A realizarse por   |                   |
| F                         | FF | FM | H                           | S | E | O | O1       | O2                     | O3       | H4                | H5            | S4 |  |                 |   |                    |                   |
| 1                         | A  | 1  | S                           | N | N | S | N        | S                      |          |                   |               |    |  |                 | Limpieza periódica del sistema de ventilación (ranuras y canales de desgasificación). | Cada 40.000 ciclos | Técnico matricero |

Tabla 69: Hoja de Decisión Sistema de Ventilación, Molde.

Fuente: Elaboración propia.

## 4.6 Etapa 5. Programación del mantenimiento y optimización en la asignación de recursos

### 4.6.1 Inyectora

| Programación Mantenimiento Preventivo |  |  |                |                               |                                     |
|---------------------------------------|--|--|----------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| Área                                  |  | Sistema  | Fecha revisión |                               | Facilitador                         |
| Inyección                             |  | Inyectora  | 14-03-2025     |                               | Mónica Soto                         |
| Subsistema                            | Componente                                     | Tarea preventiva   | Área           | Frecuencia [horas operativas] | Duración de la intervención [horas] |
| Sistema hidráulico                    | Mangueras, conexiones, cilindro, sellos, motor | Realizar inspección de fugas en el sistema hidráulico (mangueras, conexiones, cilindro, sellos, motor), limpieza de filtros.   | Mecánico       | 50                            | 0,25                                |
| Unidad de Inyección                   | Cilindro de plástificación                     | Monitoreo continuo de la temperatura del cilindro.   | Mecánico       | 200                           | 1                                   |
| Unidad de Cierre                      | Plato fijo y móvil                             | Realizar el repaso de los hilos de orificios de ambas placas.  | Mecánico       | 200                           | 3                                   |
| Unidad de Cierre                      | Rieles y patines                               | Realizar limpieza y lubricación de rieles y patines.   | Mecánico       | 600                           | 2                                   |
| Sistema de Refrigeración              | Manifold, válvulas, conectores                 | Inspección visual y ajuste periódico de conexiones del manifold, válvulas de agua conectores. Identificar desgaste y realizar cambios de ser necesario.  | Mecánico       | 600                           | 1                                   |
| Unidad de Inyección                   | Boquilla de inyección                          | Inspección de sellado y ajuste de la boquilla en cada mantenimiento. De ser necesario realizar el cambio de boquilla.  | Mecánico       | 1.000                         | 2                                   |
| Unidad de Cierre                      | Sensor de posición                             | Inspección y chequeo del funcionamiento del sensor posición. Calibración periódica del sensor de posición.   | Mecánico       | 1.000                         | 0,5                                 |
| Unidad de Cierre                      | Sistema de expulsión                           | Limpieza periódica del sistema de expulsión de la máquina.   | Mecánico       | 1.000                         | 0,5                                 |
| Sistema Hidráulico                    | Conexiones hidráulicas                         | Ajuste de conexiones hidráulicas con control de torque .   | Mecánico       | 1.000                         | 2                                   |
| Sistema Eléctrico                     | Interruptor sobrecarga                         | Verificación de calibración y respuesta del sistema de protección ante sobrecarga.<br>Revisión e inspección del sistema de protección (fusibles, disyuntores, relés térmicos).<br>Inspeccionar las conexiones eléctricas para detectar signos de calentamiento.<br>Medir el consumo eléctrico de los circuitos para detectar posibles sobrecargas. | Mecánico       | 1.000                         | 1                                   |
| Sistema Eléctrico                     | Tablero  | Revisión de aislamiento en cables eléctricos y detección de puntos calientes. Realización de termografías.   | Mecánico       | 1.000                         | 1                                   |
| Sistema Eléctrico                     | Transformador                                  | Revisión térmica del transformador y mantenimiento de su sistema de refrigeración.   | Mecánico       | 1.000                         | 1                                   |
| Sistema Eléctrico                     | Intercambiador de calor                        | Limpieza y eliminación de obstrucciones en circuitos de agua del intercambiador.   | Mecánico       | 1.000                         | 1                                   |
| Sistema de Refrigeración              | Bomba de refrigeración                         | Inspección periódica del estado de la bomba y medición de flujo del agua de refrigeración.   | Mecánico       | 1.000                         | 2                                   |
| Sistema de Refrigeración              | Estanque de agua                               | Control de calidad del agua utilizada en refrigeración.  | Mecánico       | 1.000                         | 1                                   |

*Tabla 70: Programación mantenimiento proactivo Inyectora, parte 1.*

*Fuente: Elaboración propia.*

| Programación Mantenimiento Preventivo |                                      |  |                |                               |                                     |
|---------------------------------------|--------------------------------------|--|----------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| Área                                  |                                      | Sistema  | Fecha revisión |                               | Facilitador                         |
| Inyección                             |                                      | Inyectora  | 14-03-2025     |                               | Mónica Soto                         |
| Subsistema                            | Componente                           | Tarea preventiva   | Área           | Frecuencia [horas operativas] | Duración de la intervención [horas] |
| Unidad de Inyección                   | Sensor tolva                         | Calibración y verificación periódica del sensor de tolva.  | Mecánico       | 2.000                         | 0,5                                 |
| Unidad de Inyección                   | Husillo y cilindro de plastificación | Limpieza programada del husillo y cilindro. Eliminar material degradado y restos de plástico del interior del cilindro.  | Mecánico       | 2.000                         | 8                                   |
| Unidad de Cierre                      | Intercambiador de calor              | Limpieza y mantenimiento de intercambiadores térmicos. Realizar limpieza interna de los tubos de refrigeración, hacer circular líquido de limpieza para eliminar posibles incrustaciones de sarro en el sistema.   | Mecánico       | 2.000                         | 3                                   |
| Unidad de Cierre                      | Bomba hidráulica                     | Monitoreo de presión hidráulica y vibraciones en la bomba. Realizar pruebas de flujo (medición de presión y caudal). Esto ayuda a evaluar el rendimiento de la bomba y garantizar su fiabilidad.   | Especialista   | 2.000                         | -                                   |
| Sistema Hidráulico                    | Motor hidráulico                     | Inspección y pruebas de funcionamiento de motor hidráulico.  | Mecánico       | 2.000                         | 3                                   |
| Sistema Hidráulico                    | Motor hidráulico                     | Lubricación de los componentes del acoplamiento motor bomba hidráulica .   | Mecánico       | 2.000                         | 1                                   |
| Sistema Hidráulico                    | Motor hidráulico                     | Monitoreo de temperatura del motor con sensores térmicos. Realizar termografía.  | Mecánico       | 2.000                         | 1                                   |
| Sistema Hidráulico                    | Motor hidráulico                     | Mantenimiento del sistema de ventilación y refrigeración del motor .   | Mecánico       | 2.000                         | 2                                   |
| Sistema Hidráulico                    | Bomba hidráulica                     | Limpieza de filtro. Realizar inspección del estado del filtro, en caso de presentar deterioro, solicitar el cambio del filtro.   | Mecánico       | 2.000                         | 1                                   |
| Sistema Hidráulico                    | Estanque hidráulico                  | Prueba de calibración del sensor de nivel del estanque.  | Mecánico       | 2.000                         | 0,5                                 |
| Sistema Hidráulico                    | Mangueras hidráulicas                | Inspección visual de desgaste y termográfica de mangueras hidráulicas.   | Mecánico       | 2.000                         | 2                                   |
| Sistema Hidráulico                    | Motor hidráulico                     | Monitoreo de vibraciones en el husillo y cojinetes.  | Especialista   | 2.000                         | 1                                   |
| Sistema Eléctrico                     | Interruptos general                  | Inspección y prueba periódica del interruptor general. Verificar visualmente el estado del interruptor, buscando signos de sobrecalentamiento o desgaste. Activar y desactivar el interruptor bajo condiciones controladas para asegurar su correcto funcionamiento. Medir la resistencia de los contactos para detectar desgaste. | Mecánico       | 2.000                         | 1                                   |
| Sistema Eléctrico                     | Alarmas de seguridad                 | Prueba periódica de alarmas visuales y sonoras.  | Mecánico       | 2.000                         | 0,5                                 |
| Sistema de Refrigeración              | Sellos                               | Uso de sellos de alta resistencia y reemplazo programado.  | Mecánico       | 2.000                         | 2                                   |
| Sistema de Refrigeración              | Manifold y canales de refrigeración  | Implementación de un plan de limpieza química y mecánica a los conductos de refrigeración y manifolds, para prevenir acumulaciones.  | Mecánico       | 2.000                         | 2                                   |
| Unidad de Cierre                      | Válvulas hidráulicas                 | Inspección de válvulas hidráulicas y prueba de flujo de aceite (limpieza y ajustes).   | Mecánico       | 4.000                         | 3                                   |
| Sistema Hidráulico                    | Motor hidráulico                     | Verificación de alineación y ajuste del acoplamiento. Identificar signos de desgaste, reemplazar componentes de ser necesario.   | Mecánico       | 4.000                         | 1                                   |
| Sistema Hidráulico                    | Estanque hidráulico                  | Cambio de filtro.  | Mecánico       | 4.000                         | 2                                   |
| Sistema Hidráulico                    | Estanque hidráulico                  | Realizar limpieza del estanque para evitar la acumulación de contaminantes. Cuando el aceite esta expuesto a temperaturas elevadas, este se degrada, formando lodos en el sistema.   | Mecánico       | 4.000                         | 4                                   |
| Sistema Hidráulico                    | Estanque hidráulico                  | Comprobar el aceite hidráulico en cuanto a partículas de suciedad según ISO 4406.  | Especialista   | 4.000                         | -                                   |
| Sistema Hidráulico                    | Estanque hidráulico                  | Análisis del fluido hidráulico para determinar su estado químico.  | Especialista   | 4.000                         | -                                   |
| Sistema hidráulico                    | Mangueras, sellos                    | Cambio de sellos de lo cilindros y mangueras.  | Mecánico       | 6.000                         | 16                                  |
| Sistema Hidráulico                    | Estanque hidráulico                  | Cambio del aceite según recomendación del fabricante .   | Mecánico       | 10.000                        | 2                                   |

Tabla 71: Programación mantenimiento proactivo Inyectora, parte 2.

Fuente: Elaboración propia.

| Programación Mantenimiento Preventivo Autónomo |                       |  |                |                               |                                     |
|--|-----------------------|--|----------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| Área   |                       | Sistema  | Fecha revisión |                               | Facilitador                         |
| Inyección                                      |                       | Inyectora  | 14-03-2025     |                               | Mónica Soto                         |
| Subsistema                                     | Componente            | Tarea preventiva   | Área           | Frecuencia [horas operativas] | Duración de la intervención [horas] |
| Unidad de Inyección                            | Boquilla              | Verificar que no exista rebalse entre la boquilla de la inyectora y el bebedero del molde.   | Producción     | 50                            | 2                                   |
| Unidad de Cierre                               | Plato fijo y móvil    | Revisar condición de los pernos (desgaste de hilos, desgaste, oxido o corrosión).  | Producción     | 200                           | 0,2                                 |
| Unidad de Cierre                               | Plato fijo y móvil    | Realizar limpieza del plato, eliminando contaminación, presencia de oxido.   | Producción     | 200                           | 0,2                                 |
| Sistema de Refrigeración                       | Mangueras             | Cambio de mangueras debido a la degradación térmica y química.   | Producción     | 200                           | 1                                   |
| Unidad de Cierre                               | Cilindro de expulsión | Lubricación periódica de guías del sistema de expulsión (cilindro de expulsión).<br>Lubricar ligeramente el casquillo de guía o la barra del expulsor.<br>Lubricar el plato del acoplamiento expulsor. | Producción     | 600                           | 0,5                                 |

*Tabla 72: Programación mantenimiento preventivo autónomo Inyectora.*

*Fuente: Elaboración propia.*

| Programación Tareas Correctivas |                        |   |                          |                             |
|---------------------------------|------------------------|---|--------------------------|-----------------------------|
| Área                            |                        | Sistema   | Fecha revisión           | Facilitador                 |
| Inyección                       |                        | Inyectora   | 14-03-2025               | Mónica Soto                 |
| Subsistema                      | Componente             | Tarea Correctiva  | Área                     | Fecha límite implementación |
| Unidad de Inyección             | Resistencias inyectora | Estandarizar elementos calefactores y termocuplas según el molde y material utilizado (320° C y ABS). | Supervisor Mantenimiento | 2° Semestre 2025            |
| Sistema de Refrigeración        | Mangueras              | Capacitación al personal en manipulación segura de mangueras.   | Seguridad/ Producción    | 2° Semestre 2025            |

*Tabla 73: Programación tareas correctivas Inyectora.*

*Fuente: Elaboración propia.*

## 4.6.2 Molde

| Programación Mantenimiento Preventivo |                            |   |                |                    |                             |
|---------------------------------------|----------------------------|---|----------------|--------------------|-----------------------------|
| Área                                  |                            | Sistema   | Fecha revisión |                    | Facilitador                 |
| Inyección                             |                            | Molde   | 14-03-2025     |                    | Mónica Soto                 |
| Subsistema                            | Componente                 | Tarea preventiva  | Área           | Frecuencia         | Duración de la intervención |
| Sistema de Calefacción                | Resistencias eléctricas    | Pruebas de funcionamiento del sistema de control térmico utilizando equipo de control de temperatura de molde. Verificar que la temperatura de los calefactores se eleven a 320° Cen un periodo de 10 a 15 minutos.<br>En caso de no lograr elevar la temperatura a 320° grados, realizar una inspección del manifold de inyección, elementos calefactores y termocuplas. | Matricería     | Cada 10.000 ciclos | 30                          |
| Sistema de Expulsión                  | Expulsores                 | Lubricación periódica de los expulsores según las especificaciones del fabricante.  | Matricería     | Cada 10.000 ciclos | 30                          |
| Sistema de Expulsión                  | Expulsores                 | Limpieza regular de los agujeros de los expulsores con procedimientos de mantenimiento estandarizados.  | Matricería     | Cada 10.000 ciclos | 10                          |
| Sistema de Expulsión                  | Guías/Placa Guía           | Lubricación de los pernos guía y mecanismo de desplazamiento de la placa. Inspección de la alineación de la placa expulsora.  | Matricería     | Cada 10.000 ciclos | 5                           |
| Sistema de Guías y Alineación         | Guías y casquillos         | Lubricación programada de las guías y casquillos.<br>Aplicar lubricante específico para alta temperatura y carga mecánica.  | Matricería     | Cada 10.000 ciclos | 10                          |
| Sistema de Moldeo                     | Cavidades                  | Inspección periódica del desgaste en cavidades, insertos y postizos revisando las últimas piezas inyectadas. En el caso de encontrar defectos en la pieza inyectada, coordinar la reparación correspondiente junto con el supervisor del área.  | Matricería     | Cada 10.000 ciclos | 15                          |
| Sistema de Moldeo                     | Postizos                   | Inspección periódica de la alineación y ajuste del cierre del molde. Revisar alineación de placas y postizos. Revisar últimas piezas inyectadas.  | Matricería     | Cada 10.000 ciclos | 10                          |
| Sistema de Moldeo                     | Postizos                   | Limpieza y eliminación de residuos en superficies de cierre (plástico degradado, oxido).<br>Usar cepillos y solventes adecuados para remover partículas contaminantes.  | Matricería     | Cada 10.000 ciclos | 15                          |
| Sistema de Refrigeración              | Canales de refrigeración   | Inspección y mantenimiento del sistema de refrigeración del molde. En caso de encontrar problemas, coordinar nueva intervención.  | Matricería     | Cada 10.000 ciclos | 10                          |
| Sistema de Calefacción                | Conexiones eléctricas      | Mantenimiento preventivo del cableado eléctrico, ajustando conexiones flojas y limpiando contactos. Inspeccionar estado de tomacorriente, de ser necesario programar cambio del elemento.   | Matricería     | Cada 40.000 ciclos | 30                          |
| Sistema de Expulsión                  | Expulsores                 | Inspección del estado de los expulsores. De ser necesario sustituir los expulsores desgastados para evitar fugas de material. Revisar últimas piezas producidas para revisar condiciones de no calidad.   | Matricería     | Cada 40.000 ciclos | 10                          |
| Sistema de Inyección                  | Bebedero                   | Inspección del estado del bebedero del molde. Corroborar que no se presenten abolladuras.   | Matricería     | Cada 40.000 ciclos | 5                           |
| Sistema de Refrigeración              | Canales de refrigeración   | Limpieza periódica de los canales de refrigeración.<br>Utilizar productos desincrustantes y realizar enjuagues con agua tratada.  | Matricería     | Cada 40.000 ciclos | 60                          |
| Sistema de Refrigeración              | Sellos                     | Realizar pruebas de funcionamiento al sistema de refrigeración, en caso de presentar fugas, realizar la revisión y sustitución programada de sellos de ser necesario.   | Matricería     | Cada 40.000 ciclos | 15                          |
| Sistema de Refrigeración              | Postizos                   | Inspección con pruebas de presión para detectar fisuras.<br>Aplicar presión controlada y detectar pérdidas de caudal en el sistema.   | Matricería     | Cada 40.000 ciclos | 15                          |
| Sistema de Ventilación                | Ranuras de salida de gases | Limpieza periódica del sistema de ventilación (ranuras y canales de desgasificación).   | Matricería     | Cada 40.000 ciclos | 10                          |

*Tabla 74: Programación mantenimiento proactivo Molde de Inyección.*

*Fuente: Elaboración propia.*

| Programación Mantenimiento Preventivo Autónomo |                          |   |                |                            |                                   |
|--|--------------------------|---|----------------|----------------------------|-----------------------------------|
| Área   |                          | Sistema   | Fecha revisión |                            | Facilitador                       |
| Inyección                                      |                          | Molde   | 14-03-2025     |                            | Mónica Soto                       |
| Subsistema                                     | Componente               | Tarea preventiva  | Área           | Frecuencia                 | Duración de la intervención [min] |
| Sistema de Refrigeración                       | Canales de refrigeración | Despilche de agua estancada posterior a una producción para evitar la acumulación de minerales en los canales de refrigeración. | Producción     | Cada término de producción | 5                                 |
| Sistema de Moldeo                              | Cavidades                | Limpieza y mantenimiento regular de las cavidades del molde.  | Producción     | Diario                     | 15                                |
| Sistema de Refrigeración                       | Conectores               | Verificación del ajuste y estado de conectores.<br>Revisar la presión del agua y realizar inspección visual de posibles fugas.  | Producción     | Cada término de producción | 10                                |

*Tabla 75: Programación mantenimiento preventivo autónomo Molde de Inyección, parte 1.  
Fuente: Elaboración propia.*

| Programación Tareas Correctivas |   |   |                |                             |
|---------------------------------|---|---|----------------|-----------------------------|
| Área                            |   | Sistema   | Fecha revisión | Facilitador                 |
| Inyección                       |   | Molde   | 14-03-2025     | Mónica Soto                 |
| Subsistema                      | Componente                                | Tarea preventiva  | Área           | Fecha límite implementación |
| Sistema de Calefacción          | Resistencias eléctricas                   | Estandarizar elementos calefactores y termocuplas según el molde y material utilizado (320° Cy ABS).  | Matrickeria    | 2° Semestre 2025            |
| Sistema de Inyección            | Boquilla de inyección (máquina inyectora) | Filtrado del material fundido antes de ingresar al sistema de inyección del molde. Instalar filtro en boquilla de inyección de máquina inyectora. | Matrickeria    | 2° Semestre 2025            |

*Tabla 76: Programación tareas correctivas Molde de Inyección, parte 2.  
Fuente: Elaboración propia.*

## 4.7 Etapa 6. Evaluación y control de la ejecución del mantenimiento

Durante la presente etapa, se abordó la evaluación de la ejecución del mantenimiento con base en el diseño y planificación previamente establecidos. Si bien las nuevas tareas proactivas propuestas, orientadas a reducir la probabilidad de ocurrencia de modos de fallas críticos, ya han sido incorporadas al plan de mantenimiento, no fue posible observar sus resultados reales en terreno debido al limitado periodo de implementación disponible al cierre del estudio. No obstante, se realizó una proyección analítica de los indicadores de confiabilidad y disponibilidad, de forma general, tomando como base:

- Datos históricos de los modos de fallas de los activos y sus frecuencias, durante el año 2024.
- El nivel de criticidad y riesgo asociado a cada modo de falla.
- El detalle y frecuencia de las tareas proactiva propuestas, enmarcadas en un análisis RCM.
- Y la efectividad de cada tarea proactiva para la mitigación y/o eliminación de los modos de falla.

Mediante este enfoque, fue posible estimar una reducción significativa en la frecuencia de fallas, especialmente en aquellos equipos y subsistemas donde se propuso un aumento sustancial en las intervenciones proactivas. Esta proyección permitió calcular nuevos valores

para los indicadores clave (MTBF, MTTR, Disponibilidad, Confiabilidad), observándose mejoras considerables respecto a los valores históricos.

| Falla | Título falla                                 | Tareas proactivas Antes | Tareas proactivas Proyección | Reducción de la ocurrencia |
|-------|--|-------------------------|------------------------------|----------------------------|
| 1     | IN-006 - INYECTORA 6                         |                         |                              |                            |
| 1.A   | Fuga de agua manifold                        | 0                       | 5                            | 33%                        |
| 1.B   | Falla eléctrica cilindro de inyección        | 1                       | 4                            | 50%                        |
| 1.C   | Fuga de aceite zona inyección                | 4                       | 5                            | 100%                       |
| 1.D   | Rebalse de plástico                          | 0                       | 2                            | 100%                       |
| 2     | Molde 1733A - MASC DUPLEX STD USA NGEN BLANC |                         |                              |                            |
| 2.A   | Piezas con rebaba                            | 2                       | 5                            | 60%                        |
| 2.B   | Retención - Plástico pegado                  | 3                       | 5                            | 50%                        |
| 2.C   | Boquilla de molde tapada                     | 0                       | 1                            | 100%                       |
| 2.D   | Falla eléctrica                              | 1                       | 3                            | 50%                        |

Tabla 77: Reducción esperada en la ocurrencia de fallas con la implementación del Modelo de Gestión de Mantenimiento propuesto.  
Fuente: Elaboración propia.

Es importante considerar que para el cálculo de la confiabilidad se utiliza una distribución exponencial del indicador, representando de forma general la probabilidad de no fallo de los activos. Para un análisis más detallado, donde se quisiera analizar la confiabilidad en diferentes periodos de estudio (120 horas para este caso), se pueden utilizar otros métodos para calcular la confiabilidad del activo, como por ejemplo la distribución de Weibull, que analiza los modos de fallos históricos y su comportamiento durante un periodo de estudio dado. Este método será utilizado en la Etapa 7 con el fin de considerar el comportamiento de las fallas y su impacto en la evaluación de costos.

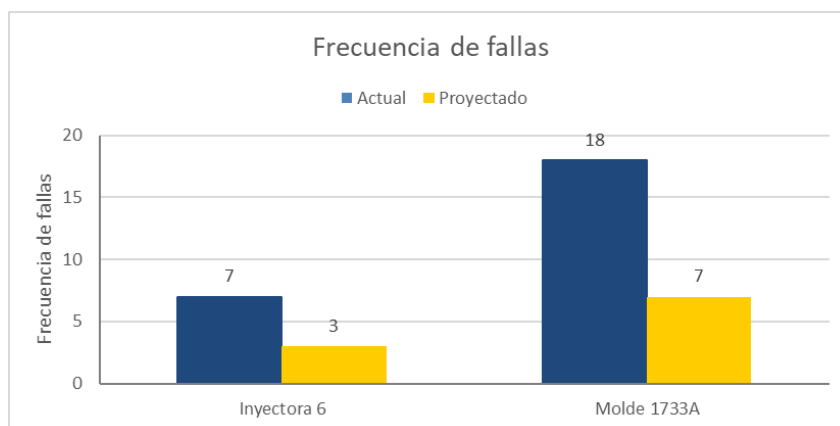
|                                   | Actual      |                                | Proyectado  |                                |
|-----------------------------------|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|
|                                   | Inyectora 6 | MASC DUPLEX STD USA NGEN BLANC | Inyectora 6 | MASC DUPLEX STD USA NGEN BLANC |
|                                   | IN-006      | 1733A                          | IN-006      | 1733A                          |
| Tiempo productivo planificado [h] | 2568        | 2131                           | 1809        | 1686                           |
| Tiempo detención por fallo [h]    | 32          | 312                            | 15          | 107                            |
| Cantidad de fallas total          | 7           | 18                             | 3           | 7                              |
| MTBF [h]                          | 362         | 101                            | 598         | 226                            |
| MTTR [h]                          | 5           | 17                             | 5           | 15                             |
| Periodo de estudio [h]            | 120         |                                |             |                                |
| Disponibilidad                    | 99%         | 85%                            | 99%         | 94%                            |
| Confiabilidad                     | 72%         | 30%                            | 82%         | 59%                            |

Tabla 78: Comparación de indicadores clave de mantenimiento para la situación actual y después del Modelo de Gestión de Mantenimiento propuesto.  
Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 23, la frecuencia de fallas proyectada disminuye de forma significativa:

- Inyectora 6: de 7 a 3 fallas anuales.
- Molde 1733A: de 18 a 7 fallas anuales.

Esta reducción es el resultado esperado de las tareas proactivas implementadas para mitigar los modos de falla más frecuentes, como desgaste de insertos, obstrucción de boquillas y desviaciones dimensionales.



*Figura 23: Resultados de la cantidad de fallas antes y después del Modelo de Gestión de Mantenimiento propuesto, para los activos analizados.*

*Fuente: Schneider Electric, Área de Mantenimiento.*

En la Figura 24 se observa una reducción significativa en los tiempos totales de reparación anuales proyectados para ambos activos:

- Molde 1733A: el tiempo total de detención por fallas disminuye de aproximadamente 300 horas a menos de 130 horas.
- Inyectora 6: pasa de cerca de 40 horas a poco más de 20 horas.

Esta reducción se explica por dos factores principales:

- La menor frecuencia de fallas proyectada producto de la implementación de tareas preventivas y predictivas específicas, y
- A mejora en la preparación y ejecución de intervenciones, facilitada por la estandarización de tareas y la disponibilidad de recursos.

La disminución del tiempo total de reparación permite liberar capacidad operativa del sistema, contribuyendo directamente al aumento de la disponibilidad y a la eficiencia global del proceso productivo

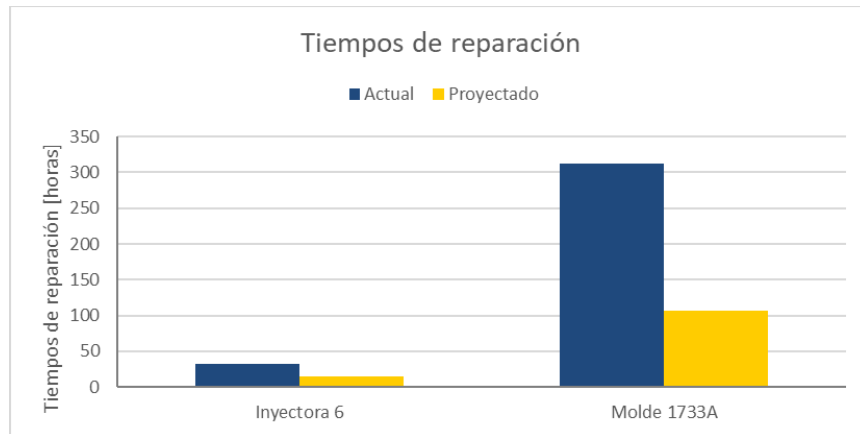


Figura 24: Resultados de los tiempos de reparación antes y después del Modelo de Gestión de Mantenimiento propuesto, para los activos analizados.  
Fuente: Schneider Electric, Área de Mantenimiento.

La Figura 25 muestra un aumento en el MTBF:

- Inyectora 6: de 362 a 598 horas, reflejando una mayor confiabilidad operativa.
- Molde 1733A: de 101 a 226 horas, duplicando el intervalo promedio entre fallas.

Esto indica una mejora sustancial en el comportamiento confiable del sistema tras aplicar intervenciones preventivas estratégicas.

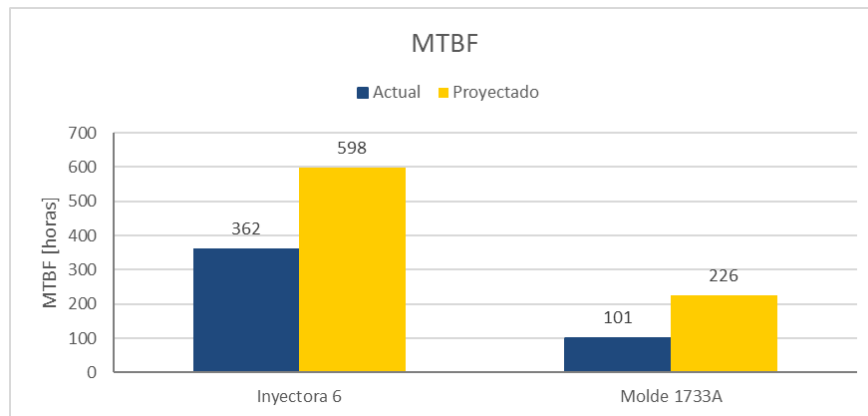


Figura 25: Resultados del MTBF antes y después del Modelo de Gestión de Mantenimiento propuesto, para los activos analizados.  
Fuente: Schneider Electric, Área de Mantenimiento.

Tal como se muestra en la Figura 26:

- Inyectora 6 mantiene una alta disponibilidad del 99%, dada su baja tasa de fallas.
- Molde 1733A mejora de 85% a 94%, lo que representa una ganancia crítica en continuidad operativa y capacidad productiva.

Este resultado tiene un impacto directo en la planificación de producción y reducción de paradas no programadas.

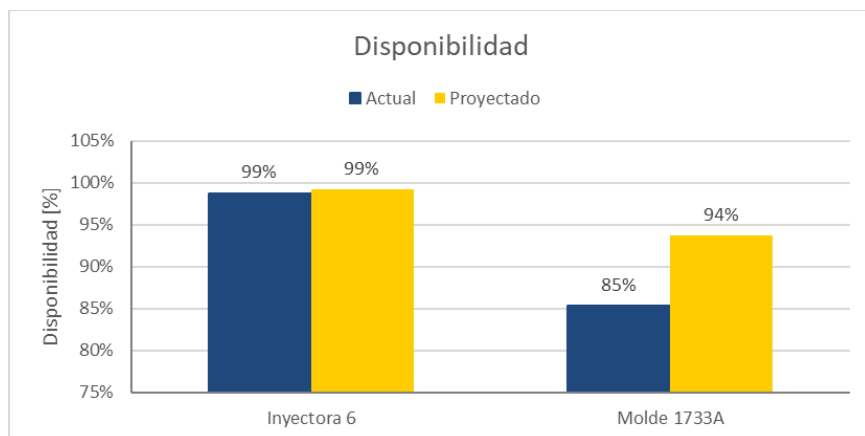


Figura 26: Resultados de la Disponibilidad antes y después del Modelo de Gestión de Mantenimiento propuesto, para los activos analizados.

Fuente: Schneider Electric, Área de Mantenimiento.

La confiabilidad para un horizonte de estudio de 120 horas mejora notablemente:

- Inyectora 6: de 72% a 82%.
- Molde 1733A: de 30% a 59%, reflejando un mayor control del deterioro progresivo.

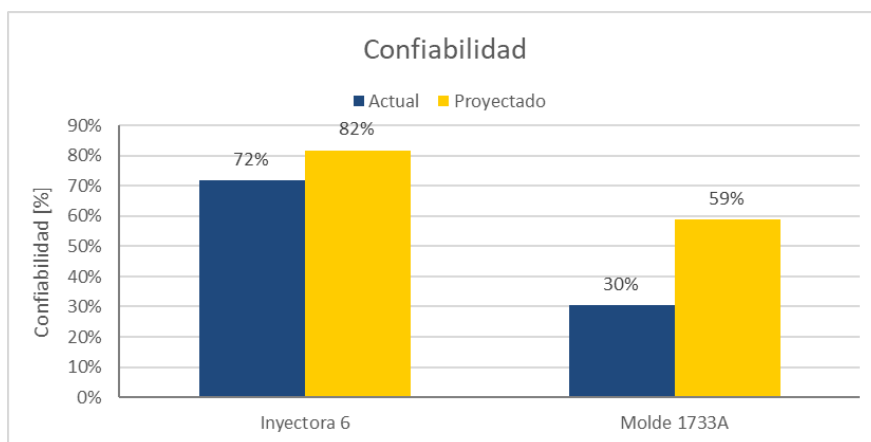


Figura 27: Resultados de la Confiabilidad antes y después del Modelo de Gestión de Mantenimiento propuesto, para los activos analizados.

Fuente: Schneider Electric, Área de Mantenimiento.

Estas estimaciones no solo cumplen la función de control anticipado sobre la ejecución, sino que permiten además retroalimentar de manera cuantitativa el diseño de los planes de mantenimiento, orientando esfuerzos hacia aquellas tareas con mayor impacto en la disminución de frecuencias de falla. En este sentido, el modelo de gestión implementado ya comienza a generar valor, aun sin haber consolidado la ejecución completa en terreno.

## 4.8 Etapa 7. Análisis del ciclo de vida y de la posible renovación de equipos

En esta etapa del modelo de gestión de mantenimiento se llevará a cabo el análisis de los costos asociados al ciclo de vida del sistema inyectora-molde, con el objetivo de evaluar su

comportamiento operativo actual y proyectar acciones que permitan optimizar su disponibilidad y confiabilidad al menor costo global, cumpliendo los niveles de demanda requeridos por el negocio. A diferencia del enfoque tradicional aplicado durante el diseño de activos, esta implementación se orienta al diagnóstico de equipos en operación, centrando el análisis en la cuantificación de costos operacionales y costos ocultos, como criterio base para la toma de decisiones futuras, en función de la demanda al que será expuesto el sistema.

El enfoque de este análisis considerará las siguientes variables:

- Demanda: Define cuánta producción o servicio debe entregar el activo o sistema. El nivel de demanda puede ser bajo, estable o ir al alza.
- Nivel de saturación: Refleja el grado de uso del activo (uso vs. capacidad).
- Confiabilidad: Probabilidad de que el activo cumpla su función sin fallas.

En lugar de imponer una meta arbitraria de confiabilidad esperada, se optó por un enfoque basado en restricciones propias del proceso, en el cual se evaluará la confiabilidad alcanzable dada la realidad operativa actual: capacidad operativa y saturación de los equipos, cantidad de mantenimientos ejecutables en el periodo de estudio, efectividad esperada, y los recursos disponibles para su implementación. Este análisis permitirá identificar un umbral de confiabilidad técnicamente viable y económicamente sostenible, según la estrategia a utilizar.

Bajo el supuesto de un nivel de demanda estable del producto fabricado por el sistema inyectora-molde, utilizaremos los datos históricos de un año de producción (2024), que incluyen piezas fabricadas, OEE (Overall Equipment Effectiveness o Eficiencia General del Equipo), Rendimiento, Calidad, Disponibilidad, frecuencia de falla, tiempos de reparación y otros datos, que serán considerados para mapear los costos directos de mantenimiento y los costos ocultos del año 2024. Estos datos también servirán como un punto de comparación para el análisis de costos de estrategias que permitirán mejoras en la confiabilidad de los activos.

| Datos operativos 2024                  | Situación Actual |
|--|------------------|
| <b>Producción [piezas]</b>             | <b>2.062.002</b> |
| UT [horas]                             | 1.206            |
| SPT [horas]                            | 2.131            |
| <b>OEE</b>                             | <b>57%</b>       |
| Rendimiento                            | 66%              |
| Calidad                                | 100%             |
| Disponibilidad                         | 85%              |
| MTBF [horas]                           | 101              |
| MTTR [horas]                           | 17               |
| Capacidad Semanal Teórica [piezas]     | 205.174          |
| <b>Capacidad Semanal Real [piezas]</b> | <b>116.115</b>   |

Tabla 79: Datos históricos de un año de producción (2024) del molde 1733A.

Fuente: Elaboración propia.

Los datos históricos operativos del sistema analizado dan cuenta de un OEE del 57% que se ve reflejado en la disminución de la capacidad productiva, afectando la capacidad de respuesta del sistema frente a variaciones en los niveles de demanda.

Frente a este diagnóstico, se hace necesaria la evaluación de estrategias de mejora técnica y económica, tales como la evaluación económica del programa de mantenimiento proactivo propuesto, enfocado en los modos de falla más críticos, o la renovación del activo, en función de la demanda proyectada y el nivel de saturación. Estas alternativas serán analizadas bajo el enfoque de Costos de Ciclo de Vida (LCC) para sustentar la mejor decisión desde una perspectiva integral, que considere no solo los costos directos, sino también lograr identificar aquellos costos ocultos que normalmente se asocian a fallas del sistema.

Este análisis comienza con el cálculo de los costos directos de mantenimiento por indisponibilidad, asociado a los modos de fallos obtenidos de los datos históricos de mantenimiento del 2024 (Tabla 43), que consideran costos de mano de obra y repuestos. Estos costos son presentados en el Anexo 1, Tabla 92. A estos costos explícitos se suman los llamados costos ocultos que corresponden a pérdidas no siempre registradas como fallas formales, pero que impactan directamente en la eficiencia operativa del equipo. Entre estos destacan:

- Bajo rendimiento, originado por degradación progresiva de componentes, que reduce parcialmente la función del activo sin detener completamente la producción.
- Reducción de velocidad operativa, muchas veces atribuida a factores humanos como falta de capacitación, ausencia de procedimientos estandarizados o decisiones operativas no alineadas con los requerimientos del proceso.

En el Anexo 1, Tabla 93, se presentan las desviaciones registradas como tiempos rojos y se realiza la cuantificación de los costos ocultos que fueron asociados al uso ineficiente de la dotación del personal de producción, donde podemos dar cuenta que el 92% de la ineficiencia del sistema inyectora-molde radica en alguna falla asociada específicamente al molde de inyección, impactando en el rendimiento del equipo relacionándose directamente con los modos de falla identificados en el Molde 1733A en la Tabla 43.

El resumen de los costos directos y ocultos son presentados en la Tabla 80, donde se evidencia que el 78% de los costos corresponden al molde de inyección. Es por esta razón que las estrategias propuestas para obtener la confiabilidad óptima al menor de los costos serán dirigidas al Molde 1733A.

| Falla        | Título falla                                 | Costos x Disponibilidad | Costos x Rendimiento | Total                | % del total |
|--------------|--|-------------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| 1            | IN-006 - INYECTORA 6                         | \$ 4.176.000            | \$ -                 | \$ 4.176.000         | 22%         |
| 1.A          | Fuga de agua manifold                        | \$ 2.088.000            | \$ -                 | \$ 2.088.000         | 11%         |
| 1.B          | Falla eléctrica cilindro de inyección        | \$ 1.044.000            | \$ -                 | \$ 1.044.000         | 6%          |
| 1.C          | Fuga de aceite zona inyección                | \$ 783.000              | \$ -                 | \$ 783.000           | 4%          |
| 1.D          | Rebalse de plástico                          | \$ 261.000              | \$ -                 | \$ 261.000           | 1%          |
| 2            | Molde 1733A - MASC DUPLEX STD USA NGEN BLANC | \$ 10.800.000           | \$ 3.924.543         | \$ 14.724.543        | 78%         |
| 2.A          | Rebaba por desgaste                          | \$ 6.819.231            | \$ 2.503.543         | \$ 9.322.774         | 49%         |
| 2.B          | Retención por deformación                    | \$ 796.154              | \$ 1.421.000         | \$ 2.217.154         | 12%         |
| 2.C          | Obstrucción boquilla por contaminante        | \$ 2.042.308            | \$ -                 | \$ 2.042.308         | 11%         |
| 2.D          | Falla eléctrica por corte                    | \$ 1.142.308            | \$ -                 | \$ 1.142.308         | 6%          |
| <b>Total</b> |  | <b>\$ 14.976.000</b>    | <b>\$ 3.924.543</b>  | <b>\$ 18.900.543</b> | <b>100%</b> |

Tabla 80: Resumen costos directos de mantenimiento y costos ocultos de ineficiencia asociados a los modos de falla ya existentes sistema inyectora-molde, año 2024.

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de costos por modo de falla permite identificar cuáles fallas específicas generan el mayor impacto económico en la operación del activo, integrando frecuencia, tiempo de detención y costo asociado. Esta desagregación, basada en datos históricos, permite priorizar acciones de mantenimiento, enfocar recursos en los modos más críticos y cuantificar el beneficio potencial de estrategias proactivas o de renovación. Además, proporciona las bases para modelar la confiabilidad futura del sistema y optimizar las decisiones de intervención desde una perspectiva técnica y económica. Se analizará el impacto que tendrá el programa de mantenimiento propuesto en los costos globales del molde, que buscará reducir el mantenimiento reactivo a través de la asignación y ejecución de tareas proactivas, mitigando o eliminando por completo las consecuencias de los modos de falla históricos y de los identificados a través del análisis RCM, siendo esta la primera estrategia de reducción de costos a través del programa de mantenimiento proactivo.

La segunda estrategia contempla el análisis de costos de ciclo de vida asociados al reemplazo del molde actual por un activo nuevo, que posea características equivalentes en capacidad, pero con una vida útil completa disponible, mayor confiabilidad inicial y menores costos de operación y mantenimiento durante los primeros años de uso. Esta estrategia considera una inversión inicial significativa, pero permitirá reducir drásticamente los costos directos y ocultos por fallas, indisponibilidad y reprocesos asociados al desgaste acelerado del activo actual.

Para la evaluación de costos globales se analizarán los siguientes tres escenarios:

- **Escenario 1:** Situación actual.
- **Escenario 2:** Estrategia 1, Modelo de Gestión de Mantenimiento basado en RCM.
- **Escenario 3:** Estrategia 2, Renovación + RCM.

Para iniciar la evaluación es necesario obtener el costo operativo global anual asociados al molde (costos directos de mantenimiento y costos ocultos) en cada escenario (Tabla 81). El detalle de los costos del Escenario 1 fueron entregados en la Tabla 80, mientras que el detalle de los costos proyectados para el Escenario 2 y 3 son presentados en el Anexo 1, Tabla 96 y Tabla 97 respectivamente.

|                                       | Escenario 1          | Escenario 2         | Escenario 3         |
|---------------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| Costos x Disponibilidad               | \$ 10.800.000        | \$ 4.170.000        | \$ 937.079          |
| Costos x Rendimiento                  | \$ 3.924.543         | \$ 1.678.072        | \$ 928.620          |
| Costos Tareas Correctivas Programadas | \$ -                 | \$ 2.500.000        | \$ -                |
| Costo Mantenimiento Proactivo         | \$ -                 | \$ 972.917          | \$ 575.000          |
| <b>Costo Operativo Global</b>         | <b>\$ 14.724.543</b> | <b>\$ 9.320.988</b> | <b>\$ 2.440.699</b> |

Tabla 81: Resumen de la estimación del Costo Operativo Global Anual para el Escenario 1, 2 y 3.

Fuente: Elaboración propia.

Los tres escenarios serán evaluados mediante el cálculo del Costos Anual Equivalente (CAE), trayendo los costos futuros actualizados financieramente al presente utilizando una tasa de descuento del 10% y convertidos en una anualidad constante para que los escenarios puedan ser comparados de forma homogénea. Además, se compararán tres horizontes de tiempo (5, 8 y 10 años), que nos permitirán visualizar el impacto que tendrán en los costos globales.

En la Tabla 82 se presentan la proyección de los costos operacionales y ocultos, donde las cifras del primer año del Escenario 1 fueron cuantificadas con los datos del año 2024 (Tabla 80). Para el Escenario 2, se estimaron los costos operacionales considerando la implementación del programa de mantenimiento proactivo, el cual busca mejorar el OEE del equipo mediante la mitigación y/o eliminación de los modos de falla más críticos, a estos costos se agregan los asociados a la ejecución del programa en sí. Finalmente, para el Escenario 3, que contempla la renovación del activo, también se considera los costos asociados a la ejecución de un programa de mantenimiento, con una frecuencia menor al Escenario 2, ya que al ser un equipo nuevo se espera un mejor rendimiento.

| Año (t) | C(t) Escenario 1 | C(t) Escenario 2 | C(t) Escenario 3 |
|---------|------------------|------------------|------------------|
| 1       | \$ 14.724.543    | \$ 9.320.988     | \$ 2.440.699     |
| 2       | \$ 16.196.998    | \$ 9.905.796     | \$ 2.627.269     |
| 3       | \$ 17.816.698    | \$ 10.549.083    | \$ 2.832.495     |
| 4       | \$ 19.598.367    | \$ 11.256.700    | \$ 3.058.245     |
| 5       | \$ 21.558.204    | \$ 12.035.078    | \$ 3.306.569     |
| 6       | \$ 23.714.024    | \$ 12.891.295    | \$ 3.579.726     |
| 7       | \$ 26.085.427    | \$ 13.833.132    | \$ 3.880.199     |
| 8       | \$ 28.693.970    | \$ 14.869.154    | \$ 4.210.719     |
| 9       | \$ 31.563.367    | \$ 16.008.778    | \$ 4.574.291     |
| 10      | \$ 34.719.703    | \$ 17.262.364    | \$ 4.974.220     |

Tabla 82: Resumen del Costo Operativo Global (costos directos de mantenimiento y costos ocultos) de los tres escenarios a analizar, proyectado a 10 años.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 83 se presenta los resultados del cálculo del CAE, donde se comparan los costos medios por períodos actualizados, suponiendo distintos números de períodos. Para el Escenario 3 (Renovación) se asume un costo de inversión del molde de inyección de \$60.000.000 [CLP].

| Año (t) | CAE Escenario 1 | CAE Escenario 2 | CAE Escenario 3 |
|---------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1       | \$ 14.724.543   | \$ 9.320.988    | \$ 68.440.699   |
| 2       | \$ 15.425.712   | \$ 9.599.468    | \$ 37.100.970   |
| 3       | \$ 16.148.064   | \$ 9.886.361    | \$ 26.747.957   |
| 4       | \$ 16.891.504   | \$ 10.181.629   | \$ 21.643.515   |
| 5       | \$ 17.655.898   | \$ 10.485.219   | \$ 18.639.970   |
| 6       | \$ 18.441.076   | \$ 10.797.064   | \$ 16.688.051   |
| 7       | \$ 19.246.832   | \$ 11.117.083   | \$ 15.338.033   |
| 8       | \$ 20.072.928   | \$ 11.445.179   | \$ 14.365.016   |
| 9       | \$ 20.919.090   | \$ 11.781.245   | \$ 13.644.022   |
| 10      | \$ 21.785.015   | \$ 12.125.160   | \$ 13.100.032   |

*Tabla 83: Resumen costos directos de mantenimiento y costos ocultos de ineficiencia de los tres escenarios a analizar, donde t es el periodo de uso del activo.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Para asociar la evaluación económica con la confiabilidad esperada en cada escenario, es necesario considerar el rango de producción semanal, ya que la planificación operativa se organiza por lotes semanales. Por esta razón, se ha incorporado la capacidad máxima semanal de cada escenario como referencia para analizar, en función del volumen producido, los niveles proyectados de saturación y confiabilidad del activo. Las capacidades máximas semanal de cada escenario son entregadas en la Tabla 84.

|                          | Capacidad Máxima Semanal [piezas] |
|--------------------------|-----------------------------------|
| Escenario 1 (Actual)     | 116.115                           |
| Escenario 2 (RCM)        | 146.755                           |
| Escenario 3 (Renovación) | 180.964                           |

*Tabla 84: Capacidad de producción máxima semanal para cada escenario.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Durante la Etapa 1 de la aplicación del modelo de mantenimiento, se identificó la distribución de los lotes de producción semanal correspondientes al año 2024. De un total de 32 semanas con producción efectiva, en 21 semanas los volúmenes producidos estuvieron en el rango de 20.000 a 80.000 piezas, lo que representa el comportamiento productivo más frecuente del sistema.

Este análisis histórico permite caracterizar el patrón de producción semanal real y proyectar distintos escenarios futuros que, manteniendo la misma demanda anual (~2.000.000 de piezas), podrían operarse con diferentes configuraciones de lote.

Para los Escenarios 1 y 2, las proyecciones de confiabilidad fueron desarrolladas para un rango de producción semanal entre 20.000 y 180.000 piezas, utilizando modelos de distribución

Weibull. Esta herramienta permite caracterizar el comportamiento de cada modo de falla identificado y cuantificar el impacto de su frecuencia en la vida útil del activo. Combinando esta información con los patrones históricos de producción, es posible definir intervalos óptimos de mantenimiento, que equilibren el riesgo de fallo con la disponibilidad operativa requerida.

En el Escenario 3, correspondiente a la renovación del activo, se emplea una distribución exponencial, apropiada para representar la etapa inicial de vida de un equipo nuevo. En este caso, se considera un MTBF estimado de 3.000.000 de piezas fabricadas, lo que equivale aproximadamente a 1.900 horas de operación sin fallas. Esto permite proyectar una confiabilidad constante en los primeros ciclos, propia de la zona de baja tasa de fallas.

| Producción semanal [piezas] | Escenario 1 | Escenario 2 | Escenario 3 |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 20.000                      | 75%         | 87%         | 99%         |
| 40.000                      | 58%         | 79%         | 98%         |
| 60.000                      | 43%         | 71%         | 97%         |
| 80.000                      | 31%         | 65%         | 96%         |
| 100.000                     | 22%         | 58%         | 95%         |
| 120.000                     | 15%         | 52%         | 94%         |
| 140.000                     | 9%          | 46%         | 93%         |
| 160.000                     | 6%          | 41%         | 92%         |
| 180.000                     | 4%          | 36%         | 91%         |

Tabla 85: Distribución de la confiabilidad según el lote semanal, para los escenarios 1,2 y 3.

Fuente: Elaboración propia.

La gráfica de la Figura 28 resume y permite visualizar de forma clara la relación entre la confiabilidad alcanzada y los costos totales para los tres escenarios evaluados, considerando un lote semanal de 60.000 piezas como punto de referencia. Aquí se presentan los costos globales asociados a tres horizontes de análisis (5, 8 y 10 años) en función del nivel de confiabilidad logrado en cada estrategia.

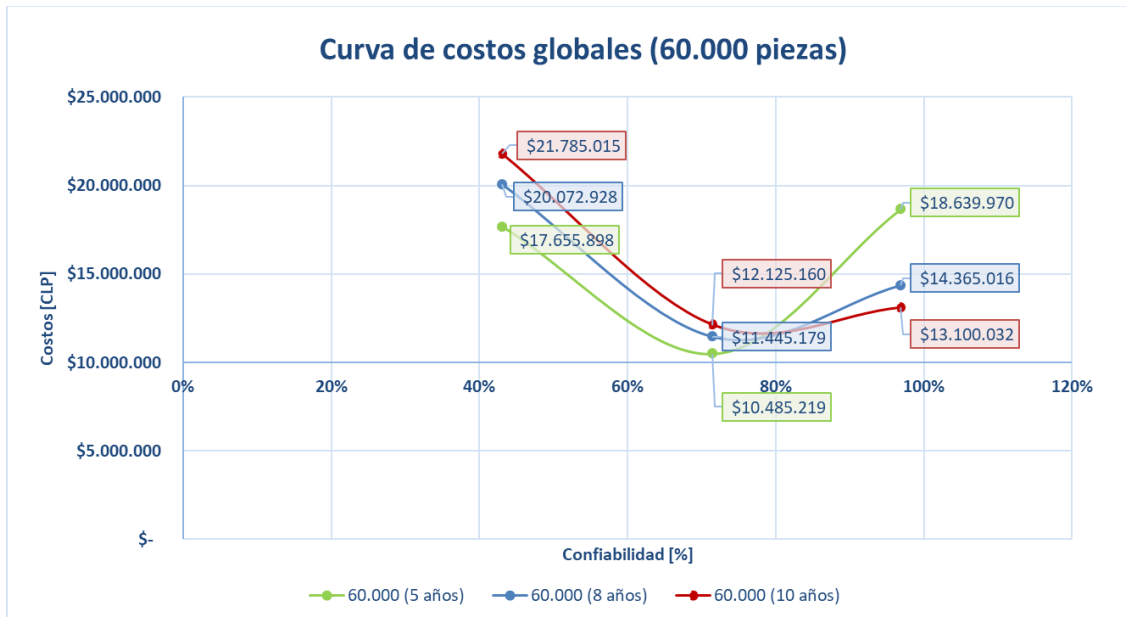


Figura 28: Curva de costos globales para un lote de 60.000 piezas.  
Fuente: Elaboración propia.

El análisis revela que, para un nivel de producción semanal de 60.000 piezas, la confiabilidad tiene un impacto directo y no lineal sobre los costos totales. Implementar un modelo de mantenimiento (Escenario 2) permite maximizar la confiabilidad hasta un nivel óptimo con el menor costo, mientras que la renovación se vuelve la mejor opción sólo si se busca confiabilidad total en horizontes largos. Mantener el estado actual representa una estrategia ineficiente y riesgosa, tanto técnica como económicamente.

## 5 Discusión de resultados

La implementación del modelo de gestión de mantenimiento basado en RCM en los activos críticos del área de inyección, Inyectora 6 y Molde 1733A, permitió estructurar un conjunto de resultados técnicos, operativos y económicos que fortalecen la toma de decisiones y validan la aplicabilidad del modelo en entornos reales de manufactura.

### 1. Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMFE)

Fruto del análisis RCM desarrollado, se construyó el Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMFE) para los activos críticos del área de inyección. Esta herramienta permitió identificar funciones, modos de falla, sus efectos y causas, cuantificar el riesgo mediante el NPR (Número de Prioridad de Riesgo), y definir tareas técnicas asociadas. La matriz AMFE entregó una priorización clara de las acciones de mantenimiento, focalizándose en los modos con mayor severidad e incidencia operativa. Esta información fue esencial para definir tareas de mantenimiento proactivo, correctivo y autónomo que redujeran la ocurrencia y severidad de los fallos identificados. En la Figura 29 se presenta un adelanto de los resultados, los resultados del AMFE se encuentran en el Anexo 4 y 5, para la Inyectora 6 y Molde 1733A respectivamente.

| Análisis de Modos y Efectos de Falla |   |   |  |   |            |          |                |     |   |                    |                          |
|--------------------------------------|---|---|--|---|------------|----------|----------------|-----|---|--------------------|--------------------------|
| Área                                 |   |   | Sistema  |   |            |          | Fecha          |     | Facilitador   |                    |                          |
| Inyección                            |   |   | Molde 1733A  |   |            |          | 30-03-2025     |     | Mónica Soto   |                    |                          |
| Sistema                              | Funciones   | Modo de falla   | Efecto   | Causa   | Ocurrencia | Gravedad | Detectabilidad | NPR | Tarea Propuesta   | Intervalo Inicial  | A realizarse por         |
| Sistema de inyección                 | Distribuir el material fundido hacia las cavidades del molde. | Fallo de una o varias resistencias eléctricas por fatiga o daño térmico.                      | Las resistencias eléctricas falla, impidiendo que el sistema mantenga la temperatura óptima para el flujo del material. Variaciones en la viscosidad del material, inyección defectuosa, posible solidificación del polímero dentro del sistema. | Resistencias eléctricas quemadas o desconectadas. Falta de mantenimiento en el sistema eléctrico del molde. | 4          | 8        | 5              | 160 | Pruebas de funcionamiento del sistema de control térmico utilizando equipo de control de temperatura de molde. Verificar que la temperatura de los calefactores se eleven a 320° C en un periodo de 10 a 15 minutos. En caso de no lograr elevar la temperatura a 320° grados, realizar una inspección del manifold de inyección, elementos calefactores y termocuplas. | Cada 10.000 ciclos | Técnico matricero        |
|                                      |   | Obstrucción total de boquilla de inyección de molde por contaminante.                         | El material fundido no puede fluir por el canal de cotada debido a bloques internos. No hay llenado de las cavidades del molde, piezas defectuosas o nulas, aumento de la  | Presencia de residuos o contaminantes en el material.   | 4          | 8        | 8              | 256 | Estandarizar elementos calefactores y termocuplas según el molde y material utilizado (320° Cy ABS).<br>Filtrado del material fundido antes de ingresar al sistema de inyección del molde. Instalar filtro en boquilla de inyección de máquina inyectora.   | Tarea correctiva   | Supervisor mantenimiento |
|                                      |   | Rebalse en zona bebedero molde y boquilla de inyectora por abolladura en zona bebedero molde. | El material inyectado fluye fuera del sistema de inyección, derramándose en la zona de la boquilla y bebedero. Desperdicio de material (rebalse) generando un aumento de los tiempos no  | Abolladura en zona de bebedero, impidiendo la hermetisidad del acople. Exceso de presión en la inyección.   | 2          | 8        | 5              | 80  | Inspección del estado del bebedero del molde. Verificar que no se presenten abolladuras.  | Cada 40.000 ciclos | Técnico matricero        |

Figura 29: Vista previa Análisis de Modos y Efectos de falla, Molde 1733A.

Fuente: Elaboración propia.

### 2. Impacto sobre el OEE y desempeño operacional

El modelo permitió proyectar mejoras sustanciales en los principales indicadores de desempeño de los activos. Como se observa en la Tabla 87, el OEE del molde aumenta de un 57 % en el Escenario 1 a 72 % y 88 % en los escenarios con implementación de estrategias RCM y renovación, respectivamente.

| Características Molde 1733A |    |
|-----------------------------|----|
| N° Cavidades                | 16 |
| Tiempo Ciclo Teórico [s]    | 34 |

Tabla 86: Características de Molde 1733A.

Fuente: Elaboración propia.

|  | Escenario 1      | Escenario 2    | Escenario 3    |
|--|------------------|----------------|----------------|
| <b>Producción estudiada [piezas]</b>   | <b>2.062.002</b> |                |                |
| UT [horas]                             | 1.206            |                |                |
| SPT [horas]                            | 2.131            | 1.686          | 1.367          |
| <b>OEE</b>                             | <b>57%</b>       | <b>72%</b>     | <b>88%</b>     |
| Rendimiento                            | 66%              | 77%            | 90%            |
| Calidad                                | 100%             | 100%           | 100%           |
| Disponibilidad                         | 85%              | 94%            | 98%            |
| MTBF [horas]                           | 101              | 231            | 1.343          |
| MTRR [horas]                           | 17               | 15             | 24             |
| Capacidad Semanal Teórica [piezas]     | 205.174          |                |                |
| <b>Capacidad Semanal Real [piezas]</b> | <b>116.115</b>   | <b>146.755</b> | <b>180.964</b> |

Tabla 87: Estimación del OEE, Rendimiento, Calidad, Disponibilidad y Capacidad Operativa Máxima del Molde 1733A.

Fuente: Elaboración propia.

En términos de capacidad operativa real, los resultados muestran un incremento desde 116.115 piezas/semana (escenario 1) hasta 180.964 piezas/semana (escenario 3), lo cual evidencia una mayor capacidad de respuesta frente a la demanda y una reducción significativa de los tiempos improductivos. Esta mejora operativa tiene un impacto directo en el costo unitario por pieza fabricada y en la competitividad del proceso productivo.

### 3. Programas de mantenimiento y esfuerzo técnico

Producto del análisis funcional y la evaluación de modos de falla, se definieron programas de mantenimiento diferenciados por activo. Para la inyectora 6 se establecieron 39 tareas proactivas, 5 autónomas y 2 correctivas, mientras que para el molde 1733A se definieron 16 tareas proactivas, 3 autónomas y 2 correctivas. Estos programas se diseñaron considerando una demanda de producción de aproximadamente 2.000.000 de piezas anuales.

| Activo      | Tareas Proactivas | Tareas autónomas | Tareas correctivas |
|-------------|-------------------|------------------|--------------------|
| Inyectora 6 | 39                | 5                | 2                  |
| Molde 1733A | 16                | 3                | 2                  |

Tabla 88: Cantidad de tareas propuestas para el programa de mantenimiento para activos críticos.

Fuente: Elaboración propia.

El esfuerzo técnico estimado en horas totales de mantenimiento preventivo fue de 111 horas/año para la inyectora 6 y 39 horas/año para el molde 1733A, con un costo asociado de \$1.993.500 y \$972.917 CLP respectivamente. Esta inversión permite anticipar fallas críticas, reducir el número de paradas no planificadas y aumentar la confiabilidad del sistema.

| Inyectora 6        |                     |
|--------------------|---------------------|
| Horas de operación | 2.568               |
| Horas totales PM   | 111                 |
| <b>Valor PM</b>    | <b>\$ 1.993.500</b> |

Tabla 89: Esfuerzo técnico y costo del PM propuesto, Inyectora 6.  
Fuente: Elaboración propia.

| Molde 1733A        |                   |
|--------------------|-------------------|
| Horas de operación | 2.131             |
| Ciclos             | 148.189           |
| Horas totales PM   | 39                |
| <b>Valor PM</b>    | <b>\$ 972.917</b> |

Tabla 90: Esfuerzo técnico y costo del PM propuesto, Molde 1733A.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4. Recomendaciones de planificación productiva basadas en confiabilidad y saturación

A través del modelamiento de confiabilidad utilizando la distribución de Weibull, se proyectaron curvas de confiabilidad para cada escenario, considerando la cantidad de piezas fabricadas por semana. Como se muestra en la Figura 30, el Escenario 1 presenta una fuerte caída de confiabilidad a medida que aumenta el volumen de producción, alcanzando valores inferiores al 10 % al sobrepasar las 120.000 piezas/semana. En cambio, el Escenario 2 (RCM) y Escenario 3 (Renovación) mantienen niveles significativamente superiores de confiabilidad operativa para rangos de producción equivalentes.

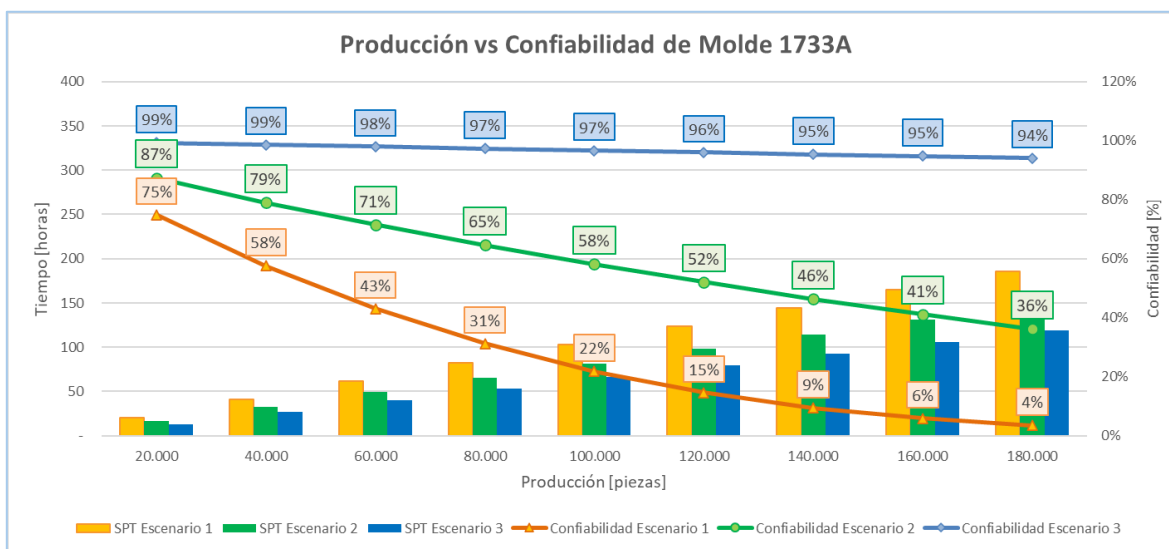


Figura 30: Capacidad de producción máxima semanal para cada escenario.  
Fuente: Elaboración propia.

La saturación del activo, calculada a partir del OEE y la demanda semanal, permitió identificar los niveles óptimos de carga para cada estrategia. Como se aprecia en la Figura 31, mientras el escenario actual supera el 100 % de saturación con producciones superiores a 100.000 piezas, los escenarios optimizados permiten sostener hasta 180.000 piezas/semana sin comprometer la disponibilidad del sistema, gracias a la reducción de paradas y la mayor capacidad efectiva del equipo.

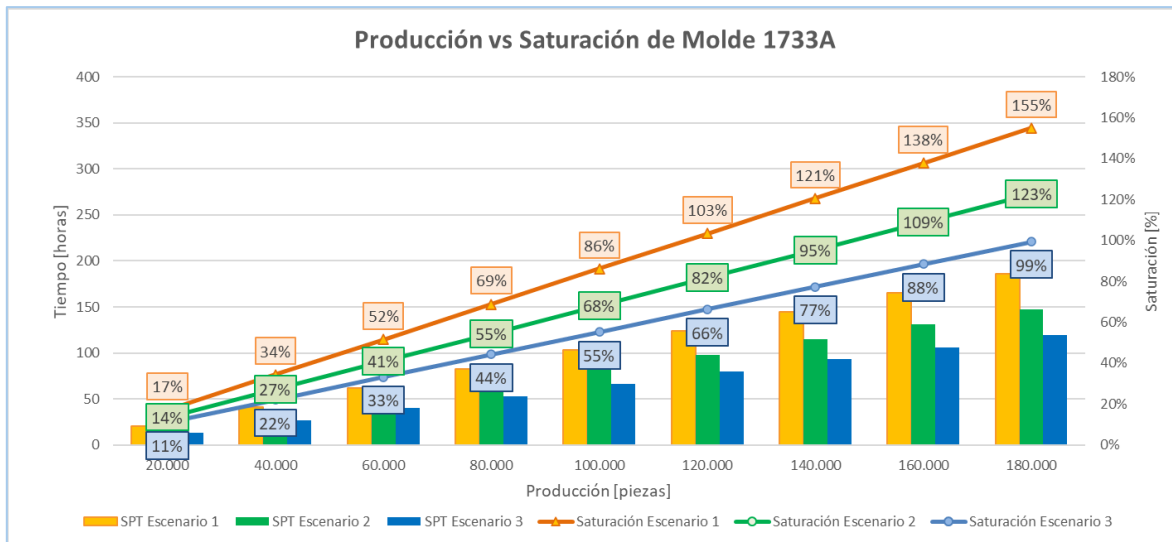


Figura 31: Capacidad de producción máxima semanal para cada escenario.

Fuente: Elaboración propia.

## 5. Evaluación económica y toma de decisiones (LCC)

Los resultados económicos de la etapa 7 del modelo (Análisis de Costos de Ciclo de Vida) demuestran que la implementación de estrategias proactivas permite reducir el Costo Anual Equivalente (CAE) de forma significativa. La estrategia de mantenimiento basado en RCM (Escenario 2) mostró el menor CAE proyectado a 10 años, validando su eficiencia técnica y económica frente al escenario actual y a la renovación total del activo. Adicionalmente, se identificaron los rangos de producción óptimos para cada estrategia, permitiendo al área de planificación alinear la demanda con la confiabilidad esperada y el costo global de operación.

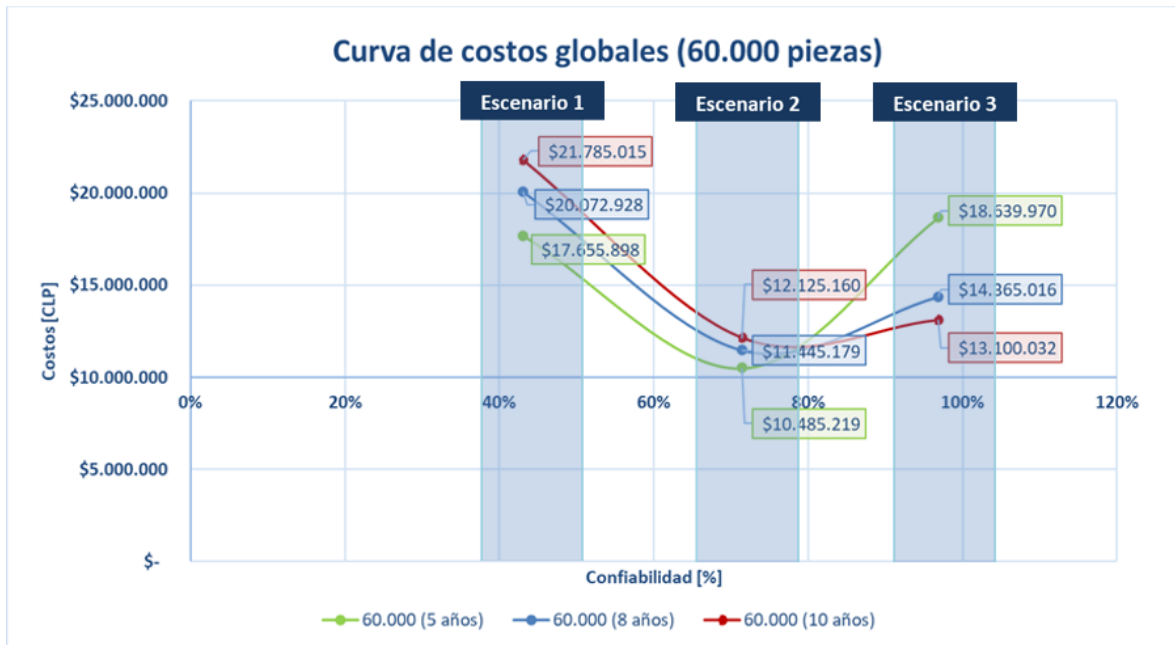


Figura 32: Capacidad de producción máxima semanal para cada escenario.  
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se concluye que:

- Si el horizonte de análisis es corto o intermedio (<6 años) y el presupuesto es limitado, Escenario 2 (RCM) ofrece un equilibrio razonable entre costos y confiabilidad.
- Si se espera un aumento sostenido de la demanda o se proyecta operar el sistema por más de 7 años, Escenario 3 (Renovación + RCM) representa la opción más robusta y económicamente sostenible.

## 6 Mejoramiento Continuo

La mejora continua constituye un pilar fundamental dentro de cualquier modelo de gestión del mantenimiento, ya que permite la evolución constante del sistema mediante la incorporación de aprendizajes, nuevas tecnologías y buenas prácticas. En el presente trabajo, la propuesta de mejora continua se articula en torno a la implementación progresiva del mantenimiento productivo total (TPM) y el uso de tecnologías emergentes para complementar el modelo de mantenimiento basado en RCM.

El TPM promueve la participación del personal operativo en las labores de mantenimiento básico (limpieza, inspección, lubricación), fortaleciendo el sentido de propiedad sobre los activos y mejorando la detección temprana de fallas. La incorporación de pilares del TPM como el mantenimiento autónomo, la mejora enfocada y la capacitación continua, permitirá fortalecer la cultura de confiabilidad y eficiencia dentro del área de inyección.

Como parte de las recomendaciones para fortalecer la mejora continua dentro del modelo de gestión de mantenimiento, se propone implementar un plan sistemático de capacitaciones dirigidas al personal técnico y operativo, orientadas a fortalecer competencias en metodologías clave como TPM (Total Productive Maintenance), RCM (Reliability-Centered Maintenance), mantenimiento autónomo y otros enfoques asociados a la gestión moderna de activos. Estas instancias formativas no solo mejoran la comprensión técnica de los procesos, sino que también fomentan la participación de los operadores en la detección temprana de desviaciones y en la ejecución de tareas básicas de mantenimiento.

Complementariamente, se destaca la importancia de establecer una estructura documental robusta, que incluya instructivos de mantenimiento, procedimientos operacionales normalizados, planes de inspección detallados y protocolos de registro. Esto permite estandarizar la ejecución de tareas y facilitar la transferencia de conocimiento, especialmente en contextos con alta rotación de personal.

Asimismo, se recomienda incorporar capacitaciones específicas sobre el registro y trazabilidad de datos operacionales y de mantenimiento, con el objetivo de mejorar la calidad de la información recolectada y asegurar su utilidad para la toma de decisiones.

Finalmente, es fundamental implementar un sistema continuo de seguimiento de KPIs (MTBF, MTTR, disponibilidad, cumplimiento de planes, entre otros), acompañado de espacios regulares de retroalimentación técnica. Esto permitirá ajustar periódicamente la frecuencia de tareas, incorporar nuevas actividades correctivas o preventivas según los datos obtenidos, y mantener la alineación del modelo de mantenimiento con las necesidades dinámicas de la operación.

### 5.1 Machine Learning y el uso de Montecarlo para la simulación de comportamientos de falla

Adicionalmente, se propone como herramienta innovadora el uso de simulación Monte Carlo (ver Figura 33) para fortalecer los análisis de confiabilidad y costos en escenarios con alta incertidumbre. Esta técnica consiste en ejecutar múltiples iteraciones de un modelo

estocástico que contempla la variabilidad en parámetros clave, como la frecuencia de fallas, el tiempo medio entre fallas (MTBF), el tiempo medio de reparación (MTTR), la disponibilidad del sistema y los costos de mantenimiento. El resultado es un conjunto de distribuciones probabilísticas que permiten estimar con mayor precisión el riesgo asociado a las decisiones de mantenimiento, así como proyectar con mayor robustez los costos acumulados en el ciclo de vida del activo.

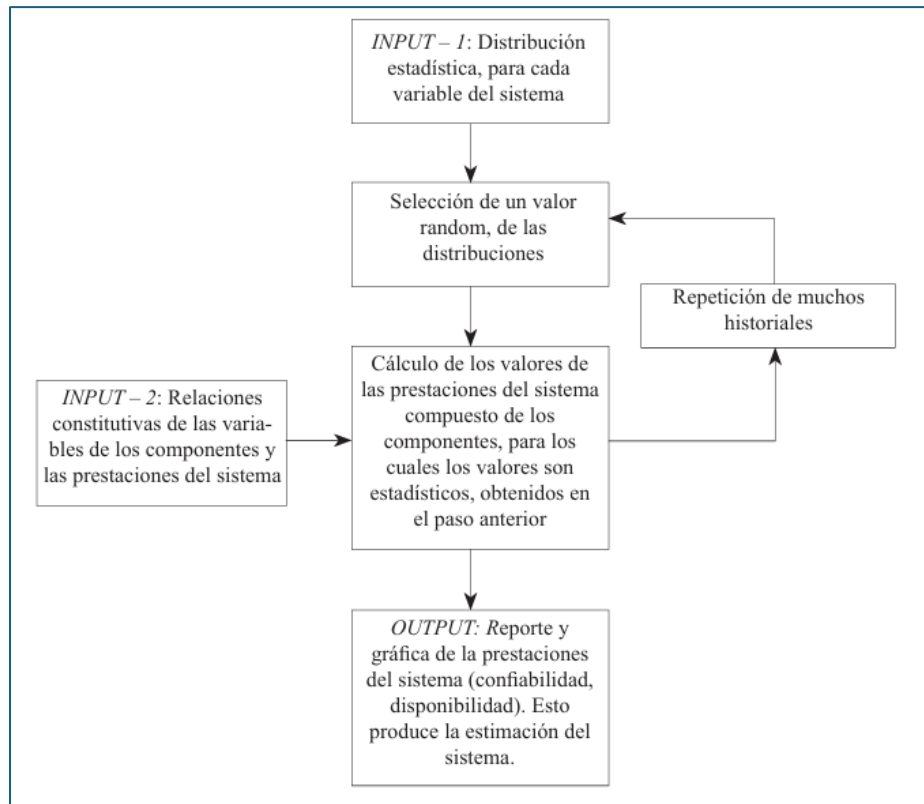


Figura 33: Principios de Método Montecarlo.

Fuente: Arata A., A. (2009). *Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales. Aplicación de la Plataforma R-MES*. Chile: RIL editores.

Para llevar a cabo esta implementación, se sugiere la siguiente hoja de ruta técnica:

### Fase 1: Preparación de Datos y Validación del Modelo Weibull

- Recopilar datos históricos de fallas, reparaciones y condiciones de operación.
- Ajustar distribuciones estadísticas (Weibull, exponencial, log-normal) a los modos de falla identificados para obtener parámetros confiables ( $\beta$  y  $\eta$ ).
- Validar el comportamiento de confiabilidad modelado respecto a los datos empíricos.
- Estimar los costos asociados a cada modo de falla (costos directos e indirectos).

### Fase 2: Implementación de la Simulación Monte Carlo

- Desarrollar un modelo de simulación basado en ciclos de producción o periodos de tiempo.

- Introducir distribuciones probabilísticas para cada parámetro relevante (tiempo entre fallas, duración de la reparación, costos por evento).
- Ejecutar múltiples iteraciones (por ejemplo, 10.000 simulaciones) para obtener valores esperados y rangos de incertidumbre.
- Analizar el resultado en función del CAE, la disponibilidad proyectada y la confiabilidad esperada.
- Comparar estrategias (actual, RCM, renovación) bajo múltiples escenarios.

### **Fase 3: Integración de un Modelo Predictivo Basado en Machine Learning**

- Estandarizar y estructurar la base de datos de operación y mantenimiento: variables como temperatura de molde, presión, horas de operación, frecuencia de mantenimiento, alertas y fallas reportadas.
- Seleccionar algoritmos adecuados (árboles de decisión, random forest, XGBoost o redes neuronales) para detección de patrones y predicción de fallas.
- Implementar un pipeline de entrenamiento y validación cruzada.
- Evaluar métricas de desempeño como accuracy, precision, recall y F1-score.
- Desplegar el modelo en un entorno de pruebas para predecir fallas y calcular ventanas de mantenimiento preventivo.

### **Fase 4: Automatización e Integración Operacional**

- Instalar sensores en línea (si es necesario) para recolectar variables críticas en tiempo real (por ejemplo: presión, vibraciones, ciclos realizados).
- Conectar la base de datos operacional con el modelo predictivo y sistemas de mantenimiento (CMMS).
- Diseñar dashboards para visualizar predicciones, alarmas y recomendaciones.
- Automatizar alertas de mantenimiento con base en probabilidad de fallo proyectada.

### **Fase 5: Mejora Continua y Validación**

- Validar resultados operacionales del sistema predictivo con indicadores como reducción de fallas inesperadas, mejor aprovechamiento de recursos y disminución de costos.
- Ajustar periódicamente el modelo en función de nuevos datos.
- Expandir el uso del sistema a otros activos críticos de forma gradual.

Esta hoja de ruta busca no solo fortalecer el análisis técnico del modelo de mantenimiento, sino también abrir paso a una transformación digital progresiva que integre técnicas modernas de simulación y aprendizaje automático, con impacto directo en la confiabilidad operativa, la gestión de riesgos y la eficiencia económica del ciclo de vida del activo.

## 7 Conclusiones

La implementación de un modelo de gestión de mantenimiento basado en RCM en el área de inyección de plástico, aplicado a los activos críticos Inyectora 6 y Molde 1733A, permitió establecer una estrategia integral orientada a mejorar la confiabilidad, disponibilidad y eficiencia operativa de la planta. Este enfoque no solo aborda las fallas desde una perspectiva técnica, sino que también permite integrar criterios económicos, de seguridad y de continuidad operacional, elevando el mantenimiento desde un rol correctivo a una función estratégica de alto impacto en la competitividad del negocio.

El análisis de confiabilidad mediante la distribución de Weibull permitió modelar con mayor precisión el comportamiento de los modos de falla en función del tiempo y de los ciclos productivos. Esto facilitó la construcción de planes de mantenimiento más eficientes, alineados con la edad y el nivel de deterioro de los activos, variables clave para anticipar fallas y maximizar la vida útil de los equipos. Además, el conocimiento de la capacidad operativa real y teórica de los activos permitió evaluar su nivel de saturación y proyectar escenarios productivos más realistas, optimizando así la planificación de los recursos técnicos y logísticos.

El enfoque RCM entregó beneficios adicionales más allá de la optimización técnica. La estructuración de una base de datos global y estandarizada de fallas y acciones permitió fortalecer la trazabilidad de los eventos y facilitar el aprendizaje organizacional. Se generó un marco común de análisis que favorece el trabajo en equipo interdisciplinario y promueve la motivación del personal, al incorporar su conocimiento operativo en la toma de decisiones de mantenimiento. Asimismo, se mejoró la seguridad del proceso al reducir la probabilidad de fallas críticas y se alcanzó una mayor eficiencia costo-operacional mediante la priorización de tareas de alto impacto.

Este trabajo también destaca la importancia de estandarizar los procesos de reevaluación de estrategias de mantenimiento. Preguntas clave sobre la vida útil remanente, la frecuencia e impacto de las fallas, y los resultados de evaluaciones costo-beneficio, deben ser parte de un ciclo sistemático de mejora continua. Asimismo, se hace necesario avanzar hacia la estandarización de los registros de mantenimiento, condición esencial para asegurar la calidad de los datos y permitir análisis robustos en el futuro.

Finalmente, este modelo sienta las bases para ser replicado en otros activos críticos de la planta. Dado que muchas de las referencias productivas comparten estructuras y tecnologías similares, su implementación puede escalar eficientemente. La experiencia adquirida en este caso constituye un precedente valioso para continuar profesionalizando la gestión del mantenimiento, contribuyendo a una operación más confiable, segura, eficiente y alineada con los desafíos actuales del sector manufacturero.

## Referencias

Johannaber, F. (2016). *Injection molding machines: a user's guide*. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG.

Moubray, J. (1997). *Reliability-Centered Maintenance (RCM)*. Butterworth-Heinemann.

Arata A., A. (2009). *Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales. Aplicación de la Plataforma R-MES*. Chile: RIL editores.

*Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la Gestión de Activos*. (2012). España: Ingeman.

Álvarez, J. M. B., & Zambrano, G. A. C. (2006). Modelo para la administración del mantenimiento productivo total TPM. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (37), 45–57.

Arata, E., & Romero, D. (2013). *Metodología para la gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) y su aplicación a una planta industrial*. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 10(1), 80–92.

Society of Automotive Engineers. (1999). *SAE JA1011: Evaluation criteria for reliability-centered maintenance (RCM) processes*. Society of Automotive Engineers.

Aguilar-Otero, J. R., Torres-Arcique, R., & Magaña-Jiménez, D. (2010). Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 25(1), 15-26.

## Anexos

### Anexo A: Estimación de costos directos de mantenimiento (reactivo y proactivo) y costos ocultos de ineficiencia

| DVC Labor             |           |
|-----------------------|-----------|
| \$ Hora Producción    | \$ 21.000 |
| \$ Hora Matricería    | \$ 25.000 |
| \$ Hora Mantenimiento | \$ 18.000 |
| SUR (Molde 1733A)     | 0,33      |

Tabla 91: Costo mano de obra por hora.

Fuente: Elaboración propia.

### Escenario 1: Situación Actual

| Código | Modo de Falla                                | Numero de fallas (Nf) | HH  | Costos x Indisponibilidad |
|--------|--|-----------------------|-----|---------------------------|
| 1      | IN-006 - INYECTORA 6                         |                       |     | \$ 4.176.000              |
| 1.A    | Fuga de agua manifold                        | 3                     | 16  | \$ 2.088.000              |
| 1.B    | Falla eléctrica cilindro de inyección        | 2                     | 8   | \$ 1.044.000              |
| 1.C    | Fuga de aceite zona inyección                | 1                     | 6   | \$ 783.000                |
| 1.D    | Rebalse de plástico                          | 1                     | 2   | \$ 261.000                |
| 2      | Molde 1733A - MASC DUPLEX STD USA NGEN BLANC |                       |     | \$ 10.800.000             |
| 2.A    | Rebaba por desgaste                          | 7                     | 197 | \$ 6.819.231              |
| 2.B    | Retención por deformación                    | 6                     | 23  | \$ 796.154                |
| 2.C    | Obstrucción boquilla por contaminante        | 3                     | 59  | \$ 2.042.308              |
| 2.D    | Falla eléctrica por corte                    | 2                     | 33  | \$ 1.142.308              |

Tabla 92: Costos directos de mantenimiento del año 2024 para inyectora 6 y molde 1733A.

Fuente: Elaboración propia.

| Desviaciones           | Descripción   | Horas | % del total | Pareto | Costo ineficiencia |
|------------------------|---|-------|-------------|--------|--------------------|
| Cavidades tapadas      | Normalmente asociado a una falla de molde que afecta la calidad del producto. Insertos mal ajustados o fallas en las cavidades que producen defectos de calidad, tales como rebabas, falta de material, deformaciones, ralladuras.  | 358   | 59%         | 59%    | \$ 2.503.543       |
| Desvío tiempo de ciclo | Normalmente suceden por fallas en el sistema de refrigeración o el de expulsión del molde, requiriendo un mayor tiempo de refrigeración o un mayor tiempo de expulsión respectivamente, afectando el tiempo de ciclo total. Otras veces se asocia a una configuración deficiente del proceso realizada por el operador. | 203   | 33%         | 92%    | \$ 1.421.000       |
| Procesos               | En esta categoría se incluyen tiempos de gestión de personal, SMED y otros retrasos de producción.  | 50    | 8%          | 100%   | \$ 346.850         |

Tabla 93: Costos ocultos de ineficiencia del año 2024, sistema inyectora-molde.

Fuente: Elaboración propia.

## Escenario 2: Implementación Modelo de Mantenimiento Basado en RCM

| Falla | Título falla                                 | Impacto del PM en la Disponibilidad | Numero de fallas (Nf) | HH | Costos x Indisponibilidad |
|-------|--|-------------------------------------|-----------------------|----|---------------------------|
| 2     | Molde 1733A - MASC DUPLEX STD USA NGEN BLANC |                                     |                       |    | \$ 4.170.000              |
| 2.A   | Rebaba por desgaste                          | 60%                                 | 3                     | 79 | \$ 3.076.742              |
| 2.B   | Retención por deformación                    | 50%                                 | 3                     | 12 | \$ 449.017                |
| 2.C   | Obstrucción boquilla por contaminante        | 100%                                | 0                     | 0  | \$ -                      |
| 2.D   | Falla eléctrica por corte                    | 50%                                 | 1                     | 17 | \$ 644.242                |

Tabla 94: Costos directos de mantenimiento proyectados para inyectora 6 y molde 1733A, Escenario 2.

Fuente: Elaboración propia.

| Desviaciones           | Horas | Costos x Rendimiento Actual | Impacto del PM en el Rendimiento | Horas | Costos x Rendimiento Proyección |
|------------------------|-------|-----------------------------|----------------------------------|-------|---------------------------------|
| Cavidades tapadas      | 358   | \$ 2.633.393                | 50%                              | 179   | \$ 1.251.772                    |
| Desvío tiempo de ciclo | 203   | \$ 1.414.000                | 30%                              | 61    | \$ 426.300                      |
| Procesos               | 50    | \$ 346.850                  | 0%                               | -     | -                               |

Tabla 95: Costos ocultos de ineficiencia proyectados, sistema inyectora-molde, Escenario 2.

Fuente: Elaboración propia.

| Falla | Título falla                                 | Costos x Disponibilidad | Costos x Rendimiento | Total        |
|-------|--|-------------------------|----------------------|--------------|
| 2     | Molde 1733A - MASC DUPLEX STD USA NGEN BLANC | \$ 4.170.000            | \$ 1.678.072         | \$ 5.848.072 |
| 2.A   | Rebaba por desgaste                          | \$ 3.076.742            | \$ 1.251.772         | \$ 4.328.513 |
| 2.B   | Retención por deformación                    | \$ 449.017              | \$ 426.300           | \$ 875.317   |
| 2.C   | Obstrucción boquilla por contaminante        | \$ -                    | \$ -                 | \$ -         |
| 2.D   | Falla eléctrica por corte                    | \$ 644.242              | \$ -                 | \$ 644.242   |

Tabla 96: Resumen de estimación de los costos directos de mantenimiento y costos ocultos de ineficiencia, Escenario 2.

Fuente: Elaboración propia.

### Escenario 3: Renovación del activo

| Falla | Título falla                                 | Numero de fallas (Nf) | HH | Costos x Disponibilidad | Costos x Rendimiento | Total        |
|-------|--|-----------------------|----|-------------------------|----------------------|--------------|
| 2     | Molde 1733A - MASC DUPLEX STD USA NGEN BLANC |                       |    | \$ 937.079              | \$ 928.620           | \$ 1.865.699 |
| 2.A   | Rebaba por desgaste                          | 1                     | 24 | \$ 937.079              | \$ 928.620           | \$ 1.865.699 |
| 2.B   | Retención por deformación                    | 0                     | 0  | \$ -                    | \$ -                 | \$ -         |
| 2.C   | Obstrucción boquilla por contaminante        | 0                     | 0  | \$ -                    | \$ -                 | \$ -         |
| 2.D   | Falla eléctrica por corte                    | 0                     | 0  | \$ -                    | \$ -                 | \$ -         |

Tabla 97: Resumen de estimación de los costos directos de mantenimiento y costos ocultos de ineficiencia, en función de los modos de fallas críticas, Escenario 3.

Fuente: Elaboración propia.

### Costo Programa Mantenimiento Proactivo (Escenario 2 y 3)

| Frecuencia Programa PM     | HH [horas] | Costo Intervención | Frecuencia Sugerida    |
|----------------------------|------------|--------------------|------------------------|
| Tareas proactivas críticas | 2,3        | \$ 56.250          | 10.000 a 30.000 ciclos |
| Otras tareas proactivas    | 2,4        | \$ 60.417          | 30.000 a 50.000 ciclos |

Tabla 98: Horas-hombre necesarias para la ejecución de las tareas propuestas en el análisis RCM.

Fuente: Elaboración propia.

|                                  |            |            |            |
|----------------------------------|------------|------------|------------|
| Producción [piezas]              | 2.062.002  |            |            |
| Tareas proactivas criticas       |            |            |            |
| Frecuencia Intervención [ciclos] | 10.000     | 20.000     | 30.000     |
| Número de intervenciones         | 13         | 7          | 5          |
| Costo PM                         | \$ 731.250 | \$ 393.750 | \$ 281.250 |
| Otras tareas proactivas          |            |            |            |
| Frecuencia Intervención [ciclos] | 30.000     | 40.000     | 50.000     |
| Número de intervenciones         | 5          | 4          | 3          |
| Costo PM                         | \$ 302.083 | \$ 241.667 | \$ 181.250 |

Tabla 99: Costos del Mantenimiento Proactivo propuesto según la producción estimada anual, cantidad de intervenciones y frecuencias sugeridas.

Fuente: Elaboración propia.

| Frecuencia [ciclos]        | Escenario 1 | Escenario 2       | Escenario 3       |
|----------------------------|-------------|-------------------|-------------------|
| Tareas proactivas criticas |             |                   |                   |
| 10.000                     | \$ -        | \$ 731.250        | \$ -              |
| 20.000                     | \$ -        | \$ -              | \$ 393.750        |
| 30.000                     | \$ -        | \$ -              | \$ -              |
| Tareas proactivas criticas |             |                   |                   |
| 30.000                     | \$ -        | \$ -              | \$ -              |
| 40.000                     | \$ -        | \$ 241.667        | \$ -              |
| 50.000                     | \$ -        | \$ -              | \$ 181.250        |
| <b>Costo Total PM</b>      | <b>\$ -</b> | <b>\$ 972.917</b> | <b>\$ 575.000</b> |

Tabla 100: Costos Mantenimiento Proactivo para escenarios 1, 2 y 3.

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo B: Detalle de la estimación del CAE para el Análisis del Costo de Ciclo de Vida del Molde 1733A (Etapa 7)

### Escenario 1: Situación Actual

| Año (t) | Año           | f(t)  | C(t)*f(t)     | ∑ C(t)*f(t)    | FRC   | CAE(t)        |
|---------|---------------|-------|---------------|----------------|-------|---------------|
| 1       | \$ 14.724.543 | 0,870 | \$ 12.803.951 | \$ 12.803.951  | 1,150 | \$ 14.724.543 |
| 2       | \$ 16.933.225 | 0,756 | \$ 12.803.951 | \$ 25.607.902  | 0,615 | \$ 15.751.837 |
| 3       | \$ 18.626.547 | 0,658 | \$ 12.247.257 | \$ 37.855.159  | 0,438 | \$ 16.579.688 |
| 4       | \$ 20.489.202 | 0,572 | \$ 11.714.768 | \$ 49.569.927  | 0,350 | \$ 17.362.628 |
| 5       | \$ 22.538.122 | 0,497 | \$ 11.205.430 | \$ 60.775.357  | 0,298 | \$ 18.130.234 |
| 6       | \$ 24.791.935 | 0,432 | \$ 10.718.238 | \$ 71.493.594  | 0,264 | \$ 18.891.246 |
| 7       | \$ 27.271.128 | 0,376 | \$ 10.252.227 | \$ 81.745.822  | 0,240 | \$ 19.648.455 |
| 8       | \$ 29.998.241 | 0,327 | \$ 9.806.478  | \$ 91.552.300  | 0,223 | \$ 20.402.438 |
| 9       | \$ 32.998.065 | 0,284 | \$ 9.380.110  | \$ 100.932.409 | 0,210 | \$ 21.152.810 |
| 10      | \$ 36.297.872 | 0,247 | \$ 8.972.279  | \$ 109.904.688 | 0,199 | \$ 21.898.736 |

Tabla 101: Calculo del CAE para Escenario 1, Situación Actual.

Fuente: Elaboración propia.

## Escenario 2: Implementación Modelo de Mantenimiento Basado en RCM

| Año (t) | C(t)          | f(t)  | C(t)*f(t)    | $\sum C(t)*f(t)$ | FRC   | CAE(t)        |
|---------|---------------|-------|--------------|------------------|-------|---------------|
| 1       | \$ 9.273.072  | 0,870 | \$ 8.063.541 | \$ 8.063.541     | 1,150 | \$ 9.273.072  |
| 2       | \$ 9.857.879  | 0,756 | \$ 7.453.973 | \$ 15.517.513    | 0,615 | \$ 9.545.075  |
| 3       | \$ 10.501.167 | 0,658 | \$ 6.904.688 | \$ 22.422.201    | 0,438 | \$ 9.820.407  |
| 4       | \$ 11.208.783 | 0,572 | \$ 6.408.658 | \$ 28.830.859    | 0,350 | \$ 10.098.451 |
| 5       | \$ 11.987.162 | 0,497 | \$ 5.959.738 | \$ 34.790.597    | 0,298 | \$ 10.378.576 |
| 6       | \$ 12.843.378 | 0,432 | \$ 5.552.547 | \$ 40.343.144    | 0,264 | \$ 10.660.148 |
| 7       | \$ 13.785.216 | 0,376 | \$ 5.182.373 | \$ 45.525.517    | 0,240 | \$ 10.942.530 |
| 8       | \$ 14.821.237 | 0,327 | \$ 4.845.089 | \$ 50.370.606    | 0,223 | \$ 11.225.094 |
| 9       | \$ 15.960.861 | 0,284 | \$ 4.537.073 | \$ 54.907.679    | 0,210 | \$ 11.507.223 |
| 10      | \$ 17.214.447 | 0,247 | \$ 4.255.148 | \$ 59.162.827    | 0,199 | \$ 11.788.315 |

Tabla 102: Cálculo del CAE para Escenario 2, Aplicación RCM.

Fuente: Elaboración propia.

## Escenario 3: Renovación del activo

| Año (t) | C(t) Actual  | f(t)  | C(t)*f(t)    | $\sum C(t)*f(t)$ | Q(t)          | FRC   | CAE(t)        |
|---------|--------------|-------|--------------|------------------|---------------|-------|---------------|
| 1       | \$ 2.425.074 | 0,870 | \$ 2.108.760 | \$ 2.108.760     | \$ 62.108.760 | 1,150 | \$ 71.425.074 |
| 2       | \$ 2.611.644 | 0,756 | \$ 1.974.778 | \$ 4.083.537     | \$ 64.083.537 | 0,615 | \$ 39.418.827 |
| 3       | \$ 2.816.870 | 0,658 | \$ 1.852.138 | \$ 5.935.675     | \$ 65.935.675 | 0,438 | \$ 28.878.307 |
| 4       | \$ 3.042.620 | 0,572 | \$ 1.739.628 | \$ 7.675.303     | \$ 67.675.303 | 0,350 | \$ 23.704.314 |
| 5       | \$ 3.290.944 | 0,497 | \$ 1.636.181 | \$ 9.311.484     | \$ 69.311.484 | 0,298 | \$ 20.676.694 |
| 6       | \$ 3.564.101 | 0,432 | \$ 1.540.859 | \$ 10.852.344    | \$ 70.852.344 | 0,264 | \$ 18.721.804 |
| 7       | \$ 3.864.574 | 0,376 | \$ 1.452.836 | \$ 12.305.180    | \$ 72.305.180 | 0,240 | \$ 17.379.299 |
| 8       | \$ 4.195.094 | 0,327 | \$ 1.371.384 | \$ 13.676.564    | \$ 73.676.564 | 0,223 | \$ 16.418.829 |
| 9       | \$ 4.558.666 | 0,284 | \$ 1.295.857 | \$ 14.972.421    | \$ 74.972.421 | 0,210 | \$ 15.712.271 |
| 10      | \$ 4.958.595 | 0,247 | \$ 1.225.689 | \$ 16.198.110    | \$ 76.198.110 | 0,199 | \$ 15.182.631 |

Tabla 103: Cálculo del CAE para Escenario 3, Renovación del Equipo.

Fuente: Elaboración propia.

# Anexo C: Resultados de AMFE Inyectora 6

| Análisis de Modos y Efectos de Falla            |  |  |   |  |  |            |     |                 |  |  |                                   |                  |
|---|--|--|---|--|--|------------|-----|-----------------|--|--|-----------------------------------|------------------|
| Área  |  | Sistema  |   |  |  | Fecha      |     |                 | Facilitador  |  |                                   |                  |
| Inyección                                       |  | Inyectora 6  |   |  |  | 30-03-2025 |     |                 | Mónica Soto  |  |                                   |                  |
| Sistema   | Funciones  | Modo de falla  | Efecto  | Causa  | Ocurrencia   | Gravedad   | NPR | Tarea Propuesta | Intervento Inicial [horas operativo]   | A realizarse por   |                                   |                  |
| Unidad de Cierre                                | Garantizar el correcto soporte, sujeción y alineación del molde.   | Falta en los pernos de fijación del molde por desgaste en los hilos del perno.                             | Molde se afloja durante la inyección.   | Fatiga mecánica, corrosión o apriete inadecuado.   | 6  | 10         | 3   | 189             | Revisar condición de los pernos (desgaste de hilos, desgaste, óxido o corrosión).  | 200  | Producción                        |                  |
|   |  | Falla en los hilos internos de los orificios de sujeción en las placas por desgaste en los hilos internos. | Molde se afloja durante la inyección.   | Desgaste de hilos internos de orificios de sujeción de las placas por uso continuo.                                  | 6  | 10         | 5   | 300             | Realizar el repaso de los hilos de orificios de ambas placas.  | 600  | Técnico mecánico                  |                  |
|   |  | Obstrucción entre plato y molde.   | Movimiento irregular del molde, mala distribución de esfuerzos.                                   | Falta de limpieza en platos, acumulación de óxido y otros residuos.  | 3  | 3          | 3   | 27              | Realizar limpieza del plato, eliminando contaminación, presencia de óxido.   | 200  | Producción                        |                  |
|   |  | Desgaste o daño en las guías de alineación del plato móvil.  | El molde no cierra correctamente, incrementa la fricción en la operación.                         | Uso continuo sin mantenimiento preventivo, falta de lubricación y re alineación de guías.                            | 3  | 6          | 6   | 108             | Revisar el estado de las guías, realizar limpieza y lubricación de guías.  | 600  | Técnico mecánico                  |                  |
|   | Permitir el desplazamiento de la placa móvil durante la apertura y cierre de molde.  | Fallo en la bomba hidráulica por desgaste en el rotor.   | No se genera movimiento en el plato móvil por falta de presión hidráulica.                        | Desgaste de los componentes internos (rotores) causado por el ingreso de elementos indeseados al estanque de aceite. | 2  | 8          | 7   | 112             | Monitoreo de presión hidráulica y vibraciones en la bomba. Realizar pruebas de flujo (medición de presión y caudal). Esto ayuda a evaluar el rendimiento de la bomba y garantizar su fiabilidad. | 2000   | Técnico mecánico/ Empresa externa |                  |
|   |  |  | Fallo en las válvulas de control de dirección del sistema hidráulico por atasco de contaminantes. | El flujo de aceite no llega a los cilindros.   | Atascos por partículas contaminantes o fallo eléctrico en la activación de la válvula.   | 2          | 7   | 7               | 98   | Inspección de válvulas hidráulicas y prueba de flujo de aceite (limpieza y ajustes).   | 4000                              | Técnico mecánico |
|   |  |  | Desgaste y acumulación de residuos en las rieles de desplazamiento.                               | Vibraciones, sonidos por aumento de la fricción.   | Falta de limpieza y lubricación en la zona de trabajo. Acumulación de residuos (probablemente plásticos) en los rieles y partes del sistema. | 6          | 6   | 4               | 144  | Realizar limpieza y lubricación de rieles y patines.   | 600                               | Técnico mecánico |
|   | Entregar fuerza de apertura y cierre a la unidad (Cerrar molde) y para sostener el cierre de la unidad durante el ciclo de inyección (300t). | Fuga severa en el sistema hidráulico.  | Pérdida de presión progresiva.  | Mangueras rotas, conexiones sueltas, sellos desgastados en los cilindros hidráulicos.                                | 7  | 5          | 5   | 175             | Cambio de sellos de los cilindros y mangueras.   | 6000   | Técnico mecánico                  |                  |
|   |  |  | Fallo en el sensor de posición del cierre.  | El sistema no detecta la posición correcta del molde.  | Error de calibración, interferencia electromagnética, suciedad en la superficie del sensor.  | 3          | 4   | 6               | 72   | Inspección y chequeo del funcionamiento del sensor. Calibración periódica del sensor de posición.  | 1000                              | Técnico mecánico |
|   |  |  | Sobrecalentamiento del fluido hidráulico por sobre los 60° C.                                     | Reducción en la viscosidad del aceite, afectando la transmisión de presión.  | Problemas en el sistema de refrigeración del aceite, intercambiadores térmicos sucios, falta de ventilación en la unidad hidráulica.         | 4          | 7   | 5               | 140  | Mantenimiento del sistema de refrigeración del aceite.   | 2000                              | Técnico mecánico |
|   | Realizar la expulsión de la o las piezas moldeadas tras finalizar el ciclo de inyección.   | Fallo en el cilindro hidráulico de expulsión.  | La pieza queda atrapada en el molde.  | Sellos internos desgastados, fuga de fluido.   | 3  | 4          | 6   | 72              | Cambio de sellos de los cilindros y mangueras.   | 6000   | Técnico mecánico                  |                  |
|   |  |  | Obstrucción mecánica en el sistema de expulsión.  | La pieza queda atrapada en el molde.   | Residuos plásticos o contaminación en los pasadores y guías del expulsor.  | 3          | 4   | 6               | 72   | Limpieza periódica del sistema de expulsión de la máquina.   | 1000                              | Producción       |
| Fricción excesiva en el mecanismo de expulsión. |  |  | Movimiento lento o con mayor resistencia.   | Falta de lubricación en pasadores y guías.   | 3  | 5          | 4   | 60              | Lubricación periódica de guías del sistema de expulsión (cilindro de expulsión).   | 600  | Producción                        |                  |
| Unidad de Inyección                             | Alimentar de material plástico granulado al cilindro de plastificación.  | Falta del motor eléctrico de tolva.  | El motor no gira, impidiendo la alimentación de material al cilindro de plastificación.           | Falla eléctrica, sobrecarga, desgaste mecánico.  | 3  | 3          | 5   | 45              | Inspección de conexiones eléctricas y pruebas de funcionamiento.   | 2000   | Técnico mecánico                  |                  |
|   |  | Sensor de nivel de la tolva defectuoso.  | El sensor no detecta correctamente la cantidad de material en la tolva.                           | Fallo eléctrico, sensor descalibrado o con interferencias.   | 2  | 3          | 6   | 36              | Calibración y verificación periódica del sensor.   | 2000   | Técnico mecánico                  |                  |
|   | Fundir y homogeneizar el material plástico granulado a 320° C.   | Temperatura insuficiente en el cilindro de plastificación.   | El material no se funde completamente, generando grumos.  | Fallo en los calefactores o termocuplas, ajuste incorrecto de temperatura.   | 4  | 5          | 6   | 120             | Monitoreo continuo de la temperatura del cilindro con alarmas.   | 200  | Técnico mecánico                  |                  |
|   |  |  | Presencia de material degradado en el husillo.  | Obstrucción parcial del flujo de material.   | Ocios de producción interrumpidos sin purga adecuada del cilindro.   | 2          | 7   | 6               | 84   | Estandarizar elementos calefactores y termocuplas según el molde y material utilizado (320° C y ABS).<br>Limpieza programada del husillo y cilindro. Eliminar material degradado y restos de plástico del interior del cilindro. | 2000                              | Técnico mecánico |
|   |  |  | Fallo en el motor de giro del husillo.  | El husillo no se mueve, deteniendo el proceso de inyección.  | Desgaste del motor hidráulico, presión insuficiente en el sistema hidráulico.  | 3          | 7   | 6               | 126  | Inspección de sellos y desgaste en el motor hidráulico.  | 2000                              | Técnico mecánico |
|   | Inyectar el material plastificado, sosteniendo la presión de compactación durante el proceso de solidificación.                              | Fallo en la bomba hidráulica del sistema de inyección.   | No se genera la presión necesaria para inyectar el material.                                      | Desgaste en rotores, fugas internas, cavitación o presión insuficiente.  | 2  | 8          | 7   | 112             | Monitoreo de presión hidráulica y vibraciones en la bomba. Realizar pruebas de flujo (medición de presión y caudal). Esto ayuda a evaluar el rendimiento de la bomba y garantizar su fiabilidad. | 4000   | Técnico mecánico/ Empresa externa |                  |
|   |  |  | Fugas de aceite en el sistema hidráulico de inyección.  | Pérdida de presión en el sistema.  | Mangueras deterioradas, conexiones flojas, sellos desgastados en cilindros.  | 7          | 5   | 5               | 175  | Cambio preventivo de sellos y mangueras en intervalos establecidos.  | 6000                              | Técnico mecánico |
|   |  |  | Desgaste en los cojinetes del husillo.  | Vibraciones anormales en el husillo, velocidad inestable.  | Fatiga mecánica por operación prolongada sin mantenimiento.  | 3          | 8   | 5               | 120  | Monitoreo de vibraciones en el husillo y cojinetes.  | 2000                              | Técnico mecánico |
|   |  |  | Fugas en la conexión entre la boquilla y el molde.  | El material se escapa por la unión entre la boquilla y el molde.   | Ajuste inadecuado, falta de sellado o alineación incorrecta.   | 4          | 5   | 4               | 80   | Inspección de sellado y ajuste de la boquilla en cada mantenimiento. De ser necesario realizar el cambio de boquilla.  | 1000                              | Técnico mecánico |

Figura 34: Análisis de Modos y Efectos de falla, Inyectora 6, Parte 1.

Fuente: Elaboración propia.

| Análisis de Modos y Efectos de Falla |   |   |   |   |  |          |                |     |  |  |                                      |
|--------------------------------------|---|---|---|---|--|----------|----------------|-----|--|--|--------------------------------------|
| Área                                 |   | Sistema   |   |   |  |          | Fecha          |     | Facilitador  |  |                                      |
| Inyección                            |   | Inyectora 6   |   |   |  |          | 30-03-2025     |     | Mónica Soto  |  |                                      |
| Sistema                              | Funciones   | Modo de falla   | Efecto  | Causa   | Ocurrencia   | Gravedad | Detectabilidad | NPR | Tarea Propuesta  | Intervalo Inicial [horas operativo]              | A realizarse por                     |
| Sistema Hidráulico                   | Generación y suministro de presión hidráulica.                  | Falla en la bomba hidráulica. Desgaste en el rotor.                   | Mal funcionamiento de los actuadores hidráulicos, pérdida de fuerza en el accionamiento.  | Uso prolongado sin mantenimiento, contaminación del fluido con partículas.  | 2  | 8        | 7              | 112 | Monitoreo de presión hidráulica y vibraciones en la bomba. Realizar pruebas de flujo (medición de presión y caudal). Esto ayuda a evaluar el rendimiento de la bomba y garantizar su fiabilidad.   | 4000   | Técnico mecánico/ Empresa externa    |
|                                      |   | Falla en la bomba hidráulica. Fallo en el acoplamiento con el motor.  | El motor gira sin transmitir la potencia a la bomba.  | Desalineación del eje, fatiga mecánica, torque de sujeción inadecuado.  | 2  | 8        | 8              | 128 | Verificación de alineación y ajuste del acoplamiento.<br>Lubricación de los componentes del acoplamiento.  | 4000<br>1000                                     | Técnico mecánico<br>Técnico mecánico |
|                                      |   | Fallo en el motor. Sobrecalentamiento del motor.                      | Pérdida total de capacidad del motor para accionar la bomba hidráulica.   | Ciclo de trabajo excesivo, ventilación inadecuada, fallo eléctrico.   | 2  | 8        | 6              | 96  | Monitoreo de temperatura del motor con sensores térmicos. Realizar termografía.<br>Mantenimiento del sistema de ventilación y refrigeración del motor.   | 2000<br>2000                                     | Técnico mecánico<br>Técnico mecánico |
|                                      |   | Obstrucciones en la entrada de la bomba.                              | Restricción del flujo de aceite hacia la bomba. Se generan ruidos (golpeteos). La cavitación en bombas daña los componentes del sistema (rotor, etc)            | Acumulación de partículas en el filtro de succión, nivel bajo de aceite.  | 2  | 7        | 5              | 70  | Limpeza regular de los filtros de succión.   | 2000   | Técnico mecánico                     |
|                                      |   | Cierre del pistón de inyección  | Desgaste o daño en los sellos del pistón.   | Fugas de aceite en la zona del pistón, reducción de la presión en el actuador.  | Uso prolongado sin mantenimiento, contaminación del aceite hidráulico, temperatura excesiva. | 6        | 6              | 5   | 180  | Inspección visual de fugas y desgaste en sellos. | 200                                  |
|                                      | Pérdida de ajuste o aflojamiento en las conexiones hidráulicas. |   | Pérdida de presión hidráulica, imposibilidad de accionar el pistón.   | Vibraciones excesivas, torque inadecuado en los acoples, fatiga mecánica en las uniones.  | 2  | 6        | 4              | 48  | Ajuste de conexiones con control de torque.  | 1000   | Técnico mecánico                     |
|                                      | Accionamiento del pistón de cierre del motor.                   |   | Desgaste o daño en los sellos del pistón.   | Fugas de aceite en la zona del pistón, reducción de la presión en el actuador.  | Uso prolongado sin mantenimiento, contaminación del aceite hidráulico, temperatura excesiva. | 6        | 6              | 5   | 180  | Inspección visual de fugas y desgaste en sellos. | 200                                  |
|                                      |   | Pérdida de ajuste o aflojamiento en las conexiones hidráulicas.       | Pérdida de presión hidráulica, imposibilidad de accionar el pistón.   | Vibraciones excesivas, torque inadecuado en los acoples, fatiga mecánica en las uniones.  | 2  | 6        | 4              | 48  | Ajuste de conexiones con control de torque.  | 1000   | Técnico mecánico                     |
|                                      | Filtración y limpieza del fluido hidráulico.                    | Desgaste o rotura en los sellos del sistema hidráulico.               | Ingreso de partículas en el fluido hidráulico, contaminación del sistema.   | Exposición a temperaturas elevadas, envejecimiento del material de los sellos.  | 6  | 6        | 5              | 180 | Revisión periódica de fugas en el sistema (mangueras, conexiones, cilindros, sellos).<br>Reemplazo programado de sellos y mangueras.   | 200<br>6000                                      | Técnico mecánico<br>Técnico mecánico |
|                                      |   | Presencia de humedad en el fluido hidráulico.                         | Corrosión en componentes del sistema.   | Condensación en el depósito de aceite, ingreso de agua por fugas en el sistema.   | 2  | 7        | 5              | 70  | Cambio del aceite.   | 10000  | Técnico mecánico                     |
|                                      |   | Residuos generados por degradación del aceite hidráulico.             | Acumulación de lodos en el sistema hidráulico, obstrucción de filtros.  | Temperaturas excesivas, oxidación del fluido, operación prolongada sin cambio de aceite.  | 4  | 7        | 6              | 168 | Comprobar el aceite hidráulico en cuanto a partículas de suciedad según ISO 4406.<br>Análisis del fluido hidráulico para determinar su estado químico.   | 4000<br>4000                                     | Especialista<br>Especialista         |
|                                      |   | Colapso mecánico del material filtrante.                              | Pérdida de capacidad de filtración, ingreso de partículas en el sistema.  | Falta de cambio o mantenimiento de los filtros en los periodos recomendados.  | 2  | 8        | 4              | 64  | Limpeza de filtro. Realizar inspección del estado del filtro, en caso de presentar deterioro, solicitar el cambio del filtro.  | 2000   | Técnico mecánico                     |
|                                      | Almacenamiento y distribución del fluido hidráulico.            | Fallo en el sensor de nivel del tanque.                               | Lecturas incorrectas del nivel de fluido hidráulico.  | Sensor descalibrado, fallo eléctrico en el sistema de monitoreo.  | 2  | 6        | 5              | 60  | Prueba de calibración del sensor de nivel.   | 2000   | Técnico mecánico                     |
|                                      |   | Fugas en el sistema hidráulico.                                       | Pérdida de presión hidráulica.  | Temperaturas excesivas, oxidación del fluido, operación prolongada sin cambio de aceite, envejecimiento del material de los sellos. | 7  | 6        | 5              | 210 | Realizar limpieza del estanque para evitar la acumulación de contaminantes. Cuando el aceite está expuesto a temperaturas elevadas, este se degrada, formando lodos en el sistema.   | 4000   | Técnico mecánico                     |
|                                      |   | Fallo en el sistema de refrigeración del fluido hidráulico.           | Aumento de la temperatura del aceite.   | Intercambiador térmico obstruido, flujo de refrigerante insuficiente.   | 3  | 8        | 5              | 120 | Limpeza y mantenimiento de intercambiadores térmicos. Realizar limpieza interna de los tubos de refrigeración, hacer circular líquido de limpieza para eliminar posibles incrustaciones de sarro en el sistema.  | 2000   | Técnico mecánico                     |
|                                      |   | Rotura de mangueras hidráulicas.                                      | Fugas de aceite a alta presión, pérdida de control del sistema.   | Material deteriorado, exposición a vibraciones, presión excesiva.   | 2  | 9        | 6              | 108 | Inspección visual de desgaste y termográfica.  | 2000   | Técnico mecánico                     |
| Sistema Eléctrico                    | Suministro y distribución de energía eléctrica.                 | Falla en el interruptor general.                                      | Pérdida total de energía en la inyectora.   | Desgaste en los contactos eléctricos, cortocircuito interno, sobrecarga en el sistema.  | 3  | 6        | 4              | 72  | Inspección y prueba periódica del interruptor general.<br>Verificar visualmente el estado del interruptor, buscando signos de sobrecalentamiento o desgaste.<br>Activar y desactivar el interruptor bajo condiciones controladas para asegurar su correcto funcionamiento.<br>Medir la resistencia de los contactos para detectar desgaste.  | 2000   | Técnico Eléctrico                    |
|                                      |   | Activación del sistema de protección ante sobrecarga o cortocircuito. | Desconexión del sistema por sobrecarga.   | Cortocircuito en el sistema, sobrecarga eléctrica, fallo en la coordinación de protecciones.  | 3  | 6        | 3              | 54  | Verificación de calibración y respuesta del sistema de protección ante sobrecarga. Revisión e inspección del sistema de protección (fusibles, disyuntores, relés térmicos). Inspeccionar las conexiones eléctricas para detectar signos de calentamiento.<br>Medir el consumo eléctrico de los circuitos para detectar posibles sobrecargas. | 1000   | Técnico Eléctrico                    |
|                                      | Protección y seguridad del sistema eléctrico.                   | Deterioro del aislamiento en cables eléctricos.                       | Fugas de corriente, posible cortocircuito y riesgo de descargas eléctricas.   | Exposición a temperaturas elevadas, fricción mecánica, envejecimiento del material aislante.  | 4  | 8        | 3              | 96  | Revisión de aislamiento en cables eléctricos y detección de puntos calientes. Realización de termografías.   | 1000   | Técnico Eléctrico                    |
|                                      | Regulación y conversión de energía eléctrica.                   | Sobrecalentamiento del transformador.                                 | Pérdida de eficiencia en la conversión de voltaje, reducción de la vida útil del transformador.   | Exceso de carga, mala ventilación, fallas en el sistema de disipación térmica.  | 2  | 7        | 5              | 70  | Revisión térmica del transformador y mantenimiento de su sistema de refrigeración.   | 1000   | Técnico Eléctrico                    |
|                                      | Gestión térmica y disipación de calor.                          | Obstrucción en las aletas del intercambiador de calor.                | Reducción de la eficiencia en la disipación térmica, incremento de la temperatura en el sistema eléctrico.  | Acumulación de polvo, residuos plásticos o contaminación del ambiente.  | 3  | 6        | 3              | 54  | Limpeza y eliminación de obstrucciones en las aletas del intercambiador.   | 1000   | Técnico Eléctrico                    |
|                                      | Visualización y monitoreo del sistema eléctrico y de control.   | Falla en los actuadores de alarma (luces o sonido de advertencia).    | Las alarmas visuales o sonoras no se activan ante fallos en el sistema eléctrico, es decir, los operadores no reciben advertencias en caso de eventos críticos. | Falla en el altavoz de alarma, bombillas LED fundidas, fusibles quemados en el circuito de señalización.                            | 3  | 8        | 6              | 144 | Prueba periódica de alarmas visuales y sonoras.  | 2000   | Técnico Eléctrico                    |

Figura 35: Análisis de Modos y Efectos de falla, Inyectora 6, Parte 2.

Fuente: Elaboración propia.

| Análisis de Modos y Efectos de Falla              |   |   |   |  |            |          |                |  |   |                                     |                       |
|---|---|---|---|--|------------|----------|----------------|--|---|-------------------------------------|-----------------------|
| Área  |   | Sistema   |   |  | Fecha      |          |                | Facilitador  |   |                                     |                       |
| Inyección   |   | Inyectora 6   |   |  | 30-03-2025 |          |                | Mónica Soto  |   |                                     |                       |
| Sistema   | Funciones   | Modo de falla   | Efecto  | Causa  | Ocurrencia | Gravedad | Detectabilidad | NPR  | Tarea Propuesta   | Intervalo Inicial [horas operativo] | A realizarse por      |
| Sistema de Refrigeración                          | Suministro y distribución de agua de refrigeración desde la inyectora al molde. | Fallo en la bomba de agua de refrigeración  | La bomba de agua deja de funcionar, deteniendo el flujo de refrigerante a los moldes y otros subsistemas. El efecto inmediato es la reducción de la eficiencia en el enfriamiento de los moldes, aumentando el tiempo de ciclo. | Desgaste o fallo mecánico en los rodamientos de la bomba. Sobrecalentamiento del motor de la bomba.  | 2          | 4        | 6              | 48   | Inspección periódica del estado de la bomba y medición de flujo del agua de refrigeración.  | 1000                                | Técnico Mecánico      |
|   |   | Acumulación de sedimentos en los conductos internos. Formación de incrustaciones o depósitos minerales en las tuberías.   | Los conductos se reducen progresivamente por la acumulación de residuos, disminuyendo el flujo de refrigerante, generando un mayor  | Calidad del agua con alto contenido mineral (agua dura). Falta de un programa de mantenimiento y limpieza de tuberías.   | 4          | 6        | 3              | 72   | Implementación de un plan de limpieza química y mecánica a los conductos de refrigeración y manifolds, para prevenir acumulaciones. | 2000                                | Técnico Mecánico      |
|   |   | Falla en el manifold de distribución del agua de refrigeración al molde.  | La distribución del refrigerante se ve afectada, generando zonas con enfriamiento insuficiente o nulo, presentando zonas calientes en los moldes y afectando la calidad de moldeo de la piezas.                                 | Fugas de agua en el manifold de distribución. Taponamiento parcial por residuos o acumulación de impurezas. Deterioro del material por corrosión o fatiga.     | 4          | 6        | 4              | 96   | Inspección visual y ajuste periódico de conexiones del manifold.  | 600                                 | Técnico Mecánico      |
|   |   | Envejecimiento y degradación del material de la manguera  | La manguera pierde flexibilidad y resistencia, generando fugas o colapsos parciales.  | Uso prolongado sin reemplazo preventivo. Exposición a productos químicos agresivos. Fatiga mecánica por ciclos repetidos de presión.                           | 4          | 8        | 4              | 128  | Cambio de mangueras debido a la degradación térmica y química   | 200                                 | Producción            |
|   |   | Impacto o daño mecánico accidental  | La manguera se perfora o rompe por un golpe externo, generando una fuga repentina y la interrupción del proceso de enfriamiento.  | Manipulación incorrecta de herramientas cerca del sistema de refrigeración. Caída de objetos pesados sobre la manguera. Aplastamiento por componentes móviles. | 4          | 7        | 6              | 168  | Capacitación al personal en manipulación segura de mangueras  | 2000                                | Seguridad/ Producción |
| Control y regulación del caudal de refrigeración. | Fugas en los sellos de la válvula   | Los sellos internos de la válvula pierden su capacidad de estanqueidad, permitiendo el escape de refrigerante, generando un pérdida progresiva de presión en el sistema de refrigeración, goteo o fuga visible en la válvula. | Desgaste natural de los sellos, exposición a productos químicos agresivos, variaciones de temperatura que degradan los materiales.  | 4  | 7          | 4        | 112            | Uso de sellos de alta resistencia y reemplazo programado       | 1000  | Técnico Mecánico                    |                       |
|   | Fisuras en el cuerpo de la válvula  | El material del cuerpo de la válvula presenta microfisuras o grietas que permiten la fuga de refrigerante se perciben fugas visibles de agua.   | Fatiga mecánica por presión excesiva, golpes mecánicos durante el mantenimiento, defectos de fabricación en el material de la válvula.  | 3  | 7          | 4        | 84             | Revisión periódica con pruebas de presión y detección de fugas | 1000  | Técnico Mecánico                    |                       |
| Sellado y prevención de fugas.                    | Corrosión en los conectores rápidos.  | El contacto prolongado con el refrigerante, humedad o productos químicos agresivos deteriora el material de las conexiones, causando su debilitamiento y posterior fuga.  | Exposición prolongada a ambientes corrosivos, falta de mantenimiento preventivo.  | 3  | 5          | 4        | 60             | Inspección y cambio de conectores                              | 600   | Técnico Mecánico                    |                       |

Figura 36: Análisis de Modos y Efectos de falla, Inyectora 6, Parte 3.  
Fuente: Elaboración propia.

# Anexo D: Resultados de AMFE Molde 1733A

| Análisis de Modos y Efectos de Falla |  |  |  |  |            |          |            |  |   |                   |
|--------------------------------------|--|--|--|--|------------|----------|------------|--|---|-------------------|
| Área                                 |  |  | Sistema  |  |            |          | Fecha      |  | Facilitador   |                   |
| Inyección                            |  |  | Molde 1733A  |  |            |          | 30-03-2025 |  | Mónica Soto   |                   |
| Sistema                              | Funciones  | Modo de falla  | Efecto   | Causa  | Ocurrencia | Gravedad | NPR        | Tarea Propuesta  | Intervalo Inicial                                     | A realizarse por  |
| Sistema de inyección                 | Distribuir el material fundido hacia las cavidades del molde.  | Fallo de una o varias resistencias eléctricas por fatiga o daño térmico.                             | Las resistencias eléctricas fallan, impidiendo que el sistema mantenga la temperatura óptima para el flujo del material. Variaciones en la viscosidad del material, inyección defectuosa, posible solidificación del polímero dentro del sistema.                            | Resistencias eléctricas quemadas o desconectadas. Falta de mantenimiento en el sistema eléctrico del molde.                                | 4          | 8        | 5 160      | Pruebas de funcionamiento del sistema de control térmico utilizando equipo de control de temperatura de molde. Verificar que la temperatura de los calefactores se eleven a 320° C en un periodo de 10 a 15 minutos. En caso de no lograr elevar la temperatura a 320° grados, realizar una inspección del manifold de inyección, elementos calefactores y termocuplas. Estandarizar elementos calefactores y termocuplas según el molde y material utilizado (320° Cy ABS). | Cada 10.000 ciclos                                    | Técnico matricero |
|                                      |  | Obstrucción total de boquilla de inyección de molde por contaminante.                                | El material fundido no puede fluir por el canal de cotada debido a bloqueos internos. No hay llenado de las cavidades del molde, piezas defectuosas o nulas, aumento de la   | Presencia de residuos o contaminantes en el material.  | 4          | 8        | 8 256      | Filtrado del material fundido antes de ingresar al sistema de inyección del molde. Instalar filtro en boquilla de inyección de máquina inyectora.  | Tarea correctiva                                      | Técnico mecánico  |
|                                      |  | Rebalse en zona bebedero molde y boquilla de inyectora por abolladura en zona bebedero molde.        | El material inyectado fluye fuera del sistema de inyección, derramándose en la zona de la boquilla y bebedero. Desperdicio de material (rebalse) generando un aumento de los tiempos no  | Abolladura en zona de bebedero, impidiendo la hermeticidad del acople. Exceso de presión en la inyección.                                  | 2          | 8        | 5 80       | Inspección del estado del bebedero del molde. Verificar que no se presenten abolladuras.   | Cada 40.000 ciclos                                    | Técnico matricero |
| Sistema de moldeo                    | Dar forma a la pieza con precisión dimensional y calidad superficial adecuada.                                 | Desgaste excesivo de las cavidades, insertos o postizos.   | Se produce una erosión progresiva en las cavidades del molde, insertos o postizos, lo que provoca cambios en la geometría de la pieza moldeada. Piezas con dimensiones fuera de tolerancia, falta de ajuste en ensamblajes, mayor variabilidad                               | Falta de mantenimiento preventivo del molde. Excesiva cantidad de ciclos sin inspección o reacondicionamiento del molde.                   | 5          | 7        | 5 175      | Inspección periódica del desgaste en cavidades, insertos y postizos revisando las últimas piezas inyectadas. En el caso de encontrar defectos en la pieza inyectada, coordinar la reparación correspondiente junto con el supervisor del área.   | Cada 10.000 ciclos                                    | Técnico matricero |
|                                      |  | Deformaciones en la pieza debido a un enfriamiento desigual de las cavidades.                        | Se generan diferencias de temperatura en distintas zonas de la cavidad del molde, causando contracciones irregulares en la pieza moldeada. Piezas con curvaturas no  | Sistema de refrigeración deficiente o bloqueado. Diseño inadecuado del circuito de enfriamiento.   | 4          | 5        | 7 140      | Inspección y mantenimiento del sistema de refrigeración del molde. Despiche de agua estancada posterior a una producción para evitar la acumulación de minerales en los canales de refrigeración.  | Cada 10.000 ciclos                                    | Técnico matricero |
|                                      |  | Excesiva rugosidad o defectos en la superficie de la cavidad del molde (estética de la pieza).       | El desgaste de las cavidades provoca que la superficie de la pieza adquiera texturas no deseadas. Presencia de irregularidades, rugosidad excesiva o   | Uso prolongado del molde sin mantenimiento.  | 4          | 4        | 5 80       | Limpieza y mantenimiento regular de las cavidades del molde.   | Diario (Mantenimiento o Autónomo)                     | Producción        |
|                                      |  | Cierre de molde deforme, el ajuste entre el postizo que tiene la forma de la pieza y la placa porta  | Se genera una separación entre las partes del molde, permitiendo que el material fluya fuera de la cavidad de inyección.   | Fallo mecánico en el sistema de cierre del molde. Deformación del material   | 3          | 5        | 5 75       | Inspección periódica de la alineación y ajuste del cierre del molde. Revisar alineación de placas y postizos.  | Cada 10.000 ciclos                                    | Técnico matricero |
|                                      |  | Expulsores fuera de medida.  | Se genera un exceso de material en la zona de expulsión, formando una acumulación de material no deseada. Defecto de calidad que puede   | Desgaste en los expulsores, generando fugas de material. Falta de inspección del largo de los botadores en                                 | 3          | 5        | 5 75       | Inspección del estado de los expulsores. De ser necesario sustituir los expulsores desgastados para evitar fugas de material. Revisar últimas piezas producidas para revisar condiciones de no calidad.  | Cada 40.000 ciclos                                    | Técnico matricero |
| Sistema de refrigeración             | Controlar la temperatura (25° C) del molde para garantizar una solidificación uniforme del material inyectado. | Obstrucción parcial en uno o varios de los canales de refrigeración, reduciendo el flujo de agua.    | Piezas inyectadas pueden quedar retenidas en el molde por el efecto de una deficiencia en la refrigeración. También pueden haber defectos de calidad que comprometen la  | Temperatura de enfriamiento inadecuadas. Canales de refrigeración obstruidos, restringiendo el paso del agua. Tratamiento de agua          | 7          | 3        | 3 63       | Limpieza periódica de los canales de refrigeración. Utilizar productos desincrustantes y realizar enjuagues con agua tratada.  | Cada 40.000 ciclos                                    | Técnico matricero |
|                                      |  | Desgaste o deterioro en los sellos del sistema, generando fugas de agua.                             | Se reduce el flujo de refrigerante en el molde por fugas de agua, afectando la disipación de calor. Incremento de la temperatura en ciertas zonas del molde. Presencia de humedad o acumulación de agua en zonas   | Uso prolongado de los sellos sin mantenimiento o sustitución. Calidad inadecuada del material de los sellos, con baja resistencia térmica. | 4          | 4        | 7 112      | Revisión y sustitución programada de sellos. Inspeccionar visualmente, detectar signos de desgaste o corrosión en el molde, reemplazar en intervalos definidos.  | Cada 40.000 ciclos                                    | Técnico matricero |
|                                      |  | Conectores dañados o mal ajustados, provocando fugas de agua y fluctuaciones en la presión del agua. | Disminución en la circulación del refrigerante, afectando el enfriamiento del molde. Fluctuaciones en la temperatura del molde durante la inyección. Zonas con sobrecalentamiento y otras con enfriamiento excesivo. Fugas visibles en los puntos de conexión del sistema de | Mala instalación de los conectores. Mal uso de los conectores.   | 4          | 4        | 3 48       | Verificación del ajuste y estado de conectores. Revisar la presión del agua y realizar inspección visual de posibles fugas.  | Cada término de producción (Mantenimiento o Autónomo) | Producción        |
|                                      |  | Bloqueo total en los canales de refrigeración por acumulación de residuos o                          | Piezas con defectos de contracción, quemaduras o deformaciones. Aumento del tiempo de ciclo para intentar compensar la falta de  | Falta de mantenimiento y limpieza en el sistema de refrigeración. Uso de agua con alta   | 3          | 6        | 3 54       | Limpieza periódica de los canales de refrigeración. Utilizar productos desincrustantes y realizar enjuagues con agua tratada.  | Cada 40.000 ciclos                                    | Técnico matricero |
|                                      |  | Fugas de agua por fisuras en los postizos del molde.   | Se forman grietas o fisuras en los canales de refrigeración, permitiendo la fuga total del refrigerante, por lo que se bloquea la refrigeración para producir  | Fatiga térmica en el material del molde. Golpes mecánicos o vibraciones excesivas.   | 4          | 7        | 5 140      | Inspección con pruebas de presión para detectar fisuras. Aplicar presión controlada y detectar pérdidas de caudal en el sistema.   | Cada 40.000 ciclos                                    | Técnico matricero |

Figura 37: Análisis de Modos y Efectos de falla, Molde 1733A, Parte 1.

Fuente: Elaboración propia.

| Análisis de Modos y Efectos de Falla |  |  |   |   |            |          |                  |     |   |                    |                    |
|--------------------------------------|--|--|---|---|------------|----------|------------------|-----|---|--------------------|--------------------|
| Área Inyección                       |  |  | Sistema Molde 1733A   |   |            |          | Fecha 30-03-2025 |     | Facilitador Mónica Soto   |                    |                    |
| Sistema                              | Funciones  | Modo de falla  | Efecto  | Causa   | Ocurrencia | Gravedad | Detectabilidad   | NPR | Tarea Propuesta   | Intervalo Inicial  | A realizarse por   |
| Sistema de expulsión                 | Liberar todas las piezas inyectadas.   | Expulsores desgastados o con falta de lubricación, impidiendo un movimiento suave.                             | Los expulsores no se desplazan correctamente debido a desgaste excesivo o falta de lubricación, lo que provoca fricción y trabas en el sistema. Piezas que se quedan.   | Uso prolongado sin mantenimiento preventivo. Lubricación insuficiente o incorrecta.   | 4          | 5        | 6                | 120 | Lubricación periódica de los expulsores.  | Cada 10.000 ciclos | Técnico matricero  |
|                                      |  | Obstrucción en los agujeros de los expulsores por acumulación de residuos o material solidificado.             | Los residuos del material inyectado o contaminantes se acumulan en los agujeros donde se alojan los expulsores, limitando su movimiento. Movimiento restringido de los expulsores.  | Falta de limpieza en los conductos de expulsión. Exceso de temperatura en la colada que provoca carbonización de residuos.  | 2          | 5        | 3                | 30  | Limpieza regular de los agujeros de los expulsores. Realizar pruebas de funcionamiento al deslizamiento de expulsores.  | Cada 10.000 ciclos | Técnico matricero  |
|                                      |  | Placa expulsora se atasca debido a desgaste.   | La placa expulsora pierde su alineación por desgaste o falta de mantenimiento, lo que genera un movimiento irregular de los expulsores. Expulsores que se traban o no aplican la fuerza de manera uniforme.                 | Falta de inspección y lubricación periódica. Fatiga del material por ciclos repetitivos de inyección. Desgaste en los pernos guía de la placa expulsora.                                | 2          | 5        | 3                | 30  | Lubricación de los pernos guía y mecanismo de desplazamiento de la placa. Inspección de la alineación de la placa expulsora.  | Cada 10.000 ciclos | Técnico matricero  |
|                                      |  | Excesiva rugosidad o defectos en la superficie de la cavidad del molde.  | La rugosidad excesiva o defectos en la cavidad generan puntos de adherencia entre la pieza y el molde (retención).  | Molde con cavidades deterioradas o sin mantenimiento.   | 5          | 5        | 7                | 175 | Inspección periódica del desgaste en cavidades, insertos y postizos revisando las últimas piezas inyectadas. En el caso de encontrar defectos en la pieza inyectada, coordinar la reparación correspondiente junto con el supervisor del área.  | Cada 10.000 ciclos | Técnico matricero  |
|                                      | Distribuir la fuerza de expulsión de manera uniforme para evitar marcas visibles en la pieza moldeada sin dañarla ni deformarla. | Distribución desigual de los expulsores, generando puntos de presión excesiva en ciertas áreas.                | Los expulsores aplican fuerza de manera irregular, ejerciendo más presión en algunas zonas que en otras. Se generan marcas en la superficie de la pieza, que pueden afectar su estética y funcionalidad.                    | Expulsores con desgaste desigual, lo que genera diferencias en la presión aplicada sobre la pieza. Desalineación de la placa expulsora, provocando que algunos expulsores               | 3          | 5        | 6                | 90  | Inspección del estado de los expulsores. De ser necesario sustituir los expulsores desgastados para evitar fugas de material. Revisar últimas piezas producidas para revisar condiciones de no calidad.   | Cada 40.000 ciclos | Técnico matricero  |
| Sistema de calefacción               | Mantener la temperatura óptima en el sistema de colada caliente para evitar la solidificación prematura del material.            | Fallo de una o varias resistencias eléctricas por fatiga o daño térmico.                                       | Las resistencias eléctricas dejan de generar calor debido a un daño por fatiga térmica o deterioro interno. Pérdida total o parcial de calefacción en el sistema de colada caliente. Interrupción del proceso de inyección. | Resistencias eléctricas quemadas o desconectadas. Falta de mantenimiento en el sistema eléctrico del molde.   | 4          | 8        | 6                | 192 | Pruebas de funcionamiento del sistema de control térmico utilizando equipo de control de temperatura de molde. Verificar que la temperatura de los calefactores se eleven a 320° C en un periodo de 10 a 15 minutos. En caso de no lograr elevar la temperatura a 320° grados, realizar una inspección del manifold de inyección, elementos calefactores y termocuplas. | Cada 10.000 ciclos | Técnico matricero  |
|                                      |  | Fallo de una o varias resistencias eléctricas por rebalse de material en el sistema eléctrico del molde.       | El material fundido se filtra en el sistema eléctrico, dañando las resistencias y provocando cortocircuitos. Generación de fallos eléctricos en el sistema de calefacción. Riesgo de cortocircuitos y daños en              | Falta de inspección y mantenimiento en las boquillas de inyección.  | 2          | 8        | 6                | 96  | Mantenimiento preventivo del cableado eléctrico, ajustando conexiones flojas y limpiando contactos. Inspeccionar estado de tomacorriente, de ser necesario programar cambio del elemento.   | Cada 40.000 ciclos | Técnico matricero  |
|                                      |  | Conexión eléctrica defectuosa o mal ajuste en el suministro de energía. Tomacorriente del molde en mal estado. | Una mala conexión interrumpe el suministro de energía a las resistencias eléctricas, impidiendo su correcto funcionamiento. Paradas de producción debido a falta de estabilidad térmica.                                    | Conectores eléctricos flojos o en mal estado. Falta de mantenimiento en el cableado eléctrico del sistema de calefacción. Uso de componentes eléctricos incompatibles con el sistema de | 2          | 6        | 5                | 60  | Mantenimiento preventivo del cableado eléctrico, ajustando conexiones flojas y limpiando contactos. Inspeccionar estado de tomacorriente, de ser necesario programar cambio del elemento.   | Cada 40.000 ciclos | Técnico matricero  |
|                                      |  | Termocupla defectuosa o mal calibrada, generando lecturas erróneas de temperatura.                             | La termocupla no mide correctamente la temperatura real del sistema, enviando información errónea al controlador de calefacción. Sobre calentamiento o enfriamiento del sistema de colada caliente.                         | Termocupla falla por mala conexión o mal control de la temperatura por parte de operador.   | 4          | 8        | 6                | 192 | Pruebas de funcionamiento del sistema de control térmico utilizando equipo de control de temperatura de molde. Verificar que la temperatura de los calefactores se eleven a 320° C en un periodo de 10 a 15 minutos. En caso de no lograr elevar la temperatura a 320° grados, realizar una inspección del manifold de inyección, elementos calefactores y termocuplas. | Cada 10.000 ciclos | Técnico matricero  |
| Sistema de guías y alineación        | Asegurar el correcto cierre del molde evitando desalineaciones.  | Cierre irregular del molde por fricción en las guías.  | El aumento de fricción genera resistencia al movimiento del molde durante el cierre. La falta de lubricación provoca desgaste acelerado en las guías y casquillos.  | Falta de un plan de mantenimiento de lubricación. Uso de lubricantes inadecuados o incompatibles con el material del molde. Contaminación de la   | 3          | 3        | 2                | 18  | Lubricación programada de las guías y casquillos. Aplicar lubricante específico para alta temperatura y carga mecánica.   | Cada 10.000 ciclos | Técnico matricero  |
|                                      |  | Interferencia de residuos sólidos en la superficie de contacto de cierre.                                      | La presencia de residuos impide un cierre hermético del molde. Se generan puntos de fuga donde el material puede escaparse durante la inyección. Rebabas visibles en la pieza moldeada.                                     | Falta de limpieza regular en la zona de cierre del molde. Uso de material reciclado con alto contenido de impurezas. Sellado deficiente del molde que permite                           | 3          | 6        | 3                | 54  | Limpieza y eliminación de residuos en superficies de cierre (plástico degradado, óxido). Usar cepillos y solventes adecuados para remover partículas contaminantes.   | Cada 10.000 ciclos | Técnico matricero  |
| Sistema de Ventilación               | Eliminar el aire atrapado dentro de la cavidad para evitar defectos como quemaduras o burbujas.                                  | Acumulación de residuos de material fundido o impurezas en las ranuras de ventilación.                         | El aire atrapado no se elimina completamente, provocando defectos en la pieza moldeada. Aparición de burbujas o defectos internos en la pieza moldeada.   | Falta de mantenimiento preventivo y limpieza del sistema de ventilación.  | 2          | 5        | 4                | 40  | Limpieza periódica del sistema de ventilación (ranuras y canales de desgasificación).   | Cada 40.000 ciclos | Técnico matricero. |

Figura 38: Análisis de Modos y Efectos de falla, Molde 1733A, Parte 2.

Fuente: Elaboración propia.