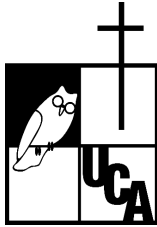


**UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA JOSÉ SIMEÓN CAÑAS  
UNIVERSIDAD DON BOSCO**



**PROPUESTA DE PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PARA SOPLADORA DE ENVASE PET  
KRONES K12C3 UTILIZANDO RCM PARA LA REDUCCIÓN DE COSTOS DE OPERACIÓN  
DE LÍNEAS DE ENVASADO**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PREPARADO PARA**

**LA FACULTAD DE POSTGRADO UCA**

**Y**

**FACULTAD DE INGENIERÍA UDB**

**PARA OPTAR AL GRADO DE:**

**MAESTRO EN GERENCIA DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**PRESENTADO POR:**

**MAURICIO ARMANDO ROLDÁN MENA**

**RODRIGO ERNESTO BAIZA CENTENO**

**SAÚL ALEJANDRO RAMOS CORTEZ**

**ASESOR:**

**MTRO. MOISÉS MENDOZA**

**ANTIGUO CUSCATLÁN, EL SALVADOR, C.A.**

**OCTUBRE 2024**

**Rectores**

Mario Cornejo, S.J.

Mario Rafael Olmos Argueta, SDB.

**Secretarias Generales**

Lidia Gabriela Bolaños Teodoro

Yesenia Xiomara Martínez Oviedo

**Decano de Facultad de Ingeniería UDB**

Mario Guillermo Juárez Pérez

**Decano de Facultad de Ingeniería UCA**

Nelly Arely Chévez Reynosa

**Directores de la Maestría en Gerencia del Mantenimiento**

**Industrial**

Diana Carolina Cruz UCA

José Luis Martínez UDB

## RESUMEN

La industria de envasado de bebidas enfrenta desafíos crecientes debido a la necesidad de optimizar procesos para reducir costos operativos en un entorno altamente competitivo. Para garantizar la continuidad operativa al menor costo posible, es esencial implementar programas de mantenimiento eficaces, basados en datos históricos y análisis de ciclos de operación. La selección incorrecta de estos programas puede comprometer la confiabilidad de los equipos, aumentando los costos por fallos y tiempos de inactividad. En este contexto, se propone un programa de mantenimiento para una sopladora de envases PET Kroner K12C3, utilizando la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).

Se propone la implementación de la metodología RCM para optimizar los planes de mantenimiento de la sopladora de botellas Kroner K12C3. Describiendo modos de falla y su efecto (Metodología AMEF) en conjunto con el equipo natural y a través del análisis de indicadores clave como la disponibilidad operativa, frecuencia de fallas, el tiempo medio entre fallos (MTBF), y el tiempo medio de reparación (MTTR), basados en datos históricos extraídos del sistema ERP SAP, se podrá describir el estado actual del equipo y seleccionar las tareas de mantenimiento óptimas que mejoren los indicadores analizados y reduzcan los costos asociados a la inactividad y los costos de ejecución planes de mantenimiento ineficaces.

El análisis de los indicadores de confiabilidad y la aplicación de la metodología de RCM confirman que los planes de mantenimientos propuestos mejoran la confiabilidad del equipo y reduce significativamente los costos operativos derivados de los tiempos de inactividad por fallas y costos por la ejecución de planes de mantenimiento preventivo que no aportan significativamente

La implementación de la metodología RCM permite no solo describir el estado actual de operación de la sopladora Kroner K12C3, además, permite priorizar a través del NPR las fallas que tienen mayor impacto en términos económicos y garantiza que la mayoría de recursos sean orientados a mitigar dichas fallas, así obteniendo mayores beneficios. Este enfoque puede ser replicado en otras industrias de envasado PET, contribuyendo a una mejora sostenible de los procesos de mantenimiento.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	i
ÍNDICE DE CONTENIDO	ii
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
SIGLAS	viii
NOMENCLATURA	ix
1 CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes y definición del problema	1
1.2 Justificación	6
1.3 Objetivos	7
1.3.1 Objetivo general.....	7
1.3.2 Objetivo específico.....	7
1.4 Alcance	7
1.5 Limitaciones	8
2 CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	9
2.1 Industria de embotellado	9
2.1.1 Máquinas que conforman una línea embotelladora.....	11
2.2 Soplado de envase PET	17
2.2.1 Estados del tereftalato de polietileno (PET).....	18
2.2.2 Preformas.....	18
2.2.3 Envase.....	18
2.2.4 Proceso de moldeo por estirado y soplado de envase PET.....	20
2.2.5 Máquinas sopladoras.....	22
2.3 Modelos de mantenimiento en la industria	24
2.3.1 Políticas de mantenimiento.....	24
2.3.2 Actividades de mantenimiento.....	24
2.3.3 Principales indicadores de mantenimiento.....	25

2.4	Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)	26
2.4.1	Grupo de Revisión o Equipo Natural.....	27
2.4.2	Definición de Taxonomía.....	29
2.4.3	Análisis AMFEC (FMECA).....	30
2.4.4	Número de Prioridad de Riesgo NPR.....	32
2.4.5	El Diagrama de Decisión de RCM.....	34
2.4.6	Ingeniería de confiabilidad aplicada a RCM.....	37
2.5	Modelos para determinación de ciclos de mantenimiento	39
2.5.1	Optimización de Costos en Inspecciones y Reparaciones.....	39
2.5.2	Modelos para Minimización de Costos a Largo Plazo.....	39
2.5.3	Planificación Global de Inspecciones y Costos Asociados.....	40
2.5.4	Modelos Basados en Diagnóstico y Confiabilidad.....	40
2.5.5	Modelos para Minimización de Tiempos de Inactividad y Tasas de Riesgo.....	40
2.6	Modelo Estadístico de Weibull	40
2.7	Mantenimiento industrial en líneas de envasado en El Salvador	41
2.7.1	Políticas de mantenimiento en industrias de envasado en El Salvador.....	42
2.7.2	Aplicación de RCM en industrias de envasado en El Salvador.....	42
2.7.3	Líneas de envasado en la industria salvadoreña.....	42
3	CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	43
3.1	Caracterización de sopladora Krones K12C3	43
3.1.1	Requisitos operacionales.....	44
3.1.2	Estructura del equipo.....	44
3.1.3	Ciclo de operación de sopladora Krones K12C3.....	45
3.2	Recolección de datos	48
3.2.1	Equipo para la recolección de datos.....	48

3.2.2	Software para recolección de datos.....	48
3.2.3	Extracción de datos.....	49
3.3	Análisis de RCM	49
3.3.1	Definición del equipo de trabajo.....	49
3.3.2	Desarrollo de la metodología RCM.....	51
4	CAPITULO IV: RESULTADOS	59
4.1	Resultados de análisis de RCM	59
4.2	Optimización de planes de mantenimiento	63
4.3	Mejora de disponibilidad y ahorro potencial.	64
5	CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
5.1	Conclusiones	67
5.2	Recomendaciones	69
6	REFERENCIAS	70
7	ANEXOS	A1
	Anexo A: Clasificación de componentes y definición de modos de falla de sopladora de botellas.	A1
	Anexo B: Evaluación de NPR y ejecución de Flujograma de decisiones de RCM.	B1
	Anexo C: Definición de tareas propuestas para cada modo de falla analizado.	C1
	Anexo D: Análisis de destrucción de negocio y ahorro potencial	D1
	Anexo E: Modos de falla que cuentan con un plan de capacitación/entrenamiento.	E1
	Anexo F: Plan de capacitación/entrenamiento considerando costos y proveedores.	F1
	Anexo G: Programación de mantenimiento anual.	G1

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Extracción de ranking de principales compañías de alimentos y bebidas a nivel mundial de 2022 según Ranking Forbes 2000.	3
Tabla 2.1: Propiedades del tereftalato de polietileno.	17
Tabla 2.2: Descripción y partes de un envase PET.	20
Tabla 2.3: Partes de un molde de soplado rotativo y soplado lineal.	24
Tabla 2.4. Principales actividades de mantenimiento.	27
Tabla 2.5: Principales indicadores de costo de mantenimiento.	28
Tabla 2.6: Descripción de rol para cada integrante del grupo natural.	30
Tabla 2.7: Consecuencias de fallas para análisis de RCM.	35
Tabla 2.8. Criterios de factor Gravedad – NPR.	36
Tabla 2.9. Criterios de factor Ocurrencia – NPR.	36
Tabla 2.10. Criterios de factor Detección – NPR.	36
Tabla 2.11. Categorización de Número de Prioridad de Riesgos (NPR)	37
Tabla 2.12: Clasificación de tareas de mantenimiento	39
Tabla 3.1: Condiciones de operación por suministro de aire comprimido seco y agua fría.	49
Tabla 3.2: Descripción de conjuntos y subconjuntos principales que conforman la sopladora.	51
Tabla 3.3: Clasificación de tiempos de paro según Suite 360.	53
Tabla 3.4: Sesiones realizadas en la empresa con el equipo natural y descripción de su alcance.	55
Tabla 3.5: Partición de sopladora Krones modelo C132 en ensamble, sub-ensamble y componente.	56
Tabla 3.6. Análisis AMFEC en elemento mantenible, moldes de sopladora de botellas.	59
Tabla 3.7. Representación de diagrama de decisión de RCM para definición de tipo de tarea para un modo de falla de moldes de sopladora de botellas.	60
Tabla 3.8. Costo indisponibilidad por falla real debido a datos históricos para los moldes de una sopladora de botellas.	61
Tabla 3.9: Costo del plan de mantenimiento preventivo propuesto para los moldes de una sopladora de botellas.	62
Tabla 3.10. Costo de indisponibilidad por falla estimado con equipo natural y ahorro potencial por año.	62
Tabla 4.1. Cantidad de subconjunto, componentes mantenibles y modos de falla identificados en Sopladora de botellas.	65
Tabla 4.2. Distribución de tipos de tareas propuestas para cada categoría de falla de los modos de falla.	67

Tabla 4.3. Asignación de recursos en concepto de mano de obra, materiales, herramientas, capacitaciones de plan de mantenimiento preventivo.	68
Tabla 4.4. Comparativa de cantidad de planes, horas de mantenimiento preventivo requerido. horas hombre requeridas y costos de mantenimiento de plan de mantenimiento actual contra propuesta producto de RCM.	69
Tabla 4.5. Comparativa de reducción de horas de paro actuales contra propuestas por la implementación de RCM.	70
Tabla 4.6. Mejora propuesta de la disponibilidad de la sopladora de botellas producto de la implementación de RCM	70
Tabla 4.7. Propuesta de reducción de costos por improductividad debido a fallos (CIF) producto de la implementación de RCM.	70
Tabla 4.8. Resumen de ahorro potencial al año debido a reducción de costos de mantenimiento preventivo y reducción de costos de improductividad por fallas.	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Esquema con los pasos necesarios para implementar RCM.	2
Figura 2-1: Preparación de producto utilizando medidores de flujo.	10
Figura 2-2: Diagrama de una línea de envasado PET de bebidas carbonatadas.	11
Figura 2-3: Diagrama de Proceso de Envasado, sección de Soplado de Botellas.	12
Figura 2-4: Diagrama de Proceso de Proceso de Envasado, sección de Llenado de Botellas.	14
Figura 2-5: Diagrama de Proceso de Proceso de Envasado, sección de Empacado de Botellas	15
Figura 2-6: Alimentación de preformas.	21
Figura 2-7: Carga y transferencia de preforma	22
Figura 2-8: Acondicionamiento de preforma.	22
Figura 2-9: Conformado del envase en un molde de soplado.	23
Figura 2-10: Proceso de Implementación de RCM.	29
Figura 2-11: Integrantes de un Equipo Natural de Trabajo.	30
Figura 2-13: Pasos de proceso de FMEA	33
Figura 2-14: Diagrama de decisión RCM.	38
Figura 3-1: Sopladora de botellas PET Kronos modelo K12C3.	48
Figura 3-2: Vista de planta de sopladora de botellas Kronos K12C3.	50
Figura 4-1. Proporción de categorización de modos de falla acorde al NPR definido.	66
Figura 4-2. Proporción y costo de improductividad por falla (CIF) por categoría de falla definidas en modos de falla.	67

## SIGLAS

ATO: Autonomous Operations (Mantenimiento Autónomo)

CIF: Coste de Indisponibilidad por Fallos

CO2: Dióxido de carbono

CSD: Carbonated Soft Drinks (Refrescos Carbonatados)

FMEA: Failure Modes and Effects Analysis (Análisis de Modos de Falla y Efecto)

FMECA: Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis (Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad)

FF: Frecuencia de Fallas

MTBF: Mean Time Between Failures (Tiempo Medio Entre Fallas)

MTTF: Mean Time to Failure (Tiempo Medio Hasta la Falla)

MTTR: Mean Time to Repair (Tiempo Medio de Reparación)

NOM: Norma Española sobre Terminología del Mantenimiento

NPR: Número Prioritario de Riesgo

OEE: Overall Equipment Effectiveness (Eficiencia General del Equipo)

PET: Polyethylene Terephthalate (Tereftalato de Polietileno)

RCM: Reliability Centered Maintenance (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad)

SAP: System Applications and Products (Software de Gestión Empresarial)

USD: United States Dollar (Dólar Estadounidense)

## NOMENCLATURA

A: Disponibilidad

$\beta$ : Parámetro de forma o corrección de la curva de confiabilidad

D: Índice de Detección

Ec: Ecuación

G: Índice de Gravedad

I: Fallas Inaceptables

m o  $\theta$  (theta): MTTF

n: Número de fallas

O: Índice de Ocurrencia

R(t): Función de confiabilidad establecida por Weibull

R: Fallas Reducibles Deseables

A: Fallas Aceptables

ti: Tiempos productivos

tr: Tiempos de duración de falla o reparación

## CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes y definición del problema

La industria de manufactura trabaja 24 horas al día, los 7 días de la semana. Sin embargo, enfrenta cada vez mayores desafíos. Uno de los más importantes es la creciente relevancia de los costos asociados a los paros por fallas de origen operativo y/o electromecánicas (Inyiama & Oke, 2021). En 2018, esta industria representó más del 11% de la producción económica en Estados Unidos, situándose como la segunda más desarrollada a nivel mundial, solo superada por China (Ishola, 2019). Además de la significativa generación de empleos indirectos en sectores como la logística, la salud y el transporte, la industria manufacturera se caracteriza por requerir elevados ingresos de capital, lo cual también implica altos costos en materias primas, fuerza de trabajo y servicios logísticos (Ishola, 2019). Dentro de todas estas industrias, la industria de envasado cobra relevancia (Demartini et al., 2018), y la atención ha llegado a ella de igual manera que a las demás industrias, se deben disminuir todo tipo de pérdidas (Inyiama & Oke, 2021).

Los retos ambientales, el concepto de sustentabilidad y eficiencia energética se suman a los factores que exigen un cambio en la industria, no solo económico, sino una optimización sostenible de procesos que incluyen desde la compra de materiales, la salida de los productos relacionados y manejo de los desperdicios (Demartini et al., 2018). La industria de envasado representa un sector importante de la manufactura y al tener relación directa con el comportamiento de los consumidores debe evolucionar constantemente para acompañar los cambios en las corrientes de estos (Pinna et al., 2018). Hoy en día son pocas multinacionales que se encargan de controlar los resultados de múltiples industrias embotelladoras más pequeñas (Pinna et al., 2018). Innovaciones tecnológicas, el incremento en estándares de calidad, los retos de las legislaciones locales, la alta competitividad debida a la multiplicidad de productos y empaques, el incremento en los costos de la materia prima y la creciente importancia del consumo de agua para la preparación de bebidas (Ghobakhloo, 2018; Pinna et al., 2018), además, la creciente habilidad de manejar mejores y más complejas bases de datos exige también que el departamento de mantenimiento forme parte de la estrategia de disminución de desperdicios y mejora en los procesos (Fitriana et al., 2020).

Todos los procesos tecnológicos que van en auge y la alta competitividad de las compañías llevaron a industrias chinas a enfocarse en los equipos productivos y las máquinas, como una oportunidad muy grande para el desarrollo de una empresa rentable (Zeng et al., 2021). Los departamentos de mantenimiento como encargados del desempeño y del ciclo de vida de los activos, comenzaron a introducirse en estrategias que permitiesen incrementar ganancias; actualmente la práctica del mantenimiento es considerada como un aliado estratégico en el desarrollo de una empresa (Zeng et al.,

2021). La operación de los equipos o subgrupos se vuelven relevantes y se llega al concepto de modos de falla para el incremento de la confiabilidad de los equipos (Yavuz et al., 2019).

La fiabilidad en el mantenimiento en industrias de envasado se vuelve un tema crucial, e incrementarla es el objetivo de muchas estrategias de mantenimiento, las referencias mundiales incluyen análisis de los tiempos de intervención adecuados para la ejecución del mantenimiento (Zeng et al., 2021). Para la determinación de los tiempos adecuados se necesitan dos factores importantes: bases de datos confiables y herramientas estadísticas para el análisis, para la recolección de datos pueden utilizarse ingresos manuales en bases de datos y ser analizados por programas como MiniTab (Tsarouhas, 2018). El RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, por sus siglas en inglés) permite identificar las acciones necesarias para mantener los equipos operando de la manera que se desea (Yavuz et al., 2019), además introduce el concepto de análisis modos de falla para aislar las posibles fallas y estudiarlas de una manera metódica (Zeng et al., 2021).

El RCM en industrias de alimentos necesita cumplir con pasos específicos donde se considera desde la selección de equipos críticos hasta la selección de las estrategias de mantenimiento y su evaluación de confiabilidad, tal como se observa en la Figura 1-1 (Fuentes-Huerta et al., 2018).

Figura 1-1: Esquema con los pasos necesarios para implementar RCM.



Fuente: Adaptado de Fuente – Huerta, 2018.

La salida de RCM es un plan de mantenimiento optimizado (Fuentes-Huerta et al., 2018) que ayude a encontrar también los periodos específicos para la correcta implementación de los programas de mantenimiento (Zeng et al., 2021). Para la evaluación de estos periodos y de la cantidad de data recolectada suele utilizarse modelos estadísticos como la distribución continua de Weibull. Esta se utiliza para modelar la vida útil de los componentes y sistemas, es especialmente útil para describir la tasa de fallos a lo largo del tiempo; la distribución de Gumbel-Hougaard se utilizan para modelar la distribución

de valores extremos en conjuntos de datos; método de máxima verosimilitud o método del máximo producto de probabilidades (Fuentes-Huerta et al., 2018).

En RCM se examinan varios aspectos e indicadores relacionados con el rendimiento y la confiabilidad de los equipos. Los más relevantes a considerar en este estudio son: frecuencia de falla (FF), tiempo medio entre fallas (MTBF), tiempo medio de reparación (MTTR), calidad del producto, efectividad general del equipo (OEE), mano de obra de mantenimiento planificada y mano de obra de mantenimiento, esfuerzos de reparación de daños (Yavuz et al., 2019).

En la Tabla 1.1 se muestra una parte del ranking “Forbes Global 2000” para el cierre del año 2022, donde se muestra la ubicación de las compañías de bebidas y alimentos que tienen mejor posición en dicho ranking, este ranking define la posición de cada compañía evaluando ventas, utilidades, activos y valor de mercado. Se muestra este ranking para indicar las empresas de alimentos y bebidas que mayor incidencia a tienen a nivel mundial, así como los métodos de mantenimiento y softwares utilizados para estos (Forbes 2023).

Tabla 1.1 Extracción de ranking de principales compañías de alimentos y bebidas a nivel mundial de 2022 según Ranking Forbes 2000.

RANK	Nombre	País	Ventas (Billones de \$)	Ganancias (Billones de \$)	Activos (Billones de \$)	Valor de Mercado (Billones de \$)
47	Nestle	Suiza	\$95.25	\$18.49	\$152.71	\$360.01
86	PepsiCo	Estados Unidos	\$79.47	\$7.62	\$92.38	\$238.13
93	Anheuser-Busch InBev	Belgica	\$54.33	\$4.66	\$219.37	\$118.52
114	Coca-Cola	Estados Unidos	\$38.73	\$9.77	\$94.35	\$282.86

Fuente: Adaptado de Forbes, 2023.

Para esta investigación se hará énfasis en la compañía Anheuser-Busch InBev y Coca-Cola, ya que la sopladora de envase PET (Tereftalato de Polietileno) sobre la que se realiza la investigación se encuentra en una planta de envasado de bebidas carbonatadas no alcohólicas de un grupo cervecero internacional, a continuación, se describen brevemente ambas compañías.

Anheuser-Busch InBev (también conocida como AB Inbev) es una empresa cervecera multinacional belga-brasileña con sede en Lovaina, Bélgica. Se destaca como el mayor fabricante mundial de cerveza,

con una cuota de mercado cercana al 25% a nivel global. La compañía cuenta con aproximadamente 120.000 empleados distribuidos en más de 30 países en América, Europa, Asia y África. La empresa AB InBev surgió a raíz de la adquisición de la cervecera estadounidense Anheuser-Busch por parte de la compañía belga-brasileña InBev. Esta última se formó a partir de la fusión entre AmBev e Interbrew. La consolidación de estas empresas se llevó a cabo el 18 de noviembre de 2008, dando origen a la cervecera más grande del mundo (ABInBev 2023).

Por otro lado, The Coca Cola Company. se encuentra en un proceso de transformación de su cartera, implementando medidas como la reducción de azúcar añadida en sus bebidas y el lanzamiento de productos innovadores en el mercado. Su objetivo es generar un impacto positivo en la vida de las personas, las comunidades y el medio ambiente. Para lograrlo, se enfocan en acciones como la reposición de agua, el reciclaje de envases, las prácticas de abastecimiento sostenible y la reducción de emisiones de carbono en toda su cadena de valor. Junto con sus socios embotelladores, la compañía emplea a más de 700,000 personas, brindando oportunidades económicas a diversas comunidades locales alrededor del mundo (The Coca-Cola Company 2023).

Estas compañías por encontrarse en la búsqueda constante de la mejora buscan la forma de optimizar sus procesos, entre ellos los distintos procesos de mantenimiento, para ello utilizan en sus plantas comúnmente el sistema SAP (Proveniente de las siglas para “Systemanalyse Programmentwicklung”, nombre de la empresa que lo desarrollo) (SAP 2023), para el registro de históricos de la información, como lo hacen en las plantas del grupo Bakus de Perú, parte de AB Inbev (Epiquien y Villena 2021). Así también para un estudio de Coca Cola Femsa en Bogotá estima que los ahorros tras la implementación de RCM y otras medidas de mejora para la gestión de mantenimiento, que radica en la reducción de 40% de fallas, lo que implica una reducción de costos en \$18,000 USD aproximadamente. (Delgadillo, González y Nuñez 2018)

La planta de Coca Cola Company en El Salvador es perteneciente al grupo Anheuser-Busch InBev (AB Inbev), esta planta tiene su propio modelo de gestión, donde requiere la utilización de RCM dentro de la gestión de mantenimiento, la planta cuenta con un sistema ERP SAP en el cual se valida la información de los procesos de materiales y servicios necesarios para mantener la confiabilidad de los activos. Además, se utiliza el módulo de mantenimiento preventivo y se establece la estructura de las líneas de producción para garantizar un seguimiento adecuado en la gestión de avisos y órdenes de trabajo requeridas. (Gestoni 2021)

La utilización de RCM como metodología de gestión de planes de mantenimiento y SAP como software para la administración de información en El Salvador abarca otros rubros, como por ejemplo la industria

del plástico, donde se ha evidenciado la mejora de los procesos de mantenimiento tras la implementación de RCM y su utilización con SAP (Ordóñez, Rodríguez y Velasco 2017)

Detallando el impacto, la novedad y la relevancia del tema de investigación, y el hecho descrito antes sobre como principales empresas de bebidas, como AB InBev y Coca Cola, utilizan RCM y tiene SAP como software para recopilación de información en distintas plantas, se propone la siguiente hipótesis: “Los planes de mantenimiento a partir de la implementación de RCM para una maquina sopladora K12C3 darán como resultado la disminución de costos operativos netos de la máquina”.

Para los procesos operativos de las máquinas de envasado en PET, la sopladora es uno de los equipos que representa los mayores paros electromecánicos y costos por inactividad de la línea de producción. Según los datos analizados de los años 2022 y 2023, el 90% de las fallas de la línea son de carácter mecánico y la sopladora representa el 17.54% de esas fallas, siendo la segunda máquina que registra el mayor tiempo de inactividad por fallas. Además, se caracteriza por tener un tiempo promedio entre fallas de 33 horas y un tiempo promedio de solución de fallas de 0.46 horas ó 27 minutos; esto vuelve a la sopladora como el equipo con menor disponibilidad de toda la línea de producción, donde los elementos o subconjuntos a priorizar deben ser los moldes y la rueda de soplado por presentar el mayor número ponderado de riesgo.

La creación de la botella es un proceso no negociable dentro de la compañía; sin embargo, es un proceso similar para los diferentes tipos de máquinas sopladoras y por esa razón el modelo de trabajo presentado puede replicarse a toda industria de envasado PET y sus máquinas sopladoras. (Roldán, y otros 2022).

En la industria de envasado en El Salvador, específicamente en la planta de CSD de AB-Inbev, parte de La Constancia S.A., se ha puesto un énfasis significativo en la optimización de los procesos de mantenimiento como parte de un sistema de gestión integral implementado en los últimos dos años. Reconociendo la importancia crítica de esta área para mejorar la eficacia y la eficiencia operativa, se han adoptado enfoques reconocidos como el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) y el Mantenimiento Autónomo (ATO), integrándolos como elementos esenciales del sistema implementado desde 2019 (Gestoni, 2021).

La planta de CSD ha destacado fortalezas en el análisis de causas raíz y la documentación detallada de soluciones aplicadas, respaldando así su compromiso con la mejora continua. Además, se han realizado aplicaciones exitosas de RCM en máquinas sopladoras de botellas en otras industrias en El Salvador, demostrando su eficacia para optimizar procesos y reducir costos de mantenimiento. Estas estrategias evidencian el potencial de RCM como una herramienta poderosa para la gestión estratégica y financiera, respaldando su continuación en equipos críticos identificados (Roldán et al., 2022).

## **1.2 Justificación**

En general, el mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) tiene un inmerso potencial para aumentar la confiabilidad de un sistema, mejorar el tiempo de actividad de una máquina, minimizar las averías del equipo y mejorar la eficiencia de las plantas de producción a bajos costos de operación (Ben et al., 2021). Todas las actividades del programa de mantenimiento deben tener como finalidad aumentar la disponibilidad y confiabilidad de una máquina, así se garantiza la reducción de fallas, lo que permite que máquina funcione correctamente durante un periodo específico en condiciones definidas y al menor costo posible (Zeng et al., 2021).

Es común que los planes de mantenimiento de la industria de envasado salvadoreña no estén fundamentados en datos históricos y/o ciclos de operación de las máquinas, lo cual compromete la confiabilidad de los equipos y aumenta los costos asociados al proceso productivo. Una tasa de mantenimiento baja implica un alto riesgo de fallas, mientras que una tasa más alta genera gastos significativos en términos de tiempo y costos de intervención. Por lo tanto, el área de optimización de planes de mantenimiento utilizando análisis de confiabilidad ha recibido una creciente atención (Yavuz et al., 2019). De esta manera, la aplicación de estos modelos de mantenimiento a los diferentes equipos de una línea de envasado PET, permitiría optimizar las tareas de mantenimiento planificadas, lo que aumentaría su disponibilidad y reduciría los costos por inactividad, garantizando así la continuidad operacional del negocio.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Proponer un nuevo programa de mantenimiento de una sopladora de envase PET Kronos K12C3 utilizando RCM para la reducción de costos de operación de líneas de envasado.

### **1.3.2 Objetivo específico**

1. Presentar las políticas y la gestión de mantenimiento utilizadas en la industria de envasado de bebidas no alcohólicas a nivel mundial, con el fin de identificar oportunidades de mejor en los procesos de mantenimiento.
2. Evaluar el modelo de optimización de RCM para detallar los indicadores técnicos y económicos en la optimización de programas de mantenimiento.
3. Describir modelos estadísticos utilizados en la actualidad para funciones de confiabilidad y definición de frecuencias de intervención para establecer un marco de referencia en la toma de decisiones de tareas propuesta para mantenibilidad del equipo analizado.
4. Comparar el plan de mantenimiento propuesto con el plan de mantenimiento actual para identificar mejoras en la disponibilidad y reducción de los costos operativos.

## **1.4 Alcance**

Esta tesis se centra en proponer un programa de mantenimiento para una sopladora de botellas PET, debido a que este es el equipo es el que tiene menor disponibilidad en el área de envasado de la planta en cuestión, utilizando las herramientas de mantenimiento centrado en confiabilidad para reducir costos de operación por indisponibilidad. La tesis consta principalmente de dos partes para establecer los métodos necesarios para implementar un programa de mantenimiento basado en confiabilidad.

La primera parte hace referencia a la descripción y caracterización de los ciclos de operación de la máquina sopladora para definir los diferentes sistemas y elementos mantenibles que garantizan su continuidad operacional aplicando la herramienta de análisis de modo de falla y efecto (AMEF) y análisis ponderado de riesgo. Además, en la segunda parte, se determinan los indicadores de mantenimiento referentes a la operación del equipo (disponibilidad operacional, tiempo promedio entre fallas, tiempo de inactividad y costos asociados por mantenibilidad e indisponibilidad) y se realiza la comparación entre el programa propuesto de mantenimiento basado en confiabilidad y el programa actual.

## **1.5 Limitaciones**

La tesis enfrentó diversas limitaciones relacionadas con el tiempo disponible, el tipo de industria, la cantidad y calidad de los datos analizados, y el enfoque metodológico seleccionado. Los datos utilizados,

correspondientes a un periodo de dos años, aunque adecuados para los objetivos del estudio, podrían no reflejar de manera precisa todas las tendencias a largo plazo. La naturaleza altamente variable del entorno industrial estudiado, dependiente de múltiples factores, añadió una complejidad considerable al análisis.

Otra limitante importante se presentó durante la etapa de análisis de datos. Inicialmente, los datos estaban desorganizados, y el proceso de limpieza fue llevado a cabo por el equipo formado en la planta, compuesto en su mayoría por personal con poca experiencia en el modelo RCM. En un esfuerzo por mantener la veracidad de los resultados, muchas de las decisiones fueron tomadas por este equipo, lo que pudo haber influido en la precisión del análisis final.

Adicionalmente, la limitada disponibilidad de bibliografía específica sobre la aplicación de modelos de RCM en la industria salvadoreña representó un desafío en términos de acceso a referencias locales. Esto dificultó la posibilidad de comparar de manera directa los resultados obtenidos con otros estudios realizados en el mismo contexto geográfico.

Por último, fue necesario asumir que el proceso productivo estudiado se mantendría relativamente estable. En las primeras reuniones con el equipo de la planta, se acordó que las ventanas de mantenimiento futuras seguirían la tendencia observada en los dos años anteriores, manteniendo una periodicidad semanal, incluso durante festivos y temporadas de alta demanda. Esta premisa fue clave para el desarrollo del análisis, pero introduce un margen de incertidumbre ante posibles variaciones operativas en el futuro.

## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Industria de embotellado**

Para comprender adecuadamente el proceso de soplado de envases PET, es esencial familiarizarse primero con el proceso de envasado en general. El proceso de envasado incluye varias etapas, que comienzan con la preparación del material y culminan con el empaque final del producto. Es fundamental considerar desde la selección del material adecuado hasta la aplicación de técnicas específicas de llenado y sellado, ya que cada paso desempeña un papel crucial en la protección y presentación óptima del contenido. En este contexto, el proceso de soplado de envases PET (tereftalato de polietileno) se destaca como una fase crucial, desempeñando un papel fundamental en la fabricación de envases de plástico ampliamente utilizados en diversas industrias (Yugsi, 2021a).

El proceso de manufactura de bebidas no alcohólicas empieza en la sala de jarabe en donde en la preparación tradicional del jarabe, se mezclan productos en una proporción de aproximadamente 1 parte de jarabe (volumen) con entre 3 y 6 partes de agua (volumen). Esto permite hacer un lote concentrado de jarabe, que luego se mezcla con agua para formar el producto final. Para un producto a base de azúcar, el jarabe generalmente contiene azúcar con una concentración de 67 grados Brix, ácido cítrico, sabores, colorantes, conservantes y agua. Los ingredientes se pesan cuidadosamente y se agregan al recipiente de mezcla. El jarabe se prepara y se prueba completamente antes de enviarlo al carbonatador para mezclarlo con agua y carbonatarlo (Ashurst, 2005).

Este proceso se realiza en la sala de jarabe como un proceso por lotes, lo que permite atender a la variedad de sabores de bebidas. Existen varios métodos para proporcional jarabe y agua de manera precisa, siendo el sistema más popular el uso de medidores de flujo. El jarabe generalmente se dosifica mediante un medidor de flujo de masa, y el agua se dosifica volumétricamente utilizando un medidor de flujo de inducción magnética. Esto permite tener en cuenta las variaciones de densidad dentro del jarabe para obtener el Brix requerido en el producto final. La última tecnología de estos carbonatador permite que el producto final se recoja en grandes recipientes de al menos 30,000 litros o se alimente directamente en línea al carbonatador, con el jarabe proporcionado individualmente como una premezcla y dosificación en línea de azúcar, ácido cítrico y otros componentes (Ashurst, 2005).

La precisión de los medidores de flujo de masa garantiza que el producto se produzca con el Brix requerido, asegurando así la conformidad con las especificaciones, un control estricto de costos y un desperdicio mínimo (Ashurst, 2005) . La Figura 2-1 describe el procedimiento descrito para la formulación de la bebida antes de ser enviado a las líneas de envasado.

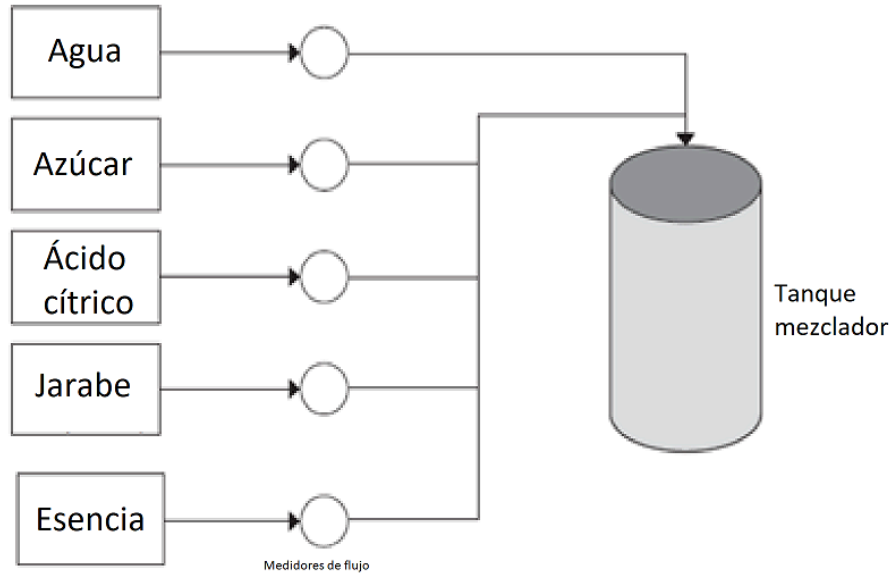


Figura 2-1: Preparación de producto utilizando medidores de flujo.

Fuente: Adaptado de Ashrut, 2005.

El envasado de bebidas no alcohólicas abarca diversos procesos, y las líneas de envasado se adaptan según el material del envase. Aquí se describen brevemente los procesos comunes asociados a distintos tipos de envases (Steen & Ashurst, 2006):

- **Envasado en botellas PET:** las botellas de plástico PET son populares para bebidas como refrescos y aguas. En esta línea, se incluye el transporte de las botellas, el enjuague para garantizar la higiene, el llenado del líquido deseado y el sellado de las tapas.
- **Envasado en latas:** las bebidas carbonatadas a menudo se envasan en latas de aluminio. Las líneas automáticas completan el llenado y sellado de las latas, asegurando un proceso rápido y eficiente.
- **Envasado en botellas de vidrio:** para bebidas premium o gourmet, las botellas de vidrio son preferidas. El proceso implica enjuagar las botellas, llenarlas con el líquido correspondiente y sellarlas adecuadamente.
- **Envasado en bolsas o pouches:** bebidas como jugos y bebidas isotónicas pueden envasarse en bolsas o pouches. Las líneas semiautomáticas permiten el llenado de estas bolsas, a menudo con intervención manual para ciertos pasos.
- **Envasado en envases Tetra Pak:** utilizada para leche y jugos, esta línea implica el llenado y sellado de envases compuestos de cartón, aluminio y plástico.

Cada tipo de línea de envasado se adapta a las características del envase, ofreciendo eficiencia y precisión en el proceso. El objetivo es asegurar la calidad del producto, la higiene y la presentación adecuada en el mercado.

### 2.1.1 Máquinas que conforman una línea embotelladora

En el área de embotellado, el jarabe concentrado experimenta varias etapas clave. Primero, se diluye con agua para lograr la concentración deseada. En casos de bebidas carbonatadas, se introduce dióxido de carbono para proporcionar efervescencia. Las botellas se llenan de manera precisa, herméticamente y se etiquetan con información relevante. Posteriormente, las botellas llenas y etiquetadas se agrupan en paquetes secundarios y se paletizan para facilitar el transporte eficiente. Finalmente, las paletas se almacenan temporalmente antes de su distribución a centros y puntos de venta. Este proceso asegura que las bebidas se envasen de manera eficiente y cumplan con los estándares de calidad y seguridad alimentaria (Ashurst, 2005). El proceso descrito se esquematiza para una línea típica de envasado PET en la Figura 2-2, donde los recuadros negros representan las diferentes máquinas, los recuadros azules las entradas y el recuadro rojo la salida.

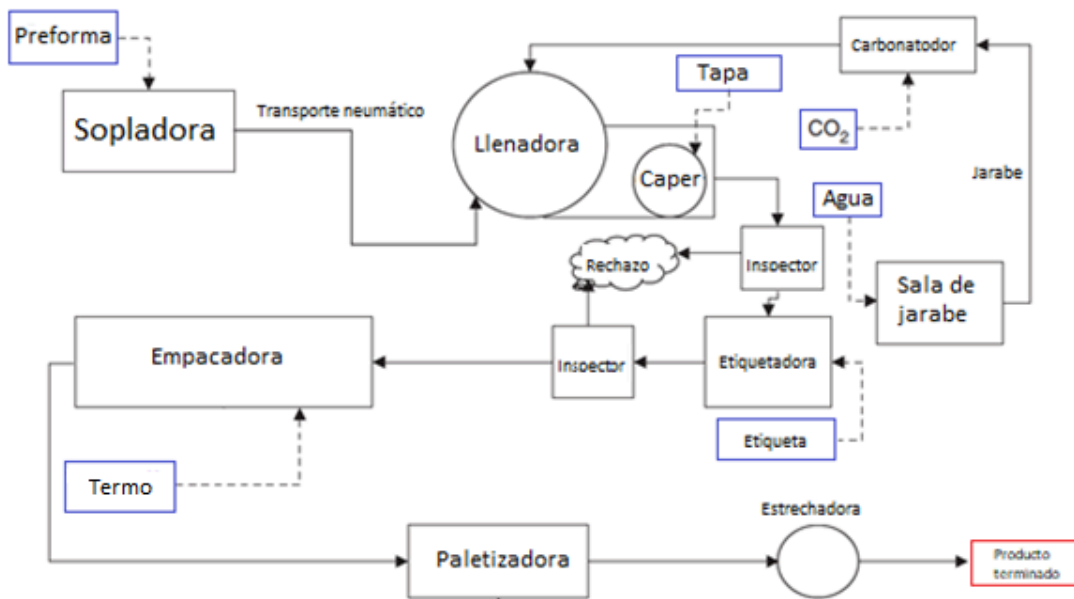


Figura 2-2: Diagrama de una línea de envasado PET de bebidas carbonatadas.

Fuente: Adaptado de Ashrut, 2005.

El proceso de envasado de una línea PET se puede dividir en tres subprocesos o secciones. A continuación, se presentan los diagramas de proceso y una descripción de cada máquina que lo conforman, tal como se pueden observar en las Figura 2-3, Figura 2-4 y Figura 2-5.



Figura 2-3: Diagrama de Proceso de Envasado, sección de Soplado de Botellas.

Fuente: Elaboración propia.

**Sopladora de botellas:** el proceso de soplado en la industria de alimentos, específicamente en envases PET, implica varias etapas o subprocesos clave las preformas, la cual es la materia prima para este proceso, se transforman en envases finales. A continuación, se muestran las siguientes:

1. **Alimentación de preformas:** el proceso comienza con la alimentación de preformas de PET en la máquina sopladora. Las preformas son pequeñas botellas de PET con forma tubular y cuellos roscados que se han fabricado previamente mediante un proceso de moldeo por inyección de aire, de forma a granel en totes se dejan caer las preformas en una tolva para estas sean elevadas y colocadas en un transporte que hará ingresar las preformas en el horno de calentamiento de preformas (Barros, 2018).
2. **Horno para calentamiento de preforma:** las preformas se introducen en un horno, donde son calentadas a una temperatura específica acorde a las especificaciones del material y el producto final. El calentamiento suave y uniforme es crucial para lograr una distribución homogénea del material y evitar deformaciones no deseadas (Barros, 2018).
3. **Soplado:** después de salir del horno, las preformas calientes se transfieren a la sección de soplado de la máquina. Aquí, las preformas se colocan en moldes que tienen la forma final del envase deseado (Barros, 2018). Un sistema de soplado utiliza aire comprimido, en un rango de presiones pueden variar entre 7 Bar y 40 Bar para expandir las preformas calientes contra las paredes del molde, tomando su forma definitiva. Este proceso se conoce como estirado-soplado (Barros, 2018). La presión del aire y la temperatura controladas con precisión aseguran la formación adecuada del envase y evitan defectos como burbujas de aire o paredes irregulares.
4. **Enfriamiento:** después de soplado, los envases recién formados se enfrían para que mantengan su forma. Esto suele hacerse mediante sistemas de enfriamiento controlados(Barros, 2018).

**Etiquetadora:** en una etiquetadora rotativa, los envases llegan y son separados por un tornillo sinfín. La estrella de entrada lleva los envases a una mesa giratoria donde se fijan y centran para el proceso de etiquetado. En cada conjunto de etiquetado, un rodillo encolador aplica una fina capa de adhesivo sobre paletas encoladoras revestidas de goma. Estas paletas encoladas extraen las etiquetas del cargador y las

colocan con precisión en los envases en la mesa porta envases. Cepillos o esponjas fijan y alisan las etiquetas en los envases, que luego son recogidos por la estrella de salida y entregados al transportador. Este proceso asegura un etiquetado preciso y eficiente de los envases (Balcázar, 2016; Kronos, 2023).

**Transporte Neumático (Aéreo):** el transporte neumático para botellas PET se utiliza después de la sopladora y etiquetadora, se centra en garantizar la higiene, evitar la contaminación y preservar la calidad de las botellas antes de llenarlas con el fluido necesario. Estos transportadores neumáticos aprovechan el bajo peso de las botellas para conducirlos a través de rieles, utilizando el cuello de la botella. El funcionamiento se basa en la creación de una diferencia de presión en dos puntos del transportador. Se instala un ventilador de aire que sopla aire desde un extremo, generando un flujo de aire que impulsa las botellas de un tramo a otro. Dado que las botellas están vacías y pronto serán llenadas, el aire circula a través de filtros para prevenir la contaminación. La ventaja clave de estos transportadores es que son aéreos, lo que significa que no ocupan espacio en la planta, contribuyendo a una solución eficiente y compacta (Huamán, 2018).

**Enjuagadora de botellas:** es una máquina especializada en limpiar y preparar botellas antes de su llenado. El proceso comienza con la alimentación de las botellas desde la etapa anterior del proceso, siendo separadas y posicionadas individualmente para garantizar un enjuague uniforme. Las botellas pasan por un rociado con agua o solución desinfectante mediante boquillas, mientras la enjuagadora rota para asegurar una cobertura completa. Posteriormente, se drena el exceso de líquido para garantizar que las botellas estén secas antes de avanzar al siguiente paso. Las botellas enjuagadas son entonces transportadas fuera de la máquina, listas para el proceso de llenado. Este procedimiento es crucial para cumplir con los estándares de higiene y calidad en la producción de envases para la industria de alimentos y bebidas (Huamán, 2018).



Figura 2-4: Diagrama de Proceso de Proceso de Envasado, sección de Llenado de Botellas.

Fuente: Elaboración propia.

**Mezclador de Bebida:** el carbocooler o equipo de mezcla se utiliza en la producción de bebidas carbonatadas para agregar dióxido de carbono a productos carbonatados. El proceso comienza con la tubería que transporta jarabe desde la sala de jarabes compuestos y otra que lleva agua tratada desde la planta de tratamiento de agua. Ambas tuberías convergen en un mixer de tres vasos, donde se realiza la

mezcla de agua y jarabe. Una bomba de mixtura luego envía la mezcla al tanque carbonatador, un recipiente hermético con chaquetas de enfriamiento llenas de amoníaco líquido. La mezcla cae como ducha sobre las chaquetas por gravedad, y simultáneamente, el dióxido de carbono a presión se introduce por la parte inferior del tanque. La combinación del dióxido de carbono con la mezcla enfriada finaliza el proceso, y la mezcla es transportada a la máquina llenadora mediante una tubería, todo bajo la presión interna del carbocooler. Este procedimiento asegura una mezcla eficiente y carbonatación adecuada en la producción de bebidas no alcohólicas (Mostacero, 2018).

**Llenadora de botellas:** el proceso de llenado en una máquina llenadora de botellas PET para bebidas no alcohólicas consta de diversas etapas cruciales. En primer lugar, las botellas vacías son alimentadas al sistema desde la etapa previa del proceso, como una enjuagadora o un transportador. Luego, un sistema de transporte selecciona y posiciona individualmente las botellas en las estaciones de llenado, asegurando una ubicación precisa para evitar derrames durante el proceso (Mostacero, 2018). En estas estaciones, donde se ubican las válvulas de llenado, las botellas son llenadas con el producto deseado utilizando métodos diversos, tales como por gravedad, por bomba, por pistones, por medición de caudal, o por presión o vacío, dependiendo de la precisión requerida y del tipo de producto. A continuación, se implementan sistemas de control para asegurar que cada botella se llene hasta el nivel adecuado, utilizando sensores de nivel, pesaje o mediciones volumétricas, según la tecnología empleada en la llenadora.

Tras el llenado, algunas llenadoras también realizan operaciones de sellado y cierre de las botellas, que pueden incluir la aplicación de tapas o tapones para garantizar la hermeticidad del envase. Finalmente, las botellas llenas son transportadas fuera de la máquina, generalmente a través de un sistema de transporte continuo, para dirigirse a la siguiente etapa del proceso, que podría ser el etiquetado, el empaque o el paletizado. Es esencial que todo el proceso esté sincronizado y controlado con precisión para asegurar un llenado consistente y mantener la calidad del producto en las botellas PET. El diseño y la configuración de la llenadora pueden variar según las necesidades específicas de la industria y del producto envasado.

Después de pasar por la llenadora, las botellas son tapadas mecánicamente mediante una capsuladora con cabezales de roscado. Este proceso inicia cuando las tapas son suministradas desde el almacén de insumos y vertidas en la tolva de tapas, la cual las almacena hasta que comienzan a descender por el carril de tapas, guiadas por sensores de acumulación. Al ingresar a la máquina a través de estrellas, las botellas llegan a la zona del plato porta puntas, donde las puntas sostienen firmemente la botella mientras se aplica el torque para capsularla. La velocidad en este paso es crucial para garantizar calidad y esterilidad al producto, evitando derrames que podrían resultar en la proliferación de hongos.

**Inyector de Nitrógeno:** después de llenar la botella, un dosificador de nitrógeno líquido, situado en una estrella de salida, rocía un chorro líquido en su interior. La función principal de este dosificador es generar presión interna, desplazando el oxígeno y previniendo la descomposición y proliferación de microorganismos en el producto. Además, el nitrógeno secundariamente proporciona consistencia a la botella PET, especialmente cuando la masa de resina, conocida como gramaje, se ha reducido, logrando esto mediante la vaporización y presurización interna de la botella, esto último para bebidas no carbonatadas, ya que en las bebidas carbonatadas el CO<sub>2</sub> cumple esta función (Mostacero, 2018).

**Codificador de botellas:** el proceso de codificación con láser de botellas PET para bebidas comienza cuando la botella capsulada sale de un transportador. En este paso, un cañón láser entra en acción, quemando el plástico de la botella en la zona del hombro. Este proceso de marcado láser fija de manera permanente la fecha de vencimiento y el lote en la botella, con el propósito de establecer trazabilidad en la producción (Mostacero, 2018).



Figura 2-5: Diagrama de Proceso de Proceso de Envasado, sección de Empacado de Botellas

Fuente: Elaboración propia.

**Transporte de botellas:** el transporte de tablillas para envases PET de bebidas carbonatadas incorpora avanzadas tecnologías, destacando el uso de transportadores de botellas equipados con cadenas de tablillas. Estas cadenas, compuestas por eslabones de acero inoxidable, estándar o de baja fricción, nilón, o plásticas de poliacetal, forman un conjunto integral con una cadena de transporte, engranajes motrices, superficie de deslizamiento y rodillos de apoyo. Esta innovación contribuye significativamente a la eficiencia y calidad del proceso de embotellado de bebidas carbonatadas al garantizar un transporte preciso y fiable de los envases a lo largo de la línea de producción (Paz Salazar & Valerio Broncano, 2019).

**Empacadora de botellas:** también llamada termoenfarradora, realiza un proceso eficiente de empacado para botellas PET, iniciando con la alimentación de las botellas en un transportador equipado con barras acomodadoras y dedos separadores que organizan las botellas en filas. Simultáneamente, dos bobinas en la parte inferior contienen film termocontraíble, el cual es elevado mediante un sistema de vacío y por medio de barras se envuelven las botellas formando paquetes. Posteriormente, estos paquetes ingresan al horno, donde el film se contrae a alta temperatura, asegurando un sellado óptimo alrededor de las botellas. El proceso concluye cuando los paquetes termoenfarrados salen de la máquina, son colocados en pallets y

trasladados al almacén de productos terminados a temperatura ambiente para su posterior venta. Este sistema garantiza paquetes de botellas que cumplen con estándares de calidad y presentación (González, 2015; Mostacero, 2018).

**Paletizadora de paquetes:** esencial en almacenaje y transporte, organiza mercancías sobre un palé para mejorar la manipulación, optimizar el espacio y agilizar carga y descarga. Puede ser manual o mediante máquinas paletizadoras, combinando componentes mecánicos y eléctricos para colocar productos en palés, facilitando la formación de estibas. También se emplean hojas deslizables entre el producto para mejorar su estabilidad. Las paletizadoras automáticas, como las que utilizan robots, ofrecen eficiencia en producciones con altas cadencias y mejoran la ergonomía. Se destacan los sistemas de transporte automático y software de gestión para el control y trazabilidad en almacenes automatizados. La paletizadora funciona como base estable para la disposición ordenada de productos, optimizando su manejo y almacenamiento (Olmos & Fuentes, 2019).

**Envolvedora de tarimas:** la envolvedora de pallets opera con un sistema automático de paletizado, utilizando variadores de velocidad para controlar la rotación de la tornamesa y el carro porta-bobina. La transmisión de la tornamesa se basa en un disco-cadena cubierto por una plataforma, mientras que la del carro porta-bobina se realiza mediante piñón cadena, elevando verticalmente el sistema que porta la bobina de polystretch (Plástico). El mecanismo se activa mediante un tablero análogo con mando rotatorio y control de velocidad para programar secuencias. Incluye sensores finales de carrera, un sensor para detectar el pallet y definir la altura máxima del movimiento vertical, así como un pulsador de stop. La envolvedora presenta tres movimientos clave: el giro de la tornamesa para envolver el polystretch alrededor del pallet, el movimiento vertical para distribuir el polystretch en el pallet y el movimiento de los rodillos porta-bobina que suministra el polystretch para su distribución (Grueso & Acosta, 2020).

En los últimos años, la planta de CSD (Carbonated Soft Drinks) de AB-Inbev en El Salvador, parte de La Constancia S.A., ha enfocado sus esfuerzos en mejorar la eficacia y eficiencia operativa mediante la implementación de un sistema de gestión integral. Se ha reconocido que una de las áreas críticas para alcanzar estos objetivos es la gestión de mantenimiento. Desde 2019, se han adoptado herramientas como el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) y el Mantenimiento Autónomo (ATO), integrándolos como pilares esenciales del sistema de gestión. La planta exhibe fortalezas en el análisis de causas raíz y está introduciendo el RCM como parte de sus iniciativas de mejora continua, con el fin de alcanzar estándares de clase mundial en gestión de mantenimiento. La implementación de RCM en la industria embotelladora salvadoreña, respaldada por un modelo avanzado de gestión de mantenimiento y auditoría adaptativa, ha demostrado beneficios significativos, especialmente en la reducción de costos de

mantenimiento. Esto subraya la eficacia de RCM como una herramienta poderosa para la toma de decisiones financieras y estratégicas, fortaleciendo su continuación para los equipos identificados como críticos.

## 2.2 Soplado de envase PET

El tereftalato de polietileno (PET) es un termoplástico poliéster que se fabrica combinando ácido tereftálico purificado (PTA), que proviene de la oxidación y purificación del paraxileno (derivado del petróleo) y etilenglicol (EG), combinados en un proceso de policondensación para formar un polímero (Yugsi, 2021b). El tereftalato de polietileno representa uno de los cambios más significativos en cuanto a materiales de envasado disponibles para los mercados de bebidas, pues ha permitido el desarrollo de cadenas de suministro más flexibles y extensas (Ashurst, 2005).

Los termoplásticos tienen la capacidad de ablandarse con el calor y se endurecen al enfriarse, y se utilizan principalmente en la producción de envases de bebidas y alimentos debido a sus propiedades descritas en la Tabla 2.1, tales como: impermeabilidad, resistencia al desgaste, rigidez y capacidad para ser reciclados (Yugsi, 2021a).

Tabla 2.1: Propiedades del tereftalato de polietileno.

Propiedad	Valor
Temperatura de transición vítrea (Tg)	73 - 80 °C
Temperatura de fusión (Tf)	245 - 265 °C
Densidad	1.29 - 1.40 g/cm <sup>3</sup>
Rendimiento	30 m <sup>2</sup> /kg
Resistencia a la tensión	48.2 - 72.3 Mpa
Módulo de tensión	2.756 - 4.135 Mpa
Resistencia al desgarre	30 gr/25μ, película
Permeabilidad O <sub>2</sub>	0.12 - 0.24 cm <sup>3</sup> /μm/mt <sup>2</sup> día atm, 25°C
Permeabilidad CO <sub>2</sub>	0.59 - 0.98 cm <sup>3</sup> /μm/mt <sup>2</sup> día atm, 25°C
Absorción de agua	0.1 - 0.2 % 0.32 cm espesor 24 hr

Fuente: Adaptado de Yugsi, 2021.

### **2.2.1 Estados del tereftalato de polietileno (PET)**

Durante el proceso de fabricación, el tereftalato de polietileno (PET) sufre diferentes cambios de estado, desde su formación líquida inicial hasta su forma sólida y cristalina en la botella final. En cada una de estas etapas, el PET adquiere las propiedades específicas que lo hacen adecuado para el envasado de bebidas (Steen & Ashurst, 2006).

En el estado amorfo, las fibras o moléculas del PET son aleatorias y desarregladas, es decir, no existe un orden o patrón cristalino orientado a nivel molecular. En este estado presenta propiedades de barrera pobres a los gases, transparencia y baja rigidez. Por otro lado, en el estado cristalino, la estructura molecular está alineada de manera regular y se caracteriza por ser transparente, claro, resistente a la presión y con excelentes propiedades de barrera a los gases (Yugsi, 2021a).

### **2.2.2 Preformas**

Se realiza un proceso de calentamiento, extrusión, secado y corte para la fabricación de pellets, estos son polímeros de forma cilíndrica de diámetro y longitud muy pequeña que son utilizados como materia prima para elaboración de la preforma (Yugsi, 2021a).

La preforma son polímeros que obtienen mediante un proceso de inyección, su forma es cilíndrica hueca que tiene un cuello y una rosca en su extremo mejor conocido como finish, el cual puede variar acorde al tamaño y volumen del envase a producir. De ser necesario, en esta etapa se pueden agregar capas de otros materiales como etileno o nailon, que permiten mejorar las propiedades físicas del PET (Ashurst, 2005).

Los procesos de conformado de polímeros en los cuales se transforman las preformas a envases son los siguientes:

1. Proceso de inyección y soplado.
2. Proceso de extrusión y soplado.
3. Proceso de estirado y soplado.

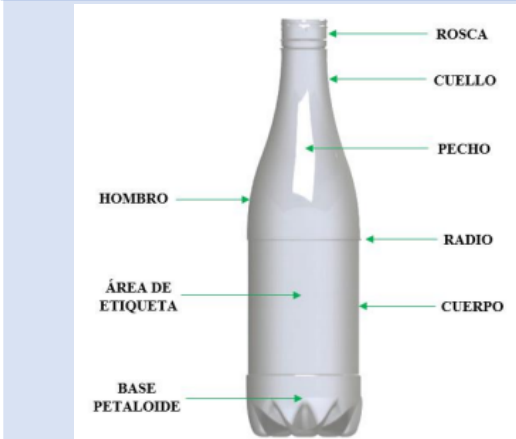
Cada proceso depende del tipo de material que se utilice para el conformado de envases, en las plantas embotelladoras de bebidas de gran escala, el proceso más confiable y eficiente es el proceso de estirado y soplado, pues ofrece las mayores velocidades y eficiencias de producción de envases. Además, este método es versátil y puede adaptarse para producir una amplia variedad de preformas y tamaños de envase para satisfacer las necesidades específicas de los clientes y de los productos. (Yugsi, 2021a).

### **2.2.3 Envase**

Un envase se define como un recipiente cilíndrico hueco que puede estar fabricado con diversos materiales y que tiene la función de contener, proteger, manipular y preservar líquidos, generalmente aptos para el consumo humano, en cualquier etapa de su proceso productivo, distribución o venta. El envase final debe cumplir con las especificaciones establecidas por la planta embotelladora y sus componentes son

fundamentales para llevar a cabo el control de calidad del producto. Estos componentes incluyen la rosca, el hombro, el cuerpo y la base o asiento petaloide. Cada una de estas partes esencialmente contribuye a determinar la apariencia y calidad del producto final. En la Tabla 2.2 se muestran las partes principales de un envase diseñado para contener bebidas y sus principales funciones (Yugsi, 2021a).

Tabla 2.2: Descripción y partes de un envase PET.

	<p><b>Rosca:</b> asegura la tapa y garantiza un cierre hermético para preservar la frescura del líquido contenido.</p>
	<p><b>Cuello:</b> espacio vacío entre la superficie del líquido envasado y la tapa del envase, actúa como barrera protectora.</p>
	<p><b>Hombro:</b> facilita el vertido del líquido y proporciona el espacio para colocar etiquetas o impresiones.</p>
	<p><b>Cuerpo:</b> constituye la mayor parte del envase y es donde se encuentra el líquido contenido.</p>
	<p><b>Base:</b> proporciona estabilidad y soporte al envase.</p>

Fuente: Adaptado de Yugsi, 2021.

El envase no es solo un contenedor, sino una parte integral del proceso de producción y distribución de líquidos consumibles. Cada componente del envase cumple con una función específica que asegura la calidad del producto envasado y su presentación ante el consumidor final.

### Factores que influyen en la calidad del envase.

Durante el proceso de fabricación de preformas y botellas, el material experimenta múltiples ciclos de calentamiento, lo que puede ocasionar cambios en valores cruciales como el porcentaje de acetaldehído, la viscosidad intrínseca y la cristalinidad. Estos parámetros son de gran relevancia para determinar las propiedades finales de las botellas (Yugsi, 2021a).

1. **Porcentaje de acetaldehído:** líquido incoloro con sabor frutal que se encuentra en la resina PET en bajas cantidades, siendo el principal producto de la degradación que esta sufre por encima de los 150°C. Se vuelve una variable crítica para el proceso de envasado de agua.
2. **Viscosidad intrínseca:** indica la longitud media de las moléculas o masa molecular promedio. A mayor masa molecular, más elevada es la resistencia mecánica, impermeabilidad y menor será la velocidad de cristalización del polímero.
3. **Nivel de cristalinidad:** influye en la apariencia física de la botella, ya que al aumentar se pierden las propiedades ópticas y mecánicas.

4. Absorción de humedad del ambiente: El PET tiende a absorber humedad del ambiente que depende de varios factores, como tiempo de almacenamiento, temperatura, punto de rocío del ambiente y porcentaje de cristalización de la resina.

#### **2.2.4 Proceso de moldeo por estirado y soplado de envase PET**

El ciclo operativo mediante el cual se obtiene la producción de envases en una planta embotelladora puede resumirse en diferentes etapas de proceso, que contemplan el transporte, acondicionamiento, y soplado del envase (Hernández, 2012).

##### **Alimentador de preforma.**

En esta etapa del proceso se garantiza el flujo continuo y correcto de las preformas necesarias para alimentar a la sopladora. La Figura 2-6 muestra como la preforma se descarga en una tolva y es arrastrada hacia el orientador, este dispone correctamente las preformas antes que se envíen al selector de alimentación, dispuestas con el cuerpo abajo, cuello arriba y una al lado de la otra. Por gravedad, las preformas bajan por los rodillos orientadores y se dirigen hacia el selector de preformas (Yugsi, 2021a).



Figura 2-6: Alimentación de preformas.

Fuente: Adaptado de Yugsi, 2021.

##### **Carga y transferencia de preformas.**

La Figura 2-7 muestra como las preformas presentes en el selector de alimentación se cargan en microcilindros neumáticos, los cuales insertan los cuellos de las preformas en ejes giratorios, también conocidos como porta preformas (Yugsi, 2021a).

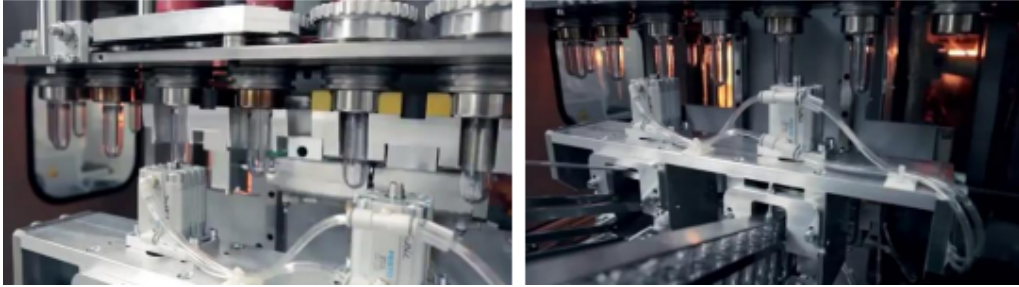


Figura 2-7: Carga y transferencia de preforma

Fuente: Adaptado de Yugsi, 2021.

### **Acondicionamiento de preformas.**

Las preformas se trasladan hacia los hornos de penetración y hornos de distribución ejecutando un movimiento de traslación y otro de rotación. El movimiento de traslación permite el pasaje progresivo de las preformas en los hornos dispuestos en serie, mientras que el movimiento de rotación permite un calentamiento uniforme, tal como se muestra en la Figura 2-8. Las preformas solo alcanzan el perfil térmico ideal después de un enfriamiento espontáneo al aire libre (inversión térmica), bajo estas condiciones el tereftalato de polietileno es deformable, gomoso, elástico y se mantiene en estado amorfo durante suficiente tiempo para ser estirado y soplado (Hernández, 2012).

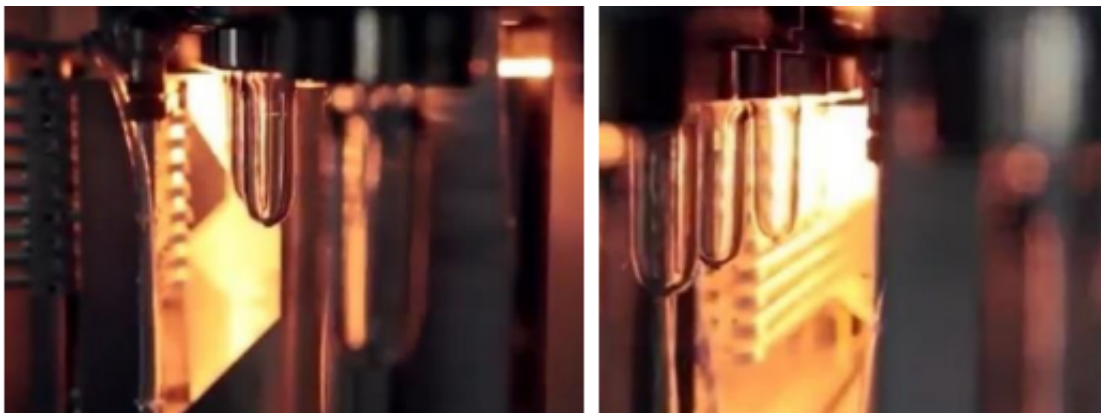


Figura 2-8: Acondicionamiento de preforma.

Fuente: Adaptado de Yugsi, 2021.

### **Moldeo por estirado y soplado.**

La fase de estirado y soplado es la parte fundamental del proceso que permite el paso de preforma a envase. La preforma se deposita en los moldes de soplado donde sufren un estirado vertical por efecto de la barra de estirado de accionamiento neumático (Yugsi, 2021a). La formación de la botella ocurre en tres

etapas que suceden en fracciones de segundos. La primer etapa o estirado, se ocurre cuando la barra de estiramiento se introduce por el cuello de la preforma y se genera la deformación en el sentido longitudinal hasta alcanzar la altura total del envase. La segunda etapa o pre-soplado, ocurre en paralelo al estirado y se introduce aire comprimido a baja presión (6 a 12 bar) lo que ocasiona la deformación en sentido radial. La última etapa o soplado final, se introduce aire comprimido seco a alta presión (30 a 40 bar) lo que permite el moldeo del PET contra el molde y da la forma deseada del envase. Una vez finaliza esta etapa, el envase soplado está listo para pasar a proceso de llenado. La Figura 2-9 resume las etapas del moldeo por estirado y soplado del envase PET (Hernández, 2012).

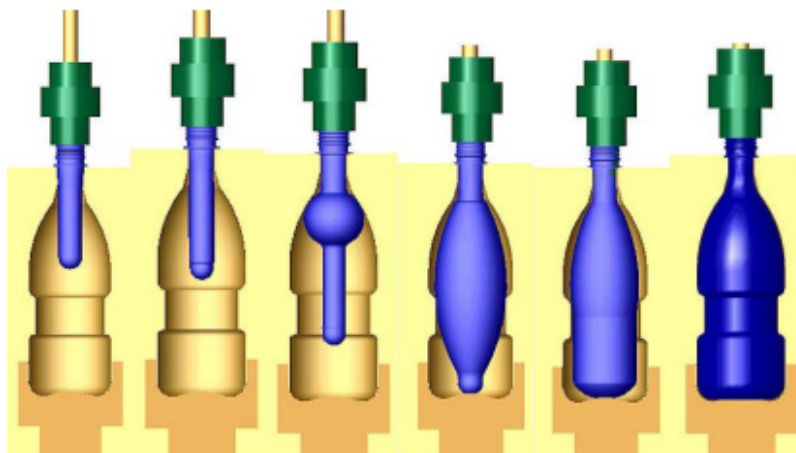


Figura 2-9: Conformado del envase en un molde de soplado.

Fuente: Adaptado de Yugsi, 2021.

### 2.2.5 Máquinas sopladoras

Las máquinas sopladoras están formadas por sistemas electromecánicos que posibilitan la producción de envases mediante la introducción de aire comprimido de alta presión en moldes preinstalados (Hernández, 2012). Estas máquinas se pueden clasificar en dos tipos: rotativas y lineales. Las características principales de estas máquinas son el número de moldes que pueden manejar, la velocidad de producción de envases, la cantidad de hornos disponibles para acondicionar las preformas antes del soplado, así como la capacidad de aire y refrigeración requerida para el proceso. Además, para su funcionamiento óptimo, las máquinas sopladoras dependen de equipos auxiliares como compresores de alta presión, sistemas de lubricación y sistemas de refrigeración (Yugsi, 2021a).

1. **Máquinas sopladoras rotativas:** Estas máquinas se constituyen de un mecanismo giratorio denominado rueda de soplado que dispone de una rueda dentada principal, engranaje intermedio, engranaje motriz y rodamiento principal, los cuales ejecutan el giro de los bastidores. La apertura

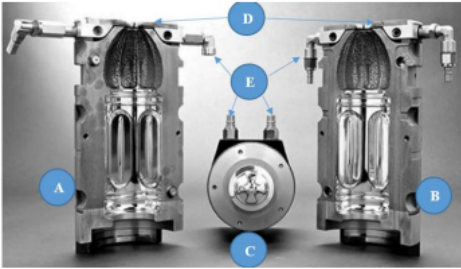
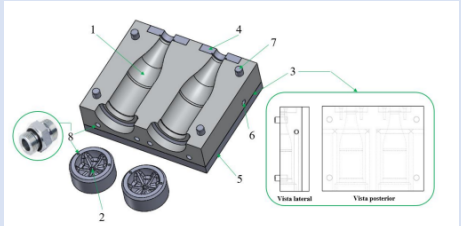
y cierre de los moldes es vertical a través de un mecanismo de levas por donde se deslizan los rodamientos de la prensa en cada etapa de transferencia de preforma.

2. **Máquinas sopladoras lineales:** Estas máquinas se constituyen de un mecanismo lineal denominado prensa de soplado que dispone de columnas, eslabones, guías y rodamientos lineales los cuales ejecutan el movimiento horizontal de apertura y cierre de moldes (Yugsi, 2021a).

### Moldes de soplado.

El molde desempeña un papel fundamental en el proceso de estirado y soplado del plástico, donde se utiliza la preforma y el aire comprimido para dar forma al producto final y luego enfriarlo. El diseño del molde es crucial, ya que determina características clave del producto, como su tamaño, forma, dimensiones, acabado y, en ocasiones, sus propiedades físicas. Algunos aspectos importantes a considerar incluyen comprender con precisión el diseño del envase y la preforma, revisar las dimensiones y tolerancias de las piezas y seleccionar el tipo adecuado de máquina sopladora (lineal o giratoria) según los requisitos del diseño del molde. Además, es esencial tener en cuenta aspectos como la concentración del material, el flujo característico, la abrasión y los requisitos de calentamiento y enfriamiento durante el proceso de soplado del material (Yugsi, 2021a). La Tabla 2.3 muestra un resumen de las principales partes que conforman un molde de soplado rotativo y lineal respectivamente.

Tabla 2.3: Partes de un molde de soplado rotativo y soplado lineal.

<b>Partes de un molde de soplado rotativo</b>	
	<p>A: Cavidad interna.            B: Cavidad externa móvil.            C: Cavidad de fondo de molde.            D: Horquilla de expulsión preforma – envase            E: Conectores de refrigeración de molde.</p>
<b>Partes de un molde de soplado lineal</b>	
	<p>1: Cavidad.            2: Fondo.            3: Sistema de agua.            4: Cuello.            5: Placas de respaldo.            6: Salida de aire.            7: Pines guías.            8: Accesorios.</p>

Fuente: Adaptado de [Yugsi, 2021].

## **2.3 Modelos de mantenimiento en la industria**

La industria manufacturera actual debe tratar como uno de los principales factores la optimización del mantenimiento; la fiabilidad, la calidad de la producción y la eficiencia energética tienen ahora una relevancia grande en la toma de decisiones de una compañía. Surge de esta manera una creciente necesidad de aumentar la competitividad de un negocio dentro de una idea de una industria optimizada y sustentable (Xia et al., 2022). La competitividad sugerida ha desarrollado en la industria cada vez implementes sistemas o máquinas más complejas que suponen una interdependencia de sus componentes, donde también el deterioro se vuelve un factor escalable y el análisis parte desde los modos de fallas individuales, donde un componente falla de manera total o parcial y este afecta a los demás componentes provocando un desgaste prematuro o generando una falla total del conjunto a lo que la literatura llama interacción de las degradaciones (Wang et al., 2022a).

En la búsqueda de mantener los equipos y sistemas de manera que puedan ejercer su función para la cual fueron diseñados, existen técnicas o estrategias de mantenimiento que buscan de cierta manera adecuarse a los distintos tipos de fallas que se presentan en los equipos, tales como, mantenimiento basado en condición, mantenimiento predictivo, mantenimiento prescrito, mantenimiento preventivo y en los recientes años el modelo de mantenimiento en línea (Ulansky & Raza, 2023).

### **2.3.1 Políticas de mantenimiento**

Históricamente las políticas de mantenimiento han evolucionado desde que se identifica mantenimiento como una herramienta que involucra a varias partes interesadas de una compañía y del crecimiento de la competitividad. En un principio el mantenimiento no se veía como un aliado de la compañía y se inicia con una política de mantenimiento reactivo, el cual consiste en utilizar los elementos directamente hasta que su funcionalidad no pueda continuar, correr hasta la falla; a medida existió una evolución en el concepto y en la visión del mantenimiento surge una corrección a el modelo y la política se corrige como mantenimiento preventivo, la cual a su vez engloba dos estrategias, un mantenimiento programado y un mantenimiento basado en condición; el modelo basado en condición consiste en un monitoreo constante del estado de los componentes y de ahí surge una nueva categoría, mantenimiento predictivo, siendo este último un monitoreo de condición enfocado a la prevención del desgaste (Silvestri et al., 2020).

### **2.3.2 Actividades de mantenimiento**

Los modelos de mantenimiento tratan sobre como es el abordaje del mantenimiento, desde el control de procesos a implementar para la programación hasta su metodología de realización. Así como existen modelos de mantenimiento, también existe una clasificación de las actividades que tendrán lugar una vez se inicien los procesos de mantenimiento, estas actividades se utilizan en las diferentes políticas de

mantenimiento descritas anteriormente y se describen en la Tabla 2.4. Principales actividades de mantenimiento.

Tabla 2.4. Principales actividades de mantenimiento.

Actividad	Descripción
<b>Inspección</b>	Verificación de la conformidad del funcionamiento mediante mediciones, observación o ensayos de características relevantes.
<b>Monitorización de la condición</b>	Mide intervalos predeterminados las características y los parámetros del estado físico real de un elemento.
<b>Ensayo de conformidad</b>	Validación de una característica o propiedad cumple requisitos establecidos.
<b>Verificación de función</b>	Prueba realizada posterior a intervenciones para verificar que elemento es capaz de realizar su función
<b>Mantenimiento de rutina</b>	Actividades de mantenimiento simple, regulares o repetidas.
<b>Revisión general (<i>overhaul</i>)</b>	Conjunto de acciones de mantenimiento preventivo que se realizan con objeto de mantener el nivel requerido de desempeño de un elemento.
<b>Diagnóstico de avería</b>	Acciones que se realizan para el reconocimiento de una avería, localización y definición de sus causas
<b>Localización de avería</b>	Acciones para identificar el nivel de intervención apropiado y elemento averiado.
<b>Recuperación</b>	Evento en el que después de un fallo se restablece el estado de disponibilidad.
<b>Reparación</b>	Acción física que se realiza para restablecer la función requerida de un elemento averiado
<b>Reparación Temporal</b>	Acción para permitir que un elemento averiado realice la función requerida durante un intervalo de tiempo limitado.
<b>Reconstrucción</b>	Acción posterior al desmantelamiento y reparación o remplazo de subelementos que se aproximan al final de su vida útil.
<b>Mantenimiento excepcional</b>	Mantenimiento preventivo que es infrecuente

Fuente: Adaptado de UNE13306, 2021.

### 2.3.3 Principales indicadores de mantenimiento

Con el objetivo de poder comparar el desempeño entre las diferentes metodologías o estrategias de mantenimiento se establecen indicadores clave, la UNE13306 orienta por medio de una definición en la Tabla 2.5: Principales indicadores de costo de mantenimiento., dentro de los cuales los relevantes para este

estudio en confiabilidad se encuentran: Costo de ciclo de vida, tiempo medio de funcionamiento entre fallos, tiempo medio entre fallos, tiempo medio de reparación y tiempo medio hasta la recuperación.

Tabla 2.5: Principales indicadores de costo de mantenimiento.

KPI	COSTOS
<b>Costo de ciclo de vida</b>	Todos los costes generados durante el ciclo de vida de los elementos
<b>Tiempo medio de funcionamiento entre fallas</b>	Es la esperanza matemática de funcionamiento de la maquina con elementos reparables entre fallos
<b>Tiempo medio entre fallos</b>	Media aritmética entre tiempos previo a un fallo.
<b>Tiempo medio de reparación</b>	Media aritmética de los tiempos de reparación.
<b>Tiempo medio hasta la recuperación</b>	Media aritmética entre los tiempos hasta la restauración de un equipo.

Fuente: Adaptado de UNE13306, 2021.

#### 2.4 Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)

El Mantenimiento Basado en Confiabilidad o RCM (Reliability Centered Maintenance, por sus siglas en inglés), es una metodología utilizada en la gestión de mantenimiento de equipos e instalaciones industriales. Su objetivo principal es optimizar las rutinas de mantenimiento de los activos, asegurando la confiabilidad operativa y minimizando los costos asociados (Moubray, 1997).

RCM busca responder las siguientes 7 preguntas sobre la equipo, máquina o sistema en revisión a través de su análisis:

1. ¿Cuáles son las funciones y respectivos estándares de desempeño de este bien en su contexto operativo presente?
2. ¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de sus funciones?
3. ¿Que ocasiona cada falla funcional?
4. ¿Qué sucede cuando se produce cada falla en particular?
5. ¿De qué modo afecta cada falla?
6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra el plan de acción apropiado?

El proceso que resume la implementación de RCM sobre un sistema o equipo se resume en el diagrama mostrado en la Figura 2-10.

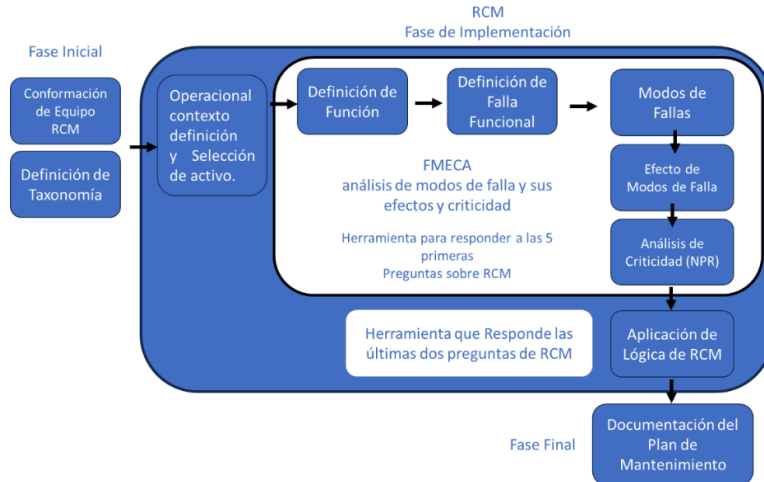


Figura 2-10: Proceso de Implementación de RCM.

Adaptado de Aguilar, Torres & Magaña, 2009.

#### 2.4.1 Grupo de Revisión o Equipo Natural.

En el marco del RCM, un equipo natural se forma para abordar las 7 preguntas fundamentales del proceso. Este equipo incluye a personas con diversas funciones dentro de la organización, permitiendo así una colaboración integral en la obtención de respuestas. El personal de mantenimiento, por sí solo, no puede responder todas las preguntas, ya que algunas requieren aportes del personal de producción u operación, especialmente en lo relacionado con el funcionamiento deseado del equipo y los efectos de los fallos (Flores et al., 2023). La Figura 2-11 muestra los integrantes mínimos que deben componer un equipo natural en RCM.



Figura 2-11: Integrantes de un Equipo Natural de Trabajo.

Adaptado de Aguilar, Torres & Magaña, 2010.

La importancia de integrar a aquellos que interactúan diariamente con los equipos se destaca, ya que su experiencia proporciona información valiosa para el análisis RCM. La formación de estos equipos debe considerar la inclusión de personas de diferentes departamentos para garantizar una variedad de perspectivas. Se sugiere que estos equipos tengan entre 4 y 7 miembros, siendo ideal un grupo de 5 o 6 componentes para asegurar la diversidad de conocimientos y experiencias (Aguilar-Otero et al., 2010). La Tabla 2.6 muestra un resumen con los roles que cada integrante del equipo natural debe contar.

Tabla 2.6: Descripción de rol para cada integrante del grupo natural.

Integrante	Rol
<b>Personal operativo</b>	Expertos en el manejo diario de sistemas y equipos. Su experiencia práctica proporciona información valiosa sobre el funcionamiento real y las expectativas operativas.
<b>Personal de mantenimiento</b>	Especialistas en reparación y mantenimiento de sistemas y equipos. Su conocimiento técnico contribuye a evaluar la viabilidad de las estrategias de mantenimiento.
<b>Ingeniero de procesos</b>	Ofrece una visión global de los procesos relacionados con los equipos. Su comprensión integral ayuda a identificar cómo los equipos se integran en el contexto operativo.
<b>Programador</b>	Aporta una visión sistémica de la actividad. Su conocimiento sobre la programación de tareas y operaciones contribuye a evaluar la planificación y ejecución de las estrategias de mantenimiento.
<b>Especialista externo</b>	Experto en un área específica, y en algunos casos, puede incluir al fabricante de equipos. Brinda conocimientos especializados que pueden ser cruciales para entender aspectos técnicos particulares.
<b>Facilitador</b>	Asesor experto en la metodología RCM. Guía y facilita el proceso RCM, asegurando la correcta aplicación de la metodología y ayudando al equipo a cumplir sus objetivos.

Adaptado de Aguilar, Torres & Magaña, 2010.

La diversidad de roles en el equipo natural garantiza una cobertura integral de conocimientos y perspectivas, contribuyendo así a un análisis completo y eficiente en el marco del RCM.

### 2.4.2 Definición de Taxonomía.

La taxonomía, en el contexto de RCM y gestión de la confiabilidad de los activos, se refiere a una clasificación sistemática de elementos en grupos genéricos basada en factores posiblemente comunes a varios de esos elementos, como la ubicación, el uso, la subdivisión del equipo, etc. Esta clasificación se representa mediante una jerarquía, donde los niveles más altos (del 1 al 5) se centran en la categorización a nivel industrial y de planta, independientemente de las unidades de equipo específicas. Los niveles 6 al 9 están relacionados con la unidad de equipo (inventario), con subdivisiones que corresponden a una relación padre-hijo (ISO 14224, 2006), esto se muestra representado gráficamente en la Figura 2-12.

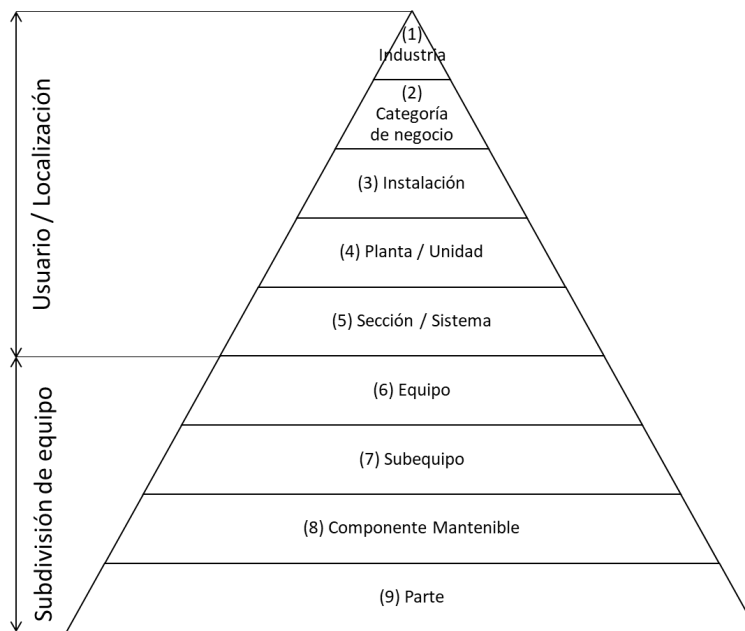


Figura 2 12: Taxonomía de equipos con niveles taxonómicos

Adaptado de ISO 14224, 2006.

En el nivel 6, se enfoca en la unidad de equipo para la recopilación de datos de gestión de confiabilidad y también de manera indirecta en elementos de subdivisión más bajos, como subunidades y componentes. La cantidad de niveles de subdivisión depende de la complejidad de la unidad de equipo y del uso previsto de los datos. La taxonomía se utiliza para proporcionar información contextual operativa para unidades de equipo similares, como bombas, que pueden ser utilizadas en diversas industrias y configuraciones de planta.

Para el análisis de disponibilidad, la fiabilidad a nivel de unidad de equipo puede ser la única información necesaria, mientras que un análisis RCM y de causa raíz puede requerir datos sobre el mecanismo de falla a nivel de componente o elemento mantenible (ISO 14224, 2006). En la Figura 2-13, se observa como

aplicando se desglosa la taxonomía a nivel de componente mantenible y sobre este se hace el análisis FMECA (análisis modal de fallas, efectos y criticidad) que servirá para definir la tarea de mantenimiento adecuada con base al diagrama de decisiones de RCM. El análisis FMEA, FMECA y diagrama de decisiones de RCM se detallarán más adelante en este documento.

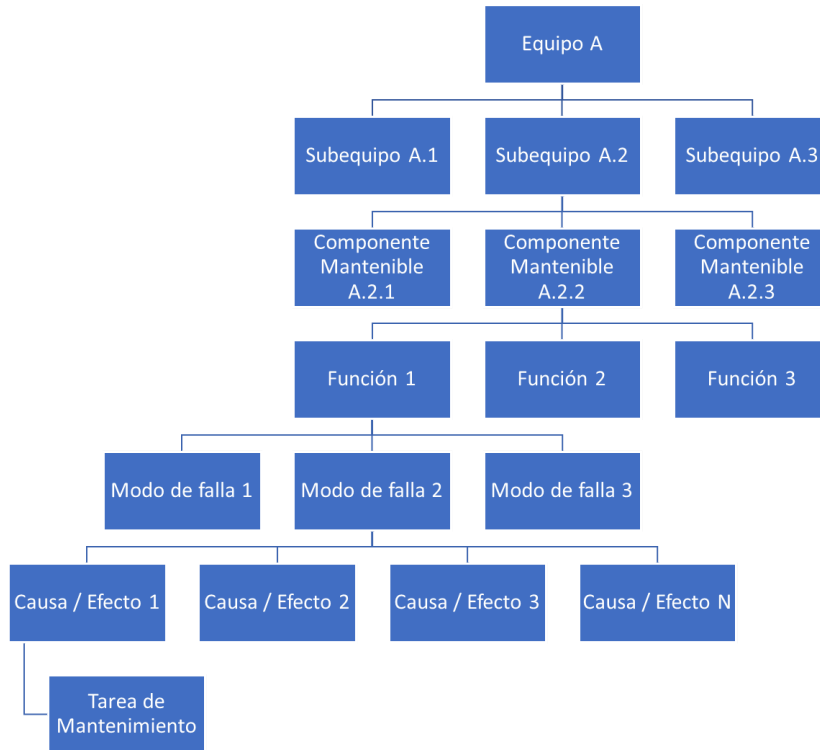


Figura 2-13: Pasos de proceso de FMEA

Adaptado de Sharma & Srivastava, 2018.

### 2.4.3 Análisis AMFEC (FMECA)

El Análisis AMFEC (o FMECA, Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis, por sus siglas en inglés) es una fase integral dentro del proceso de Mantenimiento Basado en Confiabilidad (RCM). Este análisis implica una serie de etapas cruciales, comenzando con la definición de la intención de diseño del sistema o equipo. Luego, se realiza un análisis funcional para comprender sus funciones esenciales. A continuación, se identifican los posibles modos de falla, detallando las maneras en que el sistema puede dejar de cumplir sus funciones. Posteriormente, se evalúan los efectos o consecuencias de cada modo de falla. La criticidad o jerarquización del riesgo asigna niveles de riesgo a cada modo de falla, priorizando aquellos con impacto potencial más significativo (Aguilar-Otero et al., 2010).

Para comprender el proceso es importante definir que es son las funciones, fallas funcionales, Análisis Modos de Falla y Efectos, Consecuencias de las fallas.

### **Funciones**

Las funciones se refieren a las tareas específicas que un bien físico debe cumplir para satisfacer las expectativas de los usuarios y operar eficientemente. El proceso de RCM comienza por definir estas funciones, dividiéndolas en dos categorías: funciones primarias, esenciales para la razón de adquirir el bien, por ejemplo, tales como velocidad, rendimiento, capacidad de transportación o almacenamiento, calidad del producto y servicio al cliente, y funciones secundarias, expectativas adicionales de los usuarios cómo como ser seguridad, control, contención, confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia de operación, cumplimiento con las normas medioambientales, entre otras (Moubray, 1997).

### **Fallas Funcionales**

Las fallas funcionales se refieren a situaciones en las que un bien no puede cumplir una función específica a un nivel de desempeño aceptable para el usuario. El proceso de RCM aborda las fallas funcionales identificando las circunstancias que llevan a un estado fallido e investigando las causas subyacentes. Estas fallas, ya sea una incapacidad total o un desempeño inaceptable, son fundamentales para establecer los objetivos de mantenimiento. El RCM adopta un enfoque sistemático para manejar las fallas, reconociendo que su gestión efectiva es esencial para el mantenimiento eficaz, y destaca que la identificación de fallas funcionales solo es posible una vez que las funciones y estándares de desempeño han sido definidos claramente (Moubray, 1997).

### **Análisis Modos de Falla y Efectos.**

Los modos de falla son eventos o condiciones específicas que pueden llevar a un sistema o bien a un estado de error o mal funcionamiento. En el proceso de mantenimiento, se busca identificar todas las posibles causas de estas fallas funcionales, incluyendo eventos "razonablemente similares" que ocurrieron en el mismo equipo o contexto. Los modos de falla abarcan desde el deterioro y desgaste normal hasta errores humanos y problemas de diseño. Identificar la causa detallada es crucial para evitar el desperdicio de tiempo y esfuerzo en tratar síntomas en lugar de causas (Moubray, 1997).

En el cuarto paso del proceso de RCM, se enlistan los efectos de las fallas, describiendo lo que sucede cuando ocurre cada modo de falla. Esta descripción abarca información crucial para respaldar la evaluación de las consecuencias de las fallas, incluyendo evidencias de la falla, posibles amenazas a la seguridad ambiental, impacto en la producción u operaciones, y las acciones necesarias para reparar la falla.

### **Consecuencias de las fallas**

El reconocimiento de las consecuencias de las fallas como el factor principal para prevenirlas es uno de los puntos fuertes del RCM. El proceso clasifica estas consecuencias en cuatro grupos (Moubray, 1997). La Tabla 2.7 muestra un resumen de las consecuencias que se pueden obtener por diferentes tipos de fallas.

Tabla 2.7: Consecuencias de fallas para análisis de RCM.

Consecuencia	Descripción
<b>Fallas ocultas</b>	Estas fallas no causan un impacto directo, pero exponen a la empresa a múltiples fallas, a menudo catastróficas, asociadas con sistemas de protección no libres de fallas.
<b>Medioambientales y de seguridad</b>	Una falla puede tener consecuencias de seguridad si potencialmente puede causar daño o incluso la muerte. Asimismo, puede tener consecuencias medioambientales si viola normas medioambientales corporativas, regionales, nacionales o internacionales.
<b>Operativas</b>	Las fallas pueden afectar la producción, incluyendo rendimiento, calidad del producto, servicio al cliente y costos operativos, además del costo directo de reparación.
<b>No operativas</b>	Estas son fallas evidentes que no tienen impacto en seguridad ni protección, y solo generan costos asociados a la reparación.

Adaptado de Moubray, 1997.

RCM reconoce que la prevención de fallas no se centra solo en las características técnicas, sino en evitar o reducir las consecuencias que estas acarrearán. Identificar y comprender estas consecuencias permite tomar decisiones informadas sobre el mantenimiento proactivo y mejorar el desempeño y la seguridad de la organización (Moubray, 1997).

#### 2.4.4 Número de Prioridad de Riesgo NPR

El Número de Prioridad de Riesgo (NPR) es un indicador utilizado en el proceso de jerarquización del riesgo para determinar las acciones prioritarias en las tareas de mantenimiento. Se calcula multiplicando tres factores fundamentales: Gravedad, Ocurrencia y Detección. Estos factores reflejan la seriedad de las consecuencias en caso de una falla (Gravedad), la probabilidad de que ocurra la falla (Ocurrencia) y la capacidad de detectar la falla antes de que cause problemas (Detección), así como se muestra en la Ecuación. 2-1. Al combinar estos elementos en el NPR, se obtiene un valor que permite identificar y priorizar las actividades de mantenimiento con el objetivo de optimizar recursos y lograr los resultados deseados en la gestión de riesgos (Flores et al., 2023). La Tabla 2.8, Tabla 2.9 y Tabla 2.10 muestran la escala sugerida para evaluar cada factor fundamental.

El número de prioridad de riesgo se define con la siguiente fórmula:

$$NPR = G \times O \times D \quad (\text{Ec. 2-1})$$

Donde:

- G: Índice de Gravedad.
- O: Índice de Ocurrencia.
- D: Índice de Detección.

Tabla 2.8. Criterios de factor Gravedad – NPR.

Descripción	Puntaje
Inferior, imperceptible	1
Escasa, falla menor	2-3
Baja, fallo inminente	4-5
Media, falla, pero no para el sistema	6-7
Elevada, falla crítica	8-9
Muy elevada, con problemas de seguridad, no conformidad.	10

Adaptado de Flores et al, 2023.

Tabla 2.9. Criterios de factor Ocurrencia – NPR.

Descripción	Puntaje
1 falla en más de 1 año	1
1 falla en cada 1 año	2-3
1 falla entre 6 meses y 1 año	4-5
1 falla entre 1 a 6 meses	6-7
1 falla al mes	8-10

Adaptado de Flores et al, 2023.

Tabla 2.10. Criterios de factor Detección – NPR.

Descripción	Puntaje
Obvia	1
Escasa	2-3
Moderada	4-5
Frecuente	6-7
Elevada	8-9
Muy elevada	10

Adaptado de Flores et al, 2023.

Con base en los valores asignados a Gravedad, Ocurrencia y Detección para cada modo de falla, se procederá a la clasificación de los Números de Prioridad de Riesgo (NPR) como se mostró en la Ecuación. 2-1. Este proceso permitirá la definición de planes de mantenimiento específicos para los modos de falla considerados críticos, posibilitando una asignación eficiente de los recursos de la empresa (Flores et al., 2023). La clasificación de las categorías de NPR acorde al valor obtenido en su cálculo se encuentra resumida en la Tabla 2.11.

Tabla 2.11. Categorización de Número de Prioridad de Riesgos (NPR)

Categorías	Descripción
<b>NPR &gt; 200</b>	Fallas Inaceptables (I).
<b>125 &lt; NPR ≤ 200</b>	Fallas reducibles deseables (R).
<b>NPR ≤ 125</b>	Fallas Aceptables (A).

Adaptado de Flores et al, 2023.

Por tanto, serán principalmente las fallas que se definan como inaceptables esas que se hará mayor énfasis para buscar reducir su tasa de falla o tiempo medio de reparación, así teniendo un óptimo beneficio de la implementación de RCM.

#### 2.4.5 El Diagrama de Decisión de RCM

El proceso final de RCM responde las preguntas: ¿De qué modo afecta cada falla? ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla? ¿Qué debe hacerse si no se encuentra el plan de acción apropiado?, respondiendo estas preguntas se definirá el tipo de tarea para identificar o eliminar el o los modos de falla analizados, esto se hace mediante el diagrama de decisiones mostrado en la Figura 2-14.

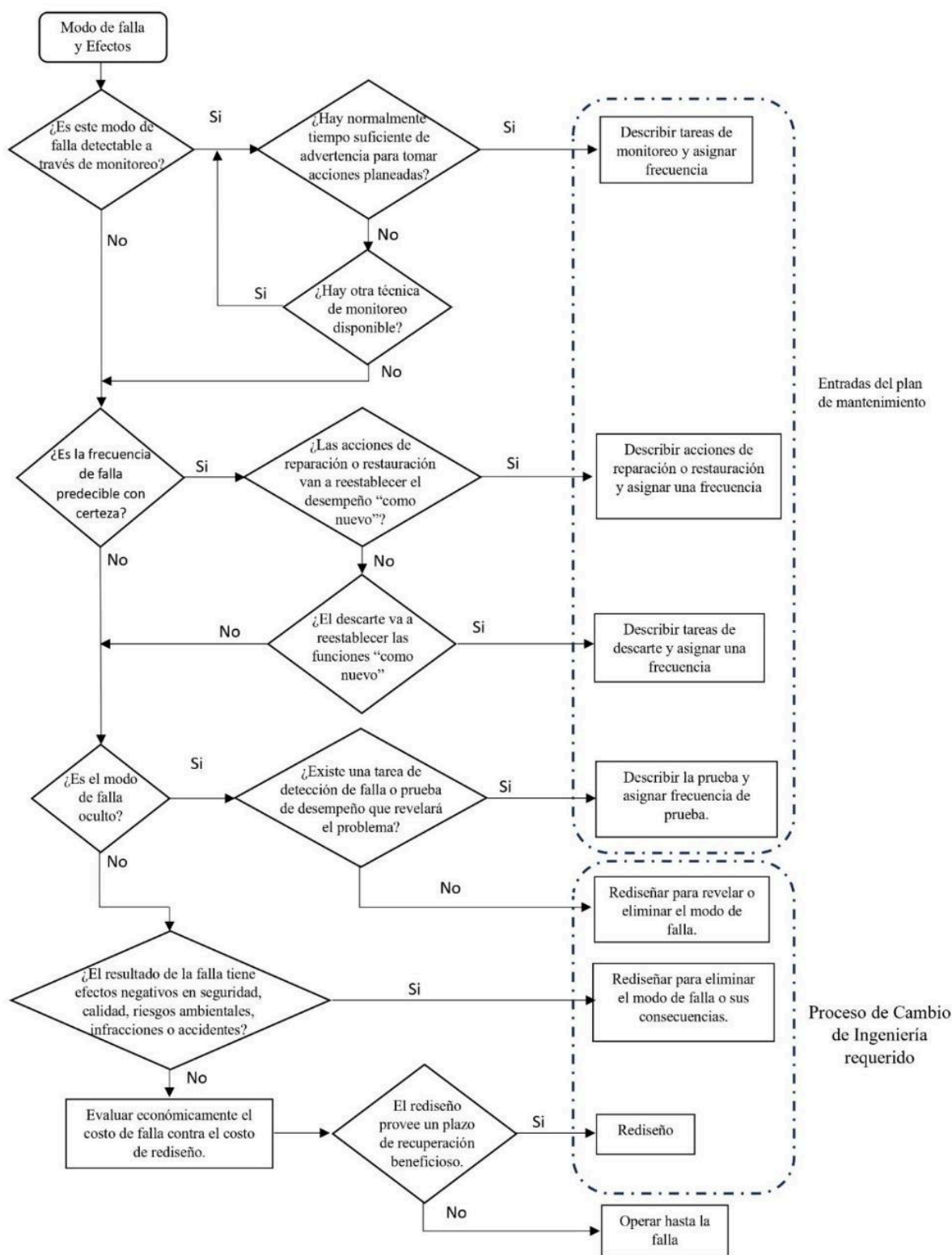


Figura 2-14: Diagrama de decisión RCM.

Adaptado de Campbell et al., 2011.

### Tipos de tareas.

El proceso de RCM utiliza categorías o tipos de tareas específicas para orientar las decisiones de mantenimiento, centrándose en la evaluación estructurada de las consecuencias de los tipos de fallas. Estas categorías se dividen en tareas proactivas y acciones de omisión (Moubray, 1997). La Tabla 2.12 describe los diferentes tipos de tareas de mantenimiento aplicado al diagrama de decisiones de RCM.

Tabla 2.12: Clasificación de tareas de mantenimiento

<b>Actividad de mantenimiento</b>	<b>Tipos de tareas</b>	<b>Descripción</b>
<b>Actividades de mantenimiento preventivo (Proactivas)</b>	Tareas en condición programada	Se enfoca en mantener los ítems dentro de sus patrones normales de funcionamiento, abarcando lo tradicionalmente conocido como mantenimiento "predictivo" o "preventivo", e identifica a través de indicios de falla la necesidad de cambio o restauración del componente al estar cerca del fin de su vida útil.
	Restauración programada	Incluye la refabricación o restauración de un componente antes de que alcance su vida útil programada, independientemente de su condición actual.
	Descarte programado	Implica desechar un ítem al o antes del tiempo programado, sin tener en cuenta su condición actual.
<b>Actividades de mantenimiento de omisión (Reactivas)</b>	Descubrimiento de fallas	Implica la monitorización periódica de funciones para detectar posibles fallas, en contraste con las tareas en condición que verifican indicios de falla.
	Rediseño	Este no se plasma en un plan de mantenimiento, pero se puede utilizar para eliminar o poder identificar el modo de falla. realizar un rediseño será necesario en caso la falla tenga afectaciones relacionadas con seguridad, calidad o medio ambiente, así como cualquier otro requerimiento legal. Si no tiene este impacto se deberá validar la viabilidad económica de la necesidad de este rediseño.
	Mantenimiento no programado	También conocido como "acudir a la falla", implica no realizar esfuerzos para anticipar o prevenir fallas, permitiendo que estas ocurran y luego se reparan.

Adaptado de Moubray, 1997.

#### 2.4.6 Ingeniería de confiabilidad aplicada a RCM

La confiabilidad se define como la probabilidad de que un elemento realice una función requerida sin fallos bajo condiciones especificadas durante un período de tiempo determinado. Una declaración de confiabilidad consta de cuatro componentes clave: la probabilidad, la función requerida, las condiciones especificadas y el período de tiempo definido. Por ejemplo, la confiabilidad de una cadena de distribución puede expresarse como un objetivo de probabilidad, como 0.9995, lo que significa que al menos el 99.95 por ciento de las cadenas deben funcionar al final del tiempo especificado. Además, la función requerida, las condiciones específicas y el tiempo establecido deben definirse claramente para cada parte, subconjunto o producto, abordando aspectos como las condiciones ambientales, de mantenimiento, de uso, almacenamiento, movimiento, entre otros (Campbell et al., 2011).

En esta sección se busca definir una serie de conceptos que ayudarán a determinar las frecuencias de las fallas y tiempos de reparación y como estas variables nos ayudan a determinar el impacto de las fallas en términos económicos.

El MTTF (que proviene de la definición en inglés “*Mean time to failure*” o en español Tiempo Medio hasta la Falla) es el tiempo promedio hasta la falla de productos no reparables. Se refiere a la vida promedio de productos idénticos que operan en condiciones idénticas. También se conoce como el tiempo esperado hasta la falla (Campbell et al., 2011)

En términos más simples, el MTTF es el promedio de tiempo que se espera que transcurra antes de que un producto no reparable falle. Este valor se denota mediante el término "MTTF" y se representa comúnmente con la letra "m" o la letra griega theta ( $\theta$ ), se expresa matemáticamente con la Ecuación. 2-2.

$$MTTF = \theta = \frac{\sum t_i}{n} \quad (\text{Ec. 2-2})$$

Donde:

- $t_i$ : Son los tiempos productivos (también conocido como *Uptime* en inglés), en un intervalo de tiempo.
- $n$ : Número de fallas, en un mismo intervalo de tiempo.

El inverso del MTTF viene a ser la frecuencia de falla de un sistema, a esta frecuencia también se le conoce con el símbolo  $\lambda$ , como se observa en la Ecuación. 2-3.

$$FF = \lambda = \frac{1}{MTTF} \quad (\text{Ec. 2-3})$$

El MTTR (que proviene de la definición en inglés “*Mean time to repair*” o en español Tiempo Medio de Reparación) es una métrica que representa el tiempo promedio necesario para reparar un componente o sistema después de una falla, representando esto como se observa en la Ecuación. 2-4. Esta medida es esencial en la gestión de la confiabilidad y el mantenimiento, ya que evalúa la eficiencia y la capacidad de respuesta ante eventos de falla. Expresado en unidades de tiempo, como horas o minutos, un MTTR más bajo indica reparaciones más rápidas y eficientes, contribuyendo a minimizar tiempos de inactividad y mejorar la disponibilidad global de sistemas y equipos (Campbell et al., 2011).

$$MTTR = \frac{\sum t_r}{n} \quad \text{(Ec. 2-4)}$$

Donde:

- $t_r$ : Son los tiempos de duración de falla o reparación (también conocido como *Downtime* en inglés), en un intervalo de tiempo.
- $n$ : Número de fallas, en un mismo intervalo de tiempo.

La disponibilidad (A) de un equipo se define como un parámetro que relaciona tiempos de paro por fallas electromecánicas con tiempos productivos. Con los indicadores de confiabilidad se describe la disponibilidad de un equipo, tal como se muestra en la Ecuación. 2-5. (Campbell et al., 2011).

$$A = \frac{\sum t_i}{\sum t_i + \sum t_r} \quad \text{(Ec. 2-5)}$$

Donde:

- $t_i$ : Son los tiempos productivos en un intervalo de tiempo.
- $t_r$ : Son los tiempos de duración de falla o reparación en un intervalo de tiempo.

Para determinar la afectación económica de un modo de falla se utiliza el CIF (Coste de Indisponibilidad por Fallos): Este indicador mide el impacto económico ocasionado por los efectos que trae consigo un modo de fallo en un período de tiempo específico (unidad de riesgo económico: dinero/tiempo), esto se representa en la expresión mostrada en la Ecuación. 2-6. (Parra & Crespo, 2016).

$$CIF = FF \times (CD + (MTTR \times CP)) \quad \text{(Ec. 2-6)}$$

Donde:

- $FF$  = frecuencia de fallos = fallos/mes, fallos/año, etc.
- $MTTR$  = tiempo promedio fuera de servicio = horas/falla
- $CD$  = costes directos de corrección por fallos = \$ (incluye los costos de materiales y mano de obra), estos recursos también podrían ser por hora, pero dicho factor se debería de multiplicar por  $MTTR$  de ser así, que es el tiempo que tardará utilizando ese recurso, como costo de mano de obra

/ hora. En estos costos directos también pueden ser refacciones, materiales consumibles requeridos para la reparación, u otros elementos requeridos debido a que ocurrió la falla, independiente del tiempo de reparación.

- CP = costes penalización por hora = \$/ hora (incluye los costos de oportunidad provocados por los eventos de fallos (paros de plantas, diferimiento de producción, productos deteriorados, baja calidad, retrabajo, impacto en seguridad, ambiente, etc.).

El coste de indisponibilidad por fallos servirá para determinar el costo actual de que se está incurriendo por dicha falla al año, lo que permite comparar el costo entre las diferentes fallas y simular los escenarios donde se aumenta el tiempo medio hasta la falla o se disminuye el tiempo medio de reparación.

## 2.5 Modelos para determinación de ciclos de mantenimiento

La determinación de ciclos de mantenimiento es crucial para optimizar la confiabilidad y eficiencia operativa en industrias de alta demanda, como la embotelladora de bebidas no alcohólicas. Diversos modelos han sido propuestos en la literatura para establecer los intervalos óptimos de inspección y mantenimiento, abarcando enfoques que varían desde la minimización de costos hasta la mejora de la confiabilidad operativa. En esta sección, se describen varios de estos modelos, con referencias a contribuciones clave de autores en el campo, en su mayoría relacionados con cálculos basados en la función de distribución de Weibull.

### 2.5.1 Optimización de Costos en Inspecciones y Reparaciones

- **Modelo de Optimización de Costos en Inspecciones y Reparaciones:** Este modelo se enfoca en minimizar el costo esperado asociado con retrasos en el tiempo mediante un proceso con dos tipos de inspecciones y reparaciones (Wang et al., 2022b).
- **Política de Inspección No Periódica:** Enfoque que optimiza una política de inspección no periódica evaluando los costos de vida útil mediante un proceso estocástico multivariado (Barker & Newby, 2009).

### 2.5.2 Modelos para Minimización de Costos a Largo Plazo

- **Política Óptima de Mantenimiento:** Modelo diseñado para minimizar la tasa de costo de mantenimiento promedio a largo plazo en sistemas con múltiples procesos en competencia (Li & Pham, 2005).
- **Frecuencia Óptima de Inspección:** Modelo que establece que la frecuencia de inspección debe coincidir con la tasa de fallos para optimizar los costos de mantenimiento (Mathew, 2004).

### 2.5.3 Planificación Global de Inspecciones y Costos Asociados

- **Teoría de Detección y Costo Total de Mantenimiento:** Evalúa el costo total de las intervenciones incorporando conceptos clave como probabilidad de detección y probabilidad de falsas alarmas (Rouhan & Schoefs, 2003).
- **Valorización de Fallos Ocultos y No Ocultos:** Modelo que busca minimizar el costo por unidad de tiempo seleccionando un intervalo único para inspección y mantenimiento (Badía et al., 2002).

#### 2.5.4 Modelos Basados en Diagnóstico y Confiabilidad

- **Política de Inspección y Diagnóstico Óptima:** Enfocado en la optimización del beneficio total esperado y la confiabilidad mediante políticas de inspección y diagnóstico, planteando una ecuación diferencial multivariable para determinar tasas de fallo individuales, así como los periodos de inspección óptimos (Kuntz et al., 2001).

#### 2.5.5 Modelos para Minimización de Tiempos de Inactividad y Tasas de Riesgo

- **Función del Efecto de la Inspección:** Modelo que expone la relación entre la frecuencia de las inspecciones y la efectividad de estas sobre la tasa de fallas de un equipo, permitiendo la optimización de los ciclos con el objetivo de disminuir tiempos de máquina detenida (Bahrami-Ghasrchami et al., 1998).
- **Metodología Dinámica para Establecer Intervalos de Inspección en el Mantenimiento Preventivo Condicional:** Modelo que permite ajustar dinámicamente el calendario de inspecciones basándose en la probabilidad de falla y la curva P-F, siendo autoajutable y más eficiente (Assis & Marques, 2021).

### 2.6 Modelo Estadístico de Weibull

La distribución de Weibull es una función de distribución de las más utilizadas en análisis de confiabilidad debido a su flexibilidad y capacidad de adaptación para modelar diferentes patrones de fallas. Se trata de una función que permite determinar la confiabilidad de un componente de acuerdo con la información histórica que permite la identificación de la tasa de fallos (Zhang, 2021). La Ecuación. 2-7 es una ecuación exponencial en función del tiempo (t), donde se considera la frecuencia de fallas ( $\lambda$ ) y se introduce una nueva variable  $\beta$ .

$$R(t) = e^{-(\lambda t)^\beta} \quad (\text{Ec. 2-7})$$

Donde:

- $R(t)$ : función de confiabilidad establecida por Weibull
- $\beta$ : parámetro de forma o corrección de la curva de confiabilidad

El factor  $\beta$  es un parámetro de forma que calcula a partir de una serie de datos conocidos de falla. Los dos métodos de cálculo de este parámetro son el método de mínimos cuadrados y el método de máxima verosimilitud (Bhattacharya et al 2009).

## **2.7 Mantenimiento industrial en líneas de envasado en El Salvador**

En El Salvador, la industria de bebidas no alcohólicas ha experimentado un desarrollo a lo largo del tiempo. Aunque no se puede precisar la fecha exacta de su surgimiento, se supone que comenzó en el siglo pasado e inicios del presente. A continuación, indican el inicio de algunas de las industrias más representativas de El Salvador (Cruz & Miranda, 2003)

- La Constancia S.A. (1906): Se considera la primera fábrica cervecera en El Salvador, ubicada inicialmente en Santa Ana y posteriormente trasladada a San Salvador. En 1917, se estableció una planta de bebidas gaseosas.
- Embotelladora Migueleña S.A. (1942): Fundada en San Miguel, se creó para producir y vender bebidas gaseosas en la zona oriental del país.
- La Cooperativa Ganadera de Sonsonate (1943): Conocida como "La Salud," fue la primera empresa dedicada a la producción de leche en El Salvador.
- Canada Dry (1947): Inicia operaciones en Santa Ana, produciendo refrescos embotellados.
- Embotelladora Tropical (años 50's): Inicia operaciones como propiedad de La Constancia S.A., produciendo bebidas no alcohólicas.
- Lácteos Foremost (1960): Fundada como resultado de la fusión de dos empresas salvadoreñas y una estadounidense. Fue la primera en empaquetar jugo en envases de cartón.
- Embotelladora Salvadoreña S.A. (EMBOSALVA) (1965): Inicia como una planta de refrescos embotellados independiente de La Constancia, dedicándose a embotellar y distribuir marcas mundialmente conocidas como Coca-Cola y Fanta.
- Anónima Embotelladora La Cascada (años 60's): Inicia operaciones en Santa Ana y luego se traslada a San Salvador, produciendo y comercializando la marca mundial de Pepsi-Co.
- Bon Appetit (1983): Inicia operaciones como productora de refrescos Frutsi y néctares Petit. Posteriormente, se trasladaron a un lugar con mayor capacidad de producción.
- Industrias Cristal (1994): Adquirida por Embosalva, inicialmente se dedicaba a la producción y embotellado de Agua Cristal y luego se diversificó produciendo jugos, refrescos y néctares.

- Del Campo (1997): Adquirida por Bon Appetit, la marca lanzó al mercado centroamericano una gama extensa de productos alimenticios, incluyendo néctares en envases de tetrapack.

### **2.7.1 Políticas de mantenimiento en industrias de envasado en El Salvador**

En la planta de CSD de AB-Inbev en El Salvador, también parte de La Constancia S.A., En los últimos dos años, la implementación de un sistema de gestión se ha destacado la necesidad crítica de revisar y optimizar los procesos existentes para elevar tanto su eficacia como su eficiencia operativa. En este contexto, se ha identificado que una brecha fundamental para alcanzar los objetivos deseados reside en la gestión de mantenimiento. El sistema de gestión utilizado propone herramientas bien conocidas, como RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad), ATO (Mantenimiento autónomo) y el pilar de mantenimiento, integrándolas como componentes esenciales del sistema de gestión implementado desde 2019, donde incluye medidas de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo (Gestoni, 2021).

### **2.7.2 Aplicación de RCM en industrias de envasado en El Salvador**

La planta CSD exhibe notables fortalezas en el análisis de causas raíz, fomentando reuniones y manteniendo bases de datos históricas. Estas bases permiten realizar análisis confiables de las fallas, documentando detalladamente tanto las soluciones aplicadas como sus causas raíz. Además, como parte de sus iniciativas de mejora continua, la empresa está introduciendo el Mantenimiento Basado en Confiabilidad (RCM), con el claro propósito de alcanzar un estándar de clase mundial en términos de gestión de mantenimiento. En resumen, la estrategia de la planta CSD se centra en optimizar los procesos de mantenimiento mediante la implementación de herramientas específicas, consolidando su compromiso con la excelencia operativa y la consecución de estándares internacionales en el ámbito del mantenimiento industrial (Gestoni, 2021).

### **2.7.3 Líneas de envasado en la industria salvadoreña**

En plantas de El Salvador se han realizado RCM sobre máquinas sopladora de botellas, algunas de las conclusiones que se han tenido indican que la implementación de RCM en una industria embotelladora, respaldada por un modelo avanzado de gestión de mantenimiento y una auditoría adaptativa, conlleva beneficios significativos. Estrategias como RCM demuestran su eficacia para optimizar procesos y alcanzar la excelencia operacional. (Roldán et al., 2022)

El enfoque en la criticidad, con una matriz de riesgo adaptable, permite una jerarquización efectiva de procesos y una asignación precisa de recursos para la mejora continua. La calidad de la implementación de RCM, respaldada por una adecuada selección de criticidades, se refleja en beneficios tangibles, especialmente en la reducción de costos de mantenimiento. Este éxito evidencia la capacidad de RCM como una herramienta poderosa para la toma de decisiones financieras y estratégicas de gestión, lo que

refuerza la continuación de esta estrategia para los equipos identificados como críticos. (Roldán et al., 2022)

### CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

En este apartado se describen los pasos tomados para el desarrollo de un programa de mantenimiento basado en confiabilidad. En primer lugar, se caracterizó la operación del equipo definiendo sus requisitos y ciclos de operación, esta parte del proceso permitió definir la función de cada uno de los componentes del equipo, así determinar la función principal de cada uno y definir lo que se consideraría un modo de falla, de esta manera fue posible aplicar un análisis a estos modos de fallas y definir las tareas que contrarrestarían cada uno. Luego, se describe el proceso para la recolección y extracción de los datos a analizar, esto con el afán de presentar la información que sirvió de base para definir los indicadores de frecuencia de falla y tiempo medio de reparación de los elementos mantenibles y así de esta manera darle un valor cuantitativo de manera que los modos de falla fueran comparables entre sí. Finalmente, se describe el procedimiento para la implementación de la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM a una sopladora de botellas PET que tiene como entradas las funciones de los componentes y la información de fallas de los elementos mantenibles de la sopladora. (tereftalato de polietileno).

#### 3.1 Caracterización de sopladora Krones K12C3

El primer proceso llevado a cabo fue la caracterización de la sopladora KRONES K12C3 con el fin de conocer los aspectos fundamentales de los componentes y como es el funcionamiento de cada uno como parte de un todo del proceso de soplado. La máquina sopladora forma parte de un proceso de embotellado por lo que fue necesario delimitar desde que punto hasta qué punto se realizaría el análisis.

El proceso de soplado se tomó desde el ingreso de la preforma PET hasta la salida de la botella soplada de la máquina, el equipo se trata de una maquina sopladora de modelo en bloque modelo, así como se muestra en la Figura 3-1.



Figura 3-1: Sopladora de botellas PET Krones modelo K12C3.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.1 Requisitos operacionales

A continuación, la Tabla 3.1 resume los requisitos operacionales para la sopladora de botellas en cuanto al suministro de aire de alta presión, aire de trabajo y agua fría.

Tabla 3.1: Condiciones de operación por suministro de aire comprimido seco y agua fría.

Requisitos Operacionales	Aire de Alta Presión	Aire de Trabajo	Agua Fría
Condiciones	Seco, limpio, libre de aceite	Seco, limpio, libre de aceite	Incolora, potable, segura microbiológica y químicamente
Presión mínima	25 bares	10,0 bares	10,0 bares
Presión máxima	40 bares	14,0 bares	12,0 bares
Estándar de Calidad del Aire	ISO 8573-1 (2001)	ISO 8573-1 (2001)	-
Contenido Máximo de Partículas	-	Máx. 20.000 partículas/m <sup>3</sup>	Máx. tamaño de partículas 0,05 mm
Contenido Máximo de Agua	-	Contenido máx. de agua 6 g/m <sup>3</sup>	Dureza del agua: Mín. 4 dH, Máx. 10 dH
Contenido Máximo de Aceite	-	Contenido máximo de aceite 0,1 mg/m <sup>3</sup>	pH: Mín. 7,5, Máx. 8,5
Temperatura Mínima	-	+20 °C	+10 °C
Temperatura Máxima	-	+30 °C	+12 °C

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.2 Estructura del equipo

La estructura del equipo se define por varios elementos que desempeñan funciones específicas en el proceso de soplado de botellas. Inicia con la zona de alimentación de preformas, donde una estrella de transporte recibe la preforma y la dirige hacia el módulo de calentamiento. Este módulo, compuesto por 12 hornos diferentes, calienta cada preforma a medida que es trasladada a lo largo de la cadena de más de 200 eslabones. Una vez calentada, la preforma sale del módulo e interactúa con las estrellas de transferencia, cada una equipada con 7 pinzas, marcando la entrada y salida de la rueda de soplado. Esta rueda, el núcleo de la máquina, ejecuta el proceso simultáneo de estiramiento y soplado en cada una de las 12 estaciones, transformando la preforma caliente en botellas terminadas. Todo el proceso está bajo el control y supervisión de una pantalla o mando de control, que regulan y monitorean cada etapa del proceso de soplado además es soportado por circuitos auxiliares de energía, de agua, de aire y de sistemas de control. La Figura 3-2 muestra la vista de planta de la sopladora y los sistemas que la conforman.

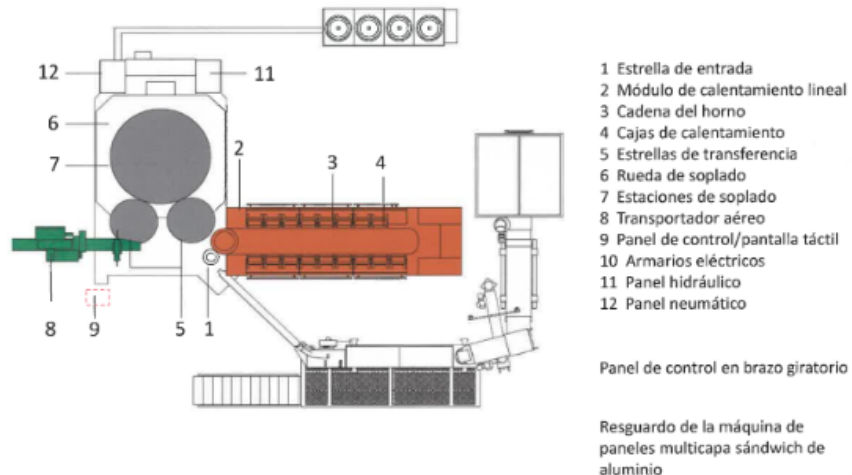


Figura 3-2: Vista de planta de sopladora de botellas Krones K12C3.

Adaptado de [Manual Sopladora Krones, 2014].

### 3.1.3 Ciclo de operación de sopladora Krones K12C3

La sopladora cerró el año 2023 con una cifra cercana a 40,000 horas de funcionamiento desde el 2014. Los ciclos de operación de esta máquina se definen desde la entrada de una preforma hasta la salida de una botella completamente formada. Durante su operación, la sopladora es capaz de trabajar a diferentes velocidades, variando desde 13,000 hasta 27,000 botellas por hora. En caso de fallas durante el proceso, estas se clasifican en distintos subconjuntos para una mejor gestión y resolución.

Estos subconjuntos incluyen los moldes, la rueda de soplado, el horno, el sistema hidráulico, el sistema de salida de botellas, el sistema neumático, la alimentación de preformas, el sistema de lubricación, el sistema de frenado y la carrilera de preformas. Esta clasificación permite identificar y abordar de manera eficiente cualquier problema que pueda surgir durante la operación de la sopladora de botellas, la descripción de estos componentes se visualiza en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2: Descripción de conjuntos y subconjuntos principales que conforman la sopladora.

Subconjunto	Descripción	Actuadores neumáticos	Instrumentación de medición	Servomotores	Circuito de enfriamiento por agua	Circuito de enfriamiento por aire	Control electrónico
<b>Alimentación de preforma</b>	Sistema que conecta tres conjuntos, interactúa entre el equipo que entrega la preforma a la máquina y los dos subconjuntos principales de la máquina sopladora: el horno calentador y la rueda de soplado. El sincronismo de este sistema debe respetar estas condiciones, la metodología para lograrlo es a partir servomotores.	✓		✓			
<b>Horno calentador</b>	Consiste en una unidad diseñada para recibir preformas de plástico y calentarlas a una temperatura específica para hacerlas maleables y aptas para ser moldeadas en botellas. Cuenta con un sistema de calefacción controlado por termostatos, que permite ajustar la temperatura de calentamiento según las necesidades de producción y medio ambiente. Las preformas se alimentan en el horno mediante una cadena de eslabones, que permite una transferencia uniforme y controlada de las preformas a través del proceso de calentamiento. El horno cuenta con múltiples zonas de calentamiento, cada una con su propio control de temperatura, para asegurar una calefacción uniforme de la preforma en todas las partes. Además, cuenta con mecanismos de protección contra sobrecalentamiento y un sistema de enfriamiento para garantizar la eficiencia y seguridad del proceso. El sistema horno calentador de preformas es un componente crítico de la máquina sopladora de botellas, ya que su adecuado funcionamiento es fundamental para la calidad y eficiencia del proceso de producción de botellas de plástico.	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Rueda de soplado</b>	El conjunto consiste en múltiples subconjuntos: Transferencias de preformas y botellas, estas permiten la entrada y salida suave y controlada de la preforma en el horno calentador y las botellas en el proceso de salida, garantizando así un flujo eficiente y preciso; Estación de soplado, por su parte, es el núcleo del proceso, donde las preformas calentadas se convierten en botellas a través del estiramiento y soplado simultáneos en las estaciones individuales, aprovechando al máximo el flujo de aire de alta presión que es suministrado por el subconjunto de distribución de aire de alta presión.; Controladores de proceso; Levas de accionamiento son responsables de sincronizar los movimientos internos en la rueda de manera mecánica, asegurando que cada estación de soplado realice su función en el momento preciso; subconjunto de monitoreo proporciona un control en tiempo real del proceso, asegurando que cualquier desviación o anomalía pueda ser detectada.	✓	✓	✓	✓		✓
<b>Sistema de enfriamiento</b>	Consiste en una serie de tubería y manguera, conectados a un sistema de suministro de agua fría externo, que se distribuyen alrededor de las estaciones de soplado, horno, servomotores y tableros eléctricos para buscar la protección a altas temperaturas. El agua utilizada en este proceso es enfriada y reciclada para minimizar el consumo y asegurar una eficiencia ambiental. Esta etapa del proceso se encuentra sincronizada y controlada para optimizar el rendimiento y la calidad del producto final.		✓		✓		

<b>Tableros eléctricos</b>	<p>Es una red de dispositivos que gestiona y controla las operaciones eléctricas de la máquina. Este sistema incluye controladores electrónicos ACOPOS, que regulan y controlan el movimiento de diferentes partes de la máquina, garantizando un funcionamiento preciso y eficiente. Además, cuenta con un climatizador de tablero que mantiene una temperatura óptima dentro de los tableros eléctricos, asegurando así un funcionamiento seguro y libre de problemas térmicos. La comunicación ASI, por otro lado, permite la transmisión de datos de forma rápida y fiable entre los diferentes componentes eléctricos y de control, asegurando así una coordinación adecuada de las operaciones de la máquina</p>		✓	✓	✓	✓	✓
----------------------------	--	--	---	---	---	---	---

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2 Recolección de datos

En esta sección se describe cómo se generaron y cómo se obtuvo la información histórica de paros del equipo, que posteriormente se utilizó para definir los indicadores de frecuencia de falla (FF) y tiempo medio de reparación (MTTR) o tiempo medio de solución de la falla (MTFS) necesarios para en análisis de RCM de la siguiente sección. Además, se indica como se obtuvo la información relacionada con planes de mantenimiento actuales de la sopladora durante la investigación (cantidad, tiempos requeridos para su ejecución y costos de mantenimiento preventivo) y costos relacionados con las fallas.

#### 3.2.1 Equipo para la recolección de datos

La recolección de datos actualmente es realizada por un interpretador lógico de señales, instalado por una compañía externa, este dispositivo establece comunicación directa con el controlador PLC de la máquina llenadora de botellas, La llenadora está instalada en bloque con la máquina sopladora analizada; esto indica que la producción de botellas llenas, como producto, solo ocurre si ambas máquinas están en funcionamiento simultáneo. Los datos interpretados son transmitidos al servidor de la compañía externa y se analizan en base a las señales del equipo máquina activa, máquina detenida, máquina en falla.

#### 3.2.2 Software para recolección de datos

Para la recopilación de datos e interpretación de estos, la compañía toma los datos del servidor y los presenta visualmente en un software interno de interpretación visual de datos, se le llama Suite 360. Desde la plataforma se puede revisar la información cargada en la nube, así como extraer grupos de datos según rangos de tiempos. Es el operador de la sopladora-llenadora quién tiene la responsabilidad de clasificar y justificar los tiempos de paro y falla de la línea según políticas de la compañía, para propósitos de este documento se presentan en la Tabla 3.3 las clasificaciones fundamentales:

Tabla 3.3: Clasificación de tiempos de paro según Suite 360.

Clasificación tiempos de paro	Descripción
<b>Tiempo productivo</b>	Tiempo en el que la línea de producción está operativa y funcionando sin interrupciones.
<b>Maquina detenida por causas internas</b>	Tiempo asignado a causas de máquina, operación o desperfectos en ajuste en el que la maquina no se encontraba disponible para producir.
<b>Tiempo de paro programado</b>	Tiempo de paro planificado durante el cual la línea de producción se detiene por una razón previamente establecida. Las ventanas de mantenimiento están consideradas dentro de esta clasificación.

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.2.3 Extracción de datos

Los análisis posteriores requieren la base de datos de tiempos de paro para poder definir tendencias y la criticidad en los subconjuntos, por tanto, se definió ventana de tiempo de análisis el periodo productivo de los años 2022 y 2023, la extracción de datos corresponde a esas fechas y todos los resultados están basados en ese periodo. Para la facilitación de los datos se tuvo acceso a la plataforma de paros de la compañía y se extrajo directamente de la aplicación. Se realizó una validación de la información y se clasifico de acuerdo a los conjuntos definidos en la caracterización del equipo, procurando identificar la afectación y el subconjunto que la generó. De tal manera que no se consideran en el análisis los registros de paro que no tengan su respectiva trazabilidad o que resultó imposible para el equipo caracterizarlos dentro del contexto operación definido en la caracterización del equipo.

Adicionalmente, se proporcionó la información de los costos del plan maestro de mantenimiento, incluyendo las horas requeridas para su ejecución, costos de mantenimiento preventivo y horas hombre requeridas, así también los costos por actividades correctivas emergenciales y correctivas planificadas. Esta información se encuentra registrada y clasificada en el módulo de mantenimiento de SAP PM detallada a nivel de componente.

### **3.3 Análisis de RCM**

En esta parte del capítulo se aborda como se aplicó la metodología de RCM para determinar las tareas de mantenimiento óptima a aplicar en cada uno de los componentes mantenibles de la sopladora de botellas; se aborda en el capítulo la metodología de RCM, como utiliza la herramienta AMFEC y como a través de indicadores de confiabilidad y definición de costos por falla se determinó la viabilidad económica y ahorros potenciales de la ejecución de dicha tarea definida.

Para ejemplificar la ejecución del proceso de RCM se tomó un elemento mantenible y se describe como se desarrolla el análisis de RCM para determinar la tarea a ejecutar, el elemento seleccionado fue el molde de la estación de soplado, esta metodología fue aplicada a todos los elementos mantenibles determinados en la definición de la taxonomía de la sopladora.

#### **3.3.1 Definición del equipo de trabajo**

Para la aplicación de RCM el primer paso fue la conformación de un equipo de trabajo multidisciplinario conformado por operadores, técnicos de mantenimiento, especialistas de automatización y control, planificadores de mantenimiento, supervisores de producción y mantenimiento de la línea de envasado y guías en metodología RCM.



Figura 3 3: Sesiones de trabajo presenciales con el equipo natural.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 3.4 muestra un resumen de las sesiones realizadas con el equipo natural y su respectivo alcance para el desarrollo de la metodología.

Tabla 3.4: Sesiones realizadas en la empresa con el equipo natural y descripción de su alcance.

Numer o de sesión	Fecha	Equipo presente	Duració n [hr]	Alcance
1	04/05/24	Equipo natural completo	0.5	Presentación de los objetivos y alcance del trabajo a realizar.
2	11/05/24	Supervisores y planificador de mantenimiento	2.5	Definición del contexto operacional del equipo y partición del equipo por ensamble, sub-ensamble y componente.
3	18/05/24	Operador, técnico de mantenimiento, especialista de automatización y planificador de mantenimiento	32	Elaboración del FMECA:
4	25/05/24			1. Definición de función, falla funcional y modo de falla por componente
5	01/06/24			2. Definición de NPR por modo de falla.
6	08/06/24			3. Aplicación de diagrama de decesión de RCM por modo de falla y selección de tarea propuesta
7	15/06/24			
8	22/06/24			

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.2 Desarrollo de la metodología RCM

En las primeras sesiones, con apoyo de los supervisores de línea de envasado y el planificador de mantenimiento se definió el contexto operacional de la sopladora de botellas. Adicionalmente, se realizó la clasificación o partición de la máquina por ensamble, sub-ensamble y componente o elemento mantenible, tomando como referencia la caracterización de la sopladora de botellas, esta mostrada en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5: Partición de sopladora Krones modelo C132 en ensamble, sub-ensamble y componente.

Ítem	Nivel 1 Partición (Ensamblaje)	Ítem	Nivel 2 Partición (Sub-Ensamblaje)	Ítem	Nivel 3 Partición (Componente)
1	Alimentación de Preforma	1.01	ACCIONAMIENTO PRINCIPAL	1.01.01	Servomotor
				1.01.02	Reductor de velocidad
		1.02	SISTEMA DE EYECCION PREFORMA	1.02.01	Eyector de preforma
		1.03	PLACAS DE TRANSFERENCIA	1.03.01	Bloqueador de entrada
2	Horno	2.01	ACCIONAMIENTO PRINCIPAL	2.01.01	Motor 1
				2.01.02	Reductor de velocidad 1
				2.01.03	Motor 2
				2.01.04	Reductor de velocidad 2
		2.02	CADENA DE HORNO	2.02.01	Eje tracción
				2.02.02	Eje inducido
				2.02.03	Cadena de Mandriles
				2.02.04	Correa de transmisión
		2.03	MODULOS DE CALENTAMIENTO	2.03.01	Lámparas incandescentes
		2.04	DISTRIBUCIÓN DE AGUA FRIA	2.04.01	Ductos de agua fría
2.05	SISTEMA DE VENTILACION HORNOS	2.05.01	Turbina enfriamiento		
3	Estrella de Preforma	3.01	ACCIONAMIENTO PRINCIPAL	3.01.01	Servomotor
				3.01.02	Reductor
				3.01.03	Eje de Estrella
		3.02	BRAZOS DE TRANSFERENCIA	3.02.01	Brazo de transferencia
				3.02.02	Pinzas
				3.02.03	Levas

		3.03	SISTEMA DE EYECCION DE PREFORMA	3.03.01	Eyector de Preforma
4	Rueda de Soplado	4.01	ESTACIONES DE SOPLADO	4.01.01	Moldes
				4.01.02	Varilla de estirado
				4.01.03	Mangueras de enfriamiento
		4.02	DISTRIBUCION DE AIRE	4.02.01	Bloque válvula neumáticas
				4.02.02	Sistema de compensación y desfogue
		4.03	SISTEMA DE LEVAS	4.03.01	Levas de Cierre
				4.03.02	Levas de Apertura
		4.04	ACCIONAMIENTO PRINCIPAL	4.04.01	Servomotor
				4.04.03	Piñones de rueda
		4.05	SISTEMA DE DISTIBUCIÓN DE AGUA	4.05.01	Junta rotativa de agua
				4.05.02	Mangueras
		4.06	SISTEMA DE DISTIBUCIÓN DE AIRE	4.06.01	Junta rotativa de aire
				4.06.02	Anillo de soplado presoplado
				4.06.03	Anillo de soplado intermedio
4.06.04	Anillo de soplado final				
4.06.05	Anillo de desfogue				
5	Estrella de Botellas	5.01	ACCIONAMIENTO PRINCIPAL	5.01.01	Servomotor
				5.01.02	Reductor
		5.02	BRAZOS DE TRANSFERENCIA	5.02.01	Brazo de transferencia
				5.02.02	Pinzas
		5.03	SISTEMA DE EYECCION DE BOTELLA	5.03.01	Eyector de Botella
				5.02.03	Levas
6	Sistema Eléctrico e instrumentación	6.01	SISTEMA DE MONITOREO DE DESPLAZAMIENTO	6.01.01	Sensores inductivos periféricos
		6.02	SISTEMA MONITOREO PROCESO	6.02.01	Instrumentación de proceso
		6.03	SISTEMA DE CONTROL	6.03.01	PLC
				6.03.02	Módulos ACOPOS
6.04	SISTEMA DE SEGURIDAD Y PROTECCION	6.04.01	Sensores de seguridad y dispositivos de enclavamiento		

				6.04.02	Modulo ASI
7	Sistemas Auxiliares	7.01	SISTEMA DE LUBRICACION	7.01.01	Bomba de lubricación
				7.01.02	Mangueras de lubricación
		7.02	ILUMINACIÓN	7.02.01	Lámparas de iluminación
		7.03	CHASIS Y COMPUERTAS	7.03.01	Estructura Chasis
				7.03.02	Compuerta de acceso
7.04	MANEJOS Y JUEGOS DE FORMATO	7.04.01	Almacén de moldes		
8	Panel Eléctrico	8.01	TABLERO 1 ALIMENTACION PRINCIPAL	8.01.01	Dispositivos eléctricos de fuerza
				8.02	TABLERO 2 CONTROL Y ESCLAVOS
		8.02.02	HDMI		
		8.03	TABLERO 3 HORNO LAMPARAS	8.03.01	Dispositivos eléctricos de fuerza
				8.03.02	PLC
		9	Panel Neumático	9.01	DISPOSITIVOS PROTECCION
9.02	DISTRIBUCIÓN DE AIRE			9.02.01	Ductos de aire
9.03	FILTRACION DE AIRE			9.03.01	Filtros de aire
10	Panel Hidráulico	10.0 1	DISTRIBUCIÓN Y MODULACIÓN DE AGUA	10.01.0 1	Válvulas de agua
				10.01.0 2	Ductos de agua
		10.0 2	FILTRACION DE AGUA	10.02.0 1	Filtros de agua
				10.02.0 2	Ductos de agua

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se desarrolló un ejemplo de la ejecución del proceso de implementación de RCM para el componente Moldes con partición 4.01.01 y taxonomía Rueda de Soplado/Estaciones de Soplado/Moldes. Este ejemplo proporcionó una visión detallada de los pasos realizados para definir las nuevas tareas de mantenimiento y determinó un nuevo costo por indisponibilidad por falla, según la propuesta de mejora en los indicadores de confiabilidad.

La Tabla 3.6 muestra un resumen del análisis de AMFEC (análisis de modos de falla, efectos y criticidad) realizado. Con la ayuda del equipo natural (operadores, técnicos de mantenimiento y especialistas de automatización) y el manual de operación y mantenimiento se definieron las funciones, falla funcional, modo y efecto de falla de cada componente analizado. Por otro lado, con el histórico de datos se determinaron los factores del NPR utilizando los criterios descritos en la Tabla 2.8, Tabla 2.9 y Tabla 2.10.

Para este caso, se trata de una falla elevada o crítica que detiene el proceso productivo, pero no representa un riesgo a la seguridad, medio ambiente o calidad, por lo que se considera con un puntaje de 9. Además, Se trata de una falla que ocurre más de 10 veces al mes, por lo que se pondera con un puntaje de 10. Finalmente, presenta un nivel de detección moderado, por lo que se considera un puntaje de 5. Al evaluar estos factores en la Ecuación. 2-1, el NPR evaluado fue de 450, se encuentra en la categoría de falla inaceptable. Cabe destacar que se determinaron 10 modos de falla asociados con los moldes de soplado, donde el efecto de vibraciones mecánicas se presenta en 5 de estos modos de falla.

Tabla 3.6. Análisis AMFEC en elemento mantenible, moldes de sopladora de botellas.

Elemento	Funciones	Fallas Funcionales	Modos de Falla	O D			Numero Prioritario de Riesgo (NPR)	Categoría de falla	Efectos de Fallas
				G r a v e d a d	c u r r e n c i a	D e t e c c i ó n			
<b>Moldes</b>	Otorgar forma de botella a preforma	No otorgar forma de botella a preforma	Desgaste	9	10	5	450	Inaceptable	Vibraciones

Fuente: Elaboración propia.

Después de realiza el análisis AMFEC, con apoyo del equipo natural se continuó con la aplicación del diagrama de decisión propuesto en la sección 2.4.5. Esto permitió determinar el conjunto de tareas a ejecutar en el componente analizado y se estableció una frecuencia, tiempo y responsable de ejecución. La Tabla 3.7 muestra que el tipo de falla no es evidente con tareas de inspección y monitoreo (NE), y las

consecuencias de falla no representan un riesgo a la seguridad ni medio ambiente, y una actividad de reparación no reestablece las condiciones básicas del elemento, por tanto, el tipo de tarea propuesta será una restauración programada (RE).

Tabla 3.7. Representación de diagrama de decisión de RCM para definición de tipo de tarea para un modo de falla de moldes de sopladora de botellas.

Elemento	Fallo Escudido o Evidente (E)?	¿Consecuencia Seguida? (N/S)	¿Consecuencia Mediana ambiente? (N/S)	¿Consecuencia Operacional? (N/S)	¿Consecuencia No-Operacional? (N/S)	Tarea por Condición (N/S)	Restauración Programada (N/S)	Descarte Programado (N/S)	Tarea de Encuentrar Fallas (N/S)	Operar hasta la falla (N/S)	Rediseño o Manejo de los efectos (N/S)	Tipo de Tarea
<b>Moldes</b>	NE	N	N	N	N	N	N	S	N	N	N	RE: Restauración programada/ overhaul

Fuente: Elaboración propia.

Las tareas propuestas pueden atacar múltiples modos de fallo, por ejemplo, una termografía en un tablero eléctrico puede identificar desgaste en componentes eléctricos y sobrecalentamientos, por lo que pueden ser distintas la cantidad de tareas propuestas comparados con la cantidad de modos de fallo. Además, por practicidad las tareas propuestas similares se agruparon en un solo plan de mantenimiento para facilitar la gestión por parte del planeador de mantenimiento, volviendo al ejemplo de la termografía en tableros eléctricos, todas las tareas propuestas de termografía de todos los tableros se agruparon en el plan de mantenimiento “1” o plan de mantenimiento “Termografías a tableros”.

Posteriormente, con los registros históricos de fallos indicados en el apartado Extracción de datos 3.2.3, obtenido de Suite 360 y evaluando las Ecuación. 2-2 y Ecuación. 2-4 se determinaron los indicadores de confiabilidad, frecuencia de fallas (FF) y tiempo promedio de solución de fallas (MTTR). La información de Suite 360 se trató de manera que se pudiera asociar uno a varios modos de falla del análisis RCM. Esto permitió determinar el costo de indisponibilidad por fallo planteado en la Tabla 3.8 Y así fue ejecutado para todos los modos de falla con sus respectivo histórico de fallas.

Para determinar los costos directos por falla (CD), se utilizó la extracción de ordenes de trabajo de SAP, se considera el costo de las refacciones y consumibles impactados. Los costos de penalización por hora (CP) considera el costo por mano de obra y el costo por improductividad. El costo de mano de obra se

determinó con el costo promedio por hora de servicio según la especialidad del técnico u operador (operador, mecánico nivel inicial, mecánico nivel intermedio, mecánico especialista, electricista nivel inicial o electricista especialista) y el tiempo promedio que toma restaurar la condición operativa de la máquina. Adicionalmente, por temas de confidencialidad no fue posible colocar el costo por inproductividad, por lo que se asume un valor representativo de \$1,000.00 dólares por cada hora que la línea pase detenida por una falla electromecánica.

Para este caso, se tiene una frecuencia de fallas de 174 eventos registrados en el año y un tiempo promedio de solución de falla de 0.23 horas por evento. Adicionalmente, en promedio los costos directos de reparación (repuestos y consumibles) son de \$ 658.00 dólares por evento de falla y los costos por penalización son de \$ 1,002.62 donde se consideran los costos de mano de obra del mecánico especialista y los costos inproductividad. Al evaluar estos factores en la Ec. 2-6 se obtuvo el costo por indisponibilidad por falla del modo de falla descrito. La Tabla 3.8 muestra un resumen de los datos analizados.

Tabla 3.8. Costo indisponibilidad por falla real debido a datos históricos para los moldes de una sopladora de botellas.

Elemento	FF (Fallos/Año)	TPFS (Horas / Falla)	CD (\$ / Falla)	CP (\$/Hora)	Costo Indisponibilidad por falla / año
<b>Moldes</b>	174	0.230	\$ 658.00	\$ 1,002.62	\$ 154,616.00

Fuente: Elaboración propia.

Posterior a la ejecución de RCM, se determinó el costo de las nuevas actividades propuestas para cada uno de los modos de falla, para ello se consideró el costo anual de mano de obra, repuestos y/o consumibles, costo de herramientas y costo por entrenamiento o capacitación.

Para el caso de estudio, se definió con el equipo natural que la tarea propuesta de restauración se puede realizar con dos técnicos mecánicos especialistas y se pueden ejecutar en tiempo promedio de 30 horas, las cuales se repartirán en las ventanas de mantenimiento o tiempos de paro programado semanal con los que la línea ya cuenta. Adicionalmente, la restauración de los moldes de soplado considera una inversión de aproximadamente \$40,000 USD. Adicionalmente, se considera el costo por entrenamiento por la capacitación de: Inspección rápida y ajuste de moles de soplado. Al sumar todos estos factores se obtuvo el costo del plan de mantenimiento propuesto por año para atacar este modo de falla, que para este caso asciende a \$42,000 USD La Tabla 3.9 muestra un resumen de los datos analizados.

Tabla 3.9: Costo del plan de mantenimiento preventivo propuesto para los moldes de una sopladora de botellas.

Elemento	Costo M.O. (Propuesto) (\$/año)	Costo Materiales (Propuesto) /Año	Costo Herramientas	Costo de Capacitación / Año	Costo mantenimiento Preventivo (propuesto) / Año
<b>Moldes</b>	\$ 136.80	\$ 39,928.08	\$ 0.00	\$ 2,000.00	\$ 42,064.88

Fuente: Elaboración propia.

La determinación de la nueva frecuencia de falla para las tareas propuestas se llevó a cabo utilizando la información obtenida de Suite 360 en colaboración con el equipo natural. Se partió de la premisa de que, para todas las tareas propuestas relacionadas con reemplazo y restauración, era necesario establecer una frecuencia de reemplazos que redujera a cero la frecuencia de falla asociada al modo de falla en estudio. Asimismo, la determinación del impacto asociado a las tareas propuestas para los planes de entrenamiento se realizó en conjunto con el equipo natural, estableciéndose una reducción aproximada del 10% en cada modo de falla asociado. Esta información fue crucial para los cálculos subsiguientes. Para el caso de algunos modos de falla que se registraron como reducible deseables, también se consideran planes de capacitación/entrenamiento que buscan reducir en un 10% el tiempo promedio de solución de fallas, y los modos de falla que se clasificaron como aceptables, se generan actividades preventivas cuyos impactos no son considerados en el análisis de los indicadores de confiabilidad.

Con base a esta información, se calculó un nuevo costo de indisponibilidad por falla (CIF), considerando los costos de mantenimiento preventivo propuestos, y se determinó el ahorro potencial anual derivado de la ejecución de las tareas propuestas. La Tabla 3.10 muestra un resumen de los datos analizados.

Tabla 3.10. Costo de indisponibilidad por falla estimado con equipo natural y ahorro potencial por año.

Elemento	Costo mantenimiento Preventivo (propuesto) / Año	FF (propuesto) (Fallos/Año)	TPFS (Horas / Falla)	CD (\$ / Falla)	CP (\$/Hora)	CIF	Ahorro Potencial / Año
<b>Moldes</b>	\$ 42,064.88	0.00	0.207	\$ 658.00	\$ 1,002.62	\$ 0.00	\$ 112,551.12

Fuente: Elaboración propia.

Para el ejemplo analizado, se tiene un ahorro potencial de \$112,551.12 al año, lo que representa una reducción del 73%. En el siguiente capítulo se muestran los resultados de todos los modos de falla resultantes del análisis de RCM.

## CAPITULO IV: RESULTADOS

En este capítulo se mostrarán los resultados de la ejecución de RCM, partiendo de las salidas que se tuvieron de la implementación de la metodología, es decir cuántos modos de falla se obtuvieron y cuál es el resultado de ser analizados y como los recursos de los planes de mantenimiento propuestos fueron asignados a las categorías aceptable, reducible deseable e inaceptable de los modos de falla. Posteriormente se realiza la comparativa de los planes de mantenimiento actuales respecto a los propuestos, resultado del análisis de RCM, esto para verificar la optimización de planes y recursos para la ejecución de estos, por último, también se muestran como todos estos resultados conllevan a la mejora de la disponibilidad de la sopladora de botellas y como consecuencia el beneficio económico.

### 4.1 Resultados de análisis de RCM

Producto de la ejecución de la metodología de RCM en la sopladora de botellas, se obtuvieron la cantidad de los subconjuntos o subsistemas, elementos mantenibles y modos de falla analizados resumidos en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Cantidad de subconjunto, componentes mantenibles y modos de falla identificados en Sopladora de botellas.

Item	Cantidad
<b>Subconjuntos en Sopladora de Botellas</b>	10
<b>Componentes mantenibles</b>	68
<b>Modos de falla</b>	156

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar se tienen más modos de falla que componentes mantenibles, esto, como se comentó en la metodología, un mismo elemento puede tener uno o más modos de falla. Para consultar a detalle de la taxonomía definida hasta nivel de componente mantenible y modos de falla se puede consultar el Anexo A.

Para cada modo de falla se definió su número prioritario, estableciendo la gravedad, ocurrencia y detección en conjunto con el equipo natural y analizando su frecuencia de falla, tiempo medio de reparación e impacto de costos de inproductividad por falla. El resumen de cómo quedaron categorizados los 156 modos de falla identificados se resumen en la Figura 4-1.

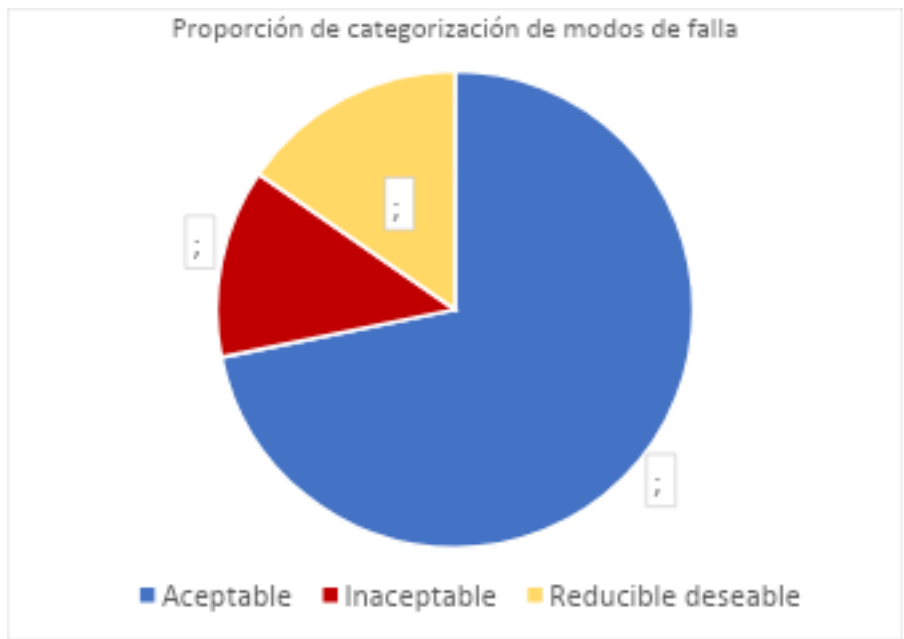


Figura 4-1. Proporción de categorización de modos de falla acorde al NPR definido.

Fuente: Elaboración propia.

Cómo se observa en la Figura 4-1 la mayoría de modos de fallo fueron categorizados como “Aceptables”, sin embargo se priorizaron los modos de fallo categorizados como “Inaceptables”, ya que estos tienen mayor impacto de costos de inproductividad por falla (CIF) actualmente, esto se puede apreciar mejor en la Figura 4-2, donde vemos que el CIF para los modos de falla categorizados como inaceptables tienen más del 70%, es decir alrededor de 1.26 Millones de dólares, de los costos de inproductividad por falla de toda la sopladora de botellas.



Figura 4-2. Proporción y costo de inproductividad por falla (CIF) por categoría de falla definidas en modos de falla.

Fuente: Elaboración propia.

Para comprender como se priorizaron los recursos primero es importante visualizar como quedaron distribuidas el total de las tareas propuestas por tipo de tarea para cada una de las categorías de los modos de falla, en la Tabla 4.2 se muestra cómo se distribuyen en cantidad las tareas propuestas a cada una de las categorías de los modos de falla.

Tabla 4.2. Distribución de tipos de tareas propuestas para cada categoría de falla de los modos de falla.

Categoría de falla	BF= Busqueda de fallas	DS= Descarte programado	IBC= - Inspección Basada en Condición	RE=Restauración programada	Total general
<b>Aceptable</b>	1	3	79		83
<b>Inaceptable</b>		5	7	5	17
<b>Reducible deseable</b>	2	2	12	3	19

<b>Total general</b>	<b>3</b>	<b>10</b>	<b>98</b>	<b>8</b>	<b>119</b>
----------------------	----------	-----------	-----------	----------	------------

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Tabla 4.2, la mayoría de las tareas asignadas son Inspecciones Basadas en Condición (IBC), es congruente con la filosofía de RCM y el flujograma de decisiones que prioriza este tipo de tareas antes que las demás, además vemos que las categorías de falla que más tareas tiene son las definidas como “Aceptables”, con un total de 83 tareas propuestas, esto se debe a que al ser una empresa de alimentos y bebidas todos los componentes deben tener al menos limpiezas e inspecciones asignadas. Adicionalmente, los modos de falla definidos como “Inaceptables” tiene en su mayoría tareas de Descarte Programado y Restauración Programa, 10 tareas propuestas entre estos dos tipos de clases de actividades, cómo se comentó en la metodología esto para garantizar la reducción y mitigación de las consecuencias de dichos modos de falla.

La Tabla 4.3 muestra un resumen de la distribución de los costos de mano de obra, materiales, herramientas y plan de entrenamiento/capacitación para cada una de las categorías de los modos de falla.

Tabla 4.3. Asignación de recursos en concepto de mano de obra, materiales, herramientas, capacitaciones de plan de mantenimiento preventivo.

Categoría de falla	Costo M.O. (Prev) (\$/año)	Costo Materiales (Prev) (\$/año)	Costo Herramientas (Prev) (\$/año)	Costo de Capacitación (\$/año)	Costo mantenimiento Preventivo Total (\$/año)	Proporción de Costo de Mantenimiento Preventivo al año
<b>Aceptable</b>	\$1,399.38	\$2,270.36	\$1,687.50		<b>\$5,357.24</b>	<b>2.40%</b>
<b>Inaceptable</b>	\$2,163.78	\$145,358.80	\$161.00	\$8,144.00	<b>\$155,827.58</b>	<b>69.81%</b>
<b>Reducible deseable</b>	\$3,027.49	\$52,524.10	\$1,788.56	\$4,705.20	<b>\$62,045.36</b>	<b>27.79%</b>
<b>Total general</b>	<b>\$6,590.65</b>	<b>\$200,153.27</b>	<b>\$3,637.06</b>	<b>\$12,849.20</b>	<b>\$223,230.18</b>	<b>100.00%</b>

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 4.3 un 69.81% del costo de mantenimiento preventivo propuesto es asignado a tareas cuyos modos de falla fueron categorizados como “Inaceptables”, siendo más de \$155,000 USD, esto principalmente por los costos de materiales y refacciones debido a los planes de descarte y restauración asignados a estos modos de falla.

Adicional, como se muestra en las tablas Tabla 4.2 y Tabla 4.3 se observa que independiente de su categorización, se han definido tareas de mantenimiento para cada uno de estos. Para los modos de falla categorizados como aceptables se asignaron principalmente inspecciones basadas en condición (limpiezas e inspecciones) lo que implica una inversión del 2.40% del costo del plan de mantenimiento preventivo propuesto (\$5,357.24 USD), por lo que la frecuencia de falla (FF) y tiempo medio de reparación (MTTR) en estos modos de falla se mantienen sin cambios en este análisis, para los modos de falla de Reducibles Deseables e Inaceptables se ha asignado \$12,849.2 USD en concepto de capacitaciones y plan de entrenamiento con proveedores externos, para reducir el 10% en la frecuencia de falla (FF) y su tiempo medio de reparación (MTTR) de estos modos de falla. Las necesidades de capacitaciones identificadas se muestran resumidas en el Anexo E y Anexo F. Para ver el detalle de los planes de mantenimiento y el desarrollo de RCM se puede consultar el Anexo B Anexo C y Anexo D, y para consultar la programación de este se puede observar en el Anexo G: Programación de mantenimiento anual.

#### 4.2 Optimización de planes de mantenimiento

En esta sección se comparará los resultados obtenidos en los planes de mantenimiento producto del análisis de RCM respecto a los planes de mantenimiento actuales. Esto se muestra en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Comparativa de cantidad de planes, horas de mantenimiento preventivo requerido, horas hombre requeridas y costos de mantenimiento de plan de mantenimiento actual contra propuesta producto de RCM.

Item	Actual	Propuesto	Reducción (Variación)
<b>Cantidad de planes</b>	102	49	52%
<b>Cantidad de horas de preventivo</b>	1222.97	703.2	43%
<b>Horas Hombre requeridas / año</b>	1640.71	1166.1	29%
<b>Costos de mantenimiento preventivo</b>	\$284,870.91	\$223,230.18	21.6%

Fuente: Elaboración propia.

Resaltar, cómo se indicó en la metodología, que los 156 modos de falla serán atacados con 119 tareas propuestas, ya que distintos modos de falla son atendidos por una misma tarea propuesta o actividad. En la Tabla 4.4 se muestra como en cada uno de los ítems mencionados se tiene una reducción, mostrando como se han optimizado los planes de mantenimiento preventivo. La cantidad de planes propuestos son 49, que incluyen las 119 actividades mencionadas en la Tabla 4.2 y que fueron agrupadas dentro de dichos planes, adicional a la reducción de planes, la principal optimización radica en la reducción de horas requeridas para ejecutar estas actividades, horas hombre necesarias y costos asociados a la ejecución de las tareas. El monto total reducido del costo del plan de mantenimiento es de \$61,639.72 USD, lo que representa una

reducción del 22% del costo de mantenimiento preventivo, aquí ya incluyendo mano de obra, materiales, herramientas y costos de capacitación.

#### 4.3 Mejora de disponibilidad y ahorro potencial.

Debido a la implementación de RCM se plantea una reducción de horas de paros debido a fallas de la sopladora, la Tabla 4.5 muestra las horas de paro que se tuvo en 2023, las horas de paro propuestas luego de la implementación de RCM, mostrando una reducción de 44.4%.

Tabla 4.5. Comparativa de reducción de horas de paro actuales contra propuestas por la implementación de RCM.

Horas de Fallo / Año (2023)	Horas de Fallo / Año (Propuesto)	Reducción
584.72	324.99	44.4%

Fuente: Elaboración propia.

Sabiendo que las horas productivas de esta línea fueron 4,857.66 hr en 2023, las horas de paro reales en 2023, las horas de paro propuestas por RCM y utilizando la (Ec. 2-6 se obtiene la disponibilidad actual del equipo, en la Tabla 4.6 se compara con la propuesta producto de la implementación de RCM.

Tabla 4.6. Mejora propuesta de la disponibilidad de la sopladora de botellas producto de la implementación de RCM

Factor (A)	Disponibilidad (%)
Real (2023)	89.26
Propuesta RCM	93.73
<b>Diferencia</b>	<b>4.47</b>

Fuente: Elaboración propia.

Producto de la implementación de RCM y la mejora de frecuencia de falla y tiempo medio solución de la falla (FF y MTTR) planteada, se tiene una reducción en el costo de improductividad debido a fallos, lo que conlleva a un ahorro potencial debido a reducción de fallas de \$645,109.23 USD, lo que representa el 36.3% del costo por indisponibilidad actual, como se encuentra representado en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7. Propuesta de reducción de costos por improductividad debido a fallos (CIF) producto de la implementación de RCM.

CIF (Actual)	CIF (Propuesto)	Ahorro Potencial por reducción de fallas / Año	Reducción
--------------	-----------------	--	-----------

\$1,774,205.23	\$1,129,096.13	<b>\$645,109.23</b>	<b>36.3%</b>
----------------	----------------	---------------------	--------------

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 4.8 se muestra el resumen de los ahorros potenciales producción de la reducción de costos de mantenimiento preventivo tomados de la Tabla 4.4 y la reducción de costos por improductividad de fallos tomado de la Tabla 4.7, teniendo así un ahorro potencial anual de \$706,749.96 USD lo que representa una reducción del 34.32%.

Tabla 4.8. Resumen de ahorro potencial al año debido a reducción de costos de mantenimiento preventivo y reducción de costos de improductividad por fallas.

Item	Valor Actual	Valor Propuesto	Ahorro Potencial / Año	Reducción
costos por improductividad debido a fallos	\$1,774,205.23	\$1,129,096.13	\$645,109.23	36.36%
Costo de mantenimiento preventivo	\$284,870.91	\$223,230.18	\$61,640.73	21.64%
<b>Total</b>	<b>\$2,059,076.14</b>	<b>\$1,352,326.18</b>	<b>\$706,749.96</b>	<b>34.32%</b>

Fuente: Elaboración propia.



## CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

La comparación entre las prácticas de mantenimiento recomendadas en la literatura y las políticas actuales de la compañía revela una brecha significativa en el direccionamiento efectivo de recursos, particularmente en la definición de prioridades. Aunque la compañía ya realiza monitoreo de condición utilizando tecnologías como ultrasonido, vibraciones y termografías, la falta de una priorización estructurada, como la que proporciona el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), limita la efectividad de estos esfuerzos. Por lo tanto, fortalecer los programas de mantenimiento mediante una correcta y dinámica aplicación del RCM es no solo relevante, sino crucial. Es importante destacar que el RCM no es una solución estática; requiere una reevaluación y ajuste continuo. Esta estrategia permite una asignación de recursos más eficiente y alineada con los desafíos actuales de la compañía, garantizando que las prioridades se mantengan actualizadas y enfocadas en la resolución de los problemas más críticos.

El modelo de optimización del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) ha evidenciado brechas significativas en la medición de indicadores clave dentro de la compañía. Actualmente, el MTTF y la frecuencia de fallas se miden a nivel de máquina y no por componentes específicos, lo que limita la precisión en la identificación de fallos críticos. Asimismo, el MTTR, que se calcula manualmente por componentes, y la disponibilidad, evaluada a nivel de línea en lugar de equipo o componente, requieren un enfoque más granular. La introducción del concepto de costo de indisponibilidad por fallos resalta la necesidad de adoptar un análisis más profundo de los impactos económicos.

El análisis de los modelos estadísticos aplicados a la confiabilidad y la definición de frecuencias de intervención en la tesis permitió establecer una categorización de los componentes y de las intervenciones, le brindo al equipo natural una visualización sobre el enfoque hacia cual se dirigen. Priorización realizada a partir del enfoque de relevancia de la valorización de fallos ocultos y no ocultos y el costo total de mantenimiento para la optimización de programas de mantenimiento. A través del RCM, se identificaron 156 modos de falla y 68 componentes mantenibles, de los cuales 44 requieren atención prioritaria, permitiendo una mejor orientación de los recursos. Esto contrasta con los 37 componentes y 539 modos de falla categorizados previamente, sin una estandarización adecuada.

La comparación entre el plan de mantenimiento propuesto por RCM y el plan de mantenimiento actual de la compañía demuestra mejoras significativas en la disponibilidad del equipo y en la reducción de costos operativos. El plan propuesto, enfocado en priorizar los 44 modos de falla inaceptables de un total de 156

identificados, proyecta una reducción del 44.4% en las horas de falla no planeadas, comparado con las prácticas de 2023. Esta mejora en la eficiencia operativa se traduce en un aumento del 4.47% en la disponibilidad de la máquina, lo que representa un ahorro potencial de \$645,109.23 USD lo que representa el 36.36%, del Costo de indisponibilidad actual .Además, el nuevo plan de mantenimiento propuesto a partir de RCM se reduciría \$61,640.73 USD lo que representa un 21.6% del costo de mantenimiento preventivo actual, optimizando así el uso de los recursos y alineando mejor los esfuerzos de mantenimiento con las necesidades críticas de la operación. Estos resultados subrayan la eficacia del RCM en proporcionar un enfoque estructurado y orientado a la mejora continua, superando las limitaciones del plan actual y ofreciendo un camino claro hacia la optimización del rendimiento operativo.

## 5.2 Recomendaciones

Es fundamental que la compañía revise y ajuste su programa de toma de datos para alinearlo con la estructura de equipos y elementos mantenibles identificados a través del análisis RCM. Se recomienda una mayor granularidad en la recolección de datos, enfocándose en la caracterización detallada de los modos de falla a nivel de componente, en lugar de a nivel de máquina. Esto permitirá una mejor identificación y priorización de fallas críticas, optimizando los recursos destinados al mantenimiento y mejorando la precisión en la toma de decisiones estratégicas.

Para garantizar la adopción exitosa de las nuevas políticas de mantenimiento y metodologías derivadas del RCM, es crucial invertir en la capacitación continua del personal. Para ello, es indispensable seguir un modelo de entrenamiento que permita identificar las habilidades detalladas del personal y, así, desarrollar un programa de capacitación adecuado. La formación en conceptos como la evaluación de frecuencia de fallas, la implementación de modelos de confiabilidad y la utilización de herramientas avanzadas de análisis permitirá a la compañía mantenerse a la vanguardia en la gestión del mantenimiento. Esta inversión en conocimiento fortalecerá la capacidad de la compañía para analizar y mejorar la confiabilidad de sus equipos. No obstante, debe considerarse el impacto de estas capacitaciones en los costos derivados de contrataciones adicionales para cubrir ausencias, horas extras o la posible externalización de servicios.

La adopción de modelos dinámicos de ajuste para frecuencias de inspecciones y mantenimiento permitirá a la compañía optimizar no solo los costos directos asociados al mantenimiento, sino también otros gastos críticos, como el tiempo de parada requerido. Se recomienda implementar estas metodologías dinámicas para desarrollar estrategias que reduzcan los tiempos de inactividad actuales, lo que resultará en mejoras significativas en la eficiencia operativa y en la disponibilidad de los equipos.

Finalmente, se recomienda que futuras investigaciones exploren la implementación de inteligencia artificial para la segregación y análisis de datos de mantenimiento. El uso de tecnologías de IA podría mejorar significativamente la precisión en la clasificación de fallas y la priorización de componentes críticos, permitiendo una toma de decisiones más informada y eficiente, y potenciando las capacidades del RCM en la compañía

## REFERENCIAS

- 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. In Ciencia Ed. (IMIQ) (Vol. 25, Issue 1).*
- Ashurst, P. R. (2005). *Chemistry and technology of soft drinks and fruit juices. Blackwell Pub.*
- Assis, R., & Marques, P. C. (2021). *A dynamic methodology for setting up inspection time intervals in conditional preventive maintenance. Applied Sciences (Switzerland), 11(18).*  
<https://doi.org/10.3390/app11188715>
- Badía, F. G., Berrade, M. D., & Campos, C. A. (2002). *Optimal inspection and preventive maintenance of units with revealed and unrevealed failures. Reliability Engineering & System Safety, 78(2), 157–163.*  
[https://doi.org/10.1016/S0951-8320\(02\)00154-0](https://doi.org/10.1016/S0951-8320(02)00154-0)
- Bahrami-Ghasrhami, K., Price, J. W. H., & Mathew, J. (1998). *Optimum inspection frequency for manufacturing systems. International Journal of Quality & Reliability Management, 15(3), 250–258.*  
<https://doi.org/10.1108/02656719810209437/FULL/XML>
- Balcázar, R. F. (2016). *PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO AUTÓNOMO PARA UNA ETIQUETADORA F45 DE ENVASADO PET.*
- Barker, C. T., & Newby, M. J. (2009). *Optimal non-periodic inspection for a multivariate degradation model. Reliability Engineering & System Safety, 94(1), 33–43.* <https://doi.org/10.1016/J.RESS.2007.03.015>
- Barros, M. (2018). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para máquinas sopladoras de envase PET.*
- Ben, J., Mohamed, A. O., & Muduli, K. (2021). *Effect of Preventive Maintenance on Machine Reliability in a Beverage Packaging Plant. International Journal of System Dynamics Applications, 10(3), 50–66.*  
<https://doi.org/10.4018/ijdsda.2021070104>
- Campbell, J. D., Jardine, A. K. S., & McGlynn, J. (2011). *Asset Management Excellence: Optimizing Equipment Life-Cycle Decisions.*
- Cruz, L., & Miranda, Y. (2003). *Estrategia de Posicionamiento Para la Comercialización del Néctar Tetrapack marca DEL CAMPO en El Salvador.*
- Demartini, M., Pinna, C., Aliakbarian, B., Tonelli, F., & Terzi, S. (2018). *Soft drink supply chain sustainability: A case based approach to identify and explain best practices and key performance indicators. Sustainability (Switzerland), 10(10).* <https://doi.org/10.3390/su10103540>
- Fitriana, R., Saragih, J., & Larasati, D. P. (2020). *Production quality improvement of Yamalube Bottle with Six Sigma, FMEA, and Data Mining in PT. B. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 847(1).* <https://doi.org/10.1088/1757-899X/847/1/012011>

- Flores, K., Quinteros, Christian, & Riera, J. (2023). *Proyecto de Investigación para la Implementación de RCM en Empresa Agroindustrial*.
- Fuentes-Huerta, M. A., González-González, D. S., Cantú-Sifuentes, M., & Praga-Alejo, R. J. (2018). RCM implementation on plastic injection molding machine considering correlated failure modes and small size sample. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 95(9–12), 3465–3473. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-1402-y>
- Gestoni, J. (2021). *Desarrollo de la auditoría integral AMORMS (Asset Management, Operational Reliability & Maintenance Survey), aplicada a los procesos de gestión de activos y mantenimiento de una planta de bebidas carbonatadas*.
- Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(6), 910–936. <https://doi.org/10.1108/JMTM-02-2018-0057>
- González, L. (2015). *PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA UNA MÁQUINA TERMOENFARDADORA AUTOMÁTICA PARA UNA EMPRESA DE BEBIDAS CARBONATADAS*.
- Grueso, M., & Acosta, L. (2020). *PLAN DE MEJORAMIENTO DE SEGURIDAD EN MAQUINARIA, APLICADO A LA “ENVOLVEDORA DE PALLETS PALETIZADORA FG-2000BX” BAJO LA GUÍA TÉCNICA COLOMBIANA 45 Y LA NORMA ISO 138492015 EN UNA EMPRESA DEL SECTOR FARMACÉUT*.
- Hernández, M. A. (2012). *Análisis y solución de los defectos de la preforma PET en la botella de tres litros de bebidas carbonatadas en la Embotelladora Nacional S.A. durante el periodo de Octubre a Diciembre del año 2011*.
- Huamán, E. (2018). *Línea de transporte aéreo neumático para envases pet de agua de mesa de 625ml para cubrir la demanda de producción de 10 000bot/h en una empresa embotelladora*.
- Inyama, G. K., & Oke, S. A. (2021). Maintenance downtime evaluation in a process bottling plant. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 38(1), 229–248. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-12-2018-0340>
- Ishola, B. (2019). Handling waste in manufacturing: Encouraging re-manufacturing, recycling and re-using in United States of America. *Procedia Manufacturing*, 39, 721–726. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.444>
- ISO 14224. (2006). *ISO 14224 - Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*.
- Krones. (2023). *Ergomatic Para el etiquetado con adhesivo frío*.

- Kuntz, P. A., Christie, R. D., & Venkata, S. S. (2001). *A reliability centered optimal visual inspection model for distribution feeders*. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 16(4), 718–723. <https://doi.org/10.1109/61.956761>
- Li, W., & Pham, H. (2005). *Reliability modeling of multi-state degraded systems with multi-competing failures and random shocks*. *IEEE Transactions on Reliability*, 54(2), 297–303. <https://doi.org/10.1109/TR.2005.847278>
- Mathew, S. (2004). *Optimal inspection frequency: A tool for maintenance planning/forecasting*. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 21(7), 763–771. <https://doi.org/10.1108/02656710410549109/FULL/XML>
- Mostacero, A. (2018). *Optimización del mantenimiento planeado en una línea de producción de bebidas carbonatadas*.
- Moubray, J. (1997). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad*.
- Olmos, S., & Fuentes, S. (2019). *PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA PALETIZADORA DE CAJAS EN LA PLANTA DE EMBOTELLADORA COCA-COLA FEMSA LÍNEA 2 DE PRODUCCIÓN*.
- Parra, C., & Crespo, A. (2016). *Técnicas de Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicadas en el proceso de Gestión de Activos*.
- Paz Salazar, R., & Valerio Broncano, D. A. (2019). *Diseño de un transportador electromecánico recto de una hilera con banda para botellas con bebidas gasificadas*.
- Pinna, C., Demartini, M., Tonelli, F., & Terzi, S. (2018). *How Soft Drink Supply Chains drive sustainability: Key Performance Indicators (KPIs) identification*. *Procedia CIRP*, 72, 862–867. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.04.008>
- Roldán, M., Baiza, R., Irizari, R., & Sánchez, R. (2022). *Caso de estudio: Embotelladora de productos no carbonatados / Sopladora de Botellas*.
- Rouhan, A., & Schoefs, F. (2003). *Probabilistic modeling of inspection results for offshore structures*. *Structural Safety*, 25(4), 379–399. [https://doi.org/10.1016/S0167-4730\(03\)00016-X](https://doi.org/10.1016/S0167-4730(03)00016-X)
- Silvestri, L., Forcina, A., Introna, V., Santolamazza, A., & Cesarotti, V. (2020). *Maintenance transformation through Industry 4.0 technologies: A systematic literature review*. *Computers in Industry*, 123. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103335>
- Steen, D. P., & Ashurst, P. R. (2006). *Edited by Carbonated Soft Drinks Formulation and Manufacture*.
- Tsarouhas, P. (2018). *Reliability, availability and maintainability (RAM) analysis for wine packaging production line*. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 35(3), 821–842. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-02-2017-0026>

- Ulansky, V., & Raza, A. (2023). *Classification of Systems and Maintenance Models. Aerospace, 10(5).*  
<https://doi.org/10.3390/aerospace10050456>
- Wang, Y., Li, X., Chen, J., & Liu, Y. (2022a). *A condition-based maintenance policy for multi-component systems subject to stochastic and economic dependencies. Reliability Engineering and System Safety, 219.*  
<https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.108174>
- Wang, Y., Li, X., Chen, J., & Liu, Y. (2022b). *A condition-based maintenance policy for multi-component systems subject to stochastic and economic dependencies. Reliability Engineering and System Safety, 219.*  
<https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.108174>
- Xia, T., Si, G., Shi, G., Zhang, K., & Xi, L. (2022). *Optimal selective maintenance scheduling for series-parallel systems based on energy efficiency optimization. Applied Energy, 314.*  
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.118927>
- Yavuz, O., Doğan, E., Carus, E., & Görgülü, A. (2019). *Reliability Centered Maintenance Practices in Food Industry. Procedia Computer Science, 158, 227–234.* <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2019.09.046>
- Yugsi, D. (2021a). *Tecnología de fabricación de moldes para optimizar el proceso de moldeo por soplado de envases PET en una planta embotelladora de bebidas.*
- Yugsi, D. (2021b). *Tecnología de fabricación de moldes para optimizar el proceso de moldeo por soplado de envases PET en una planta embotelladora de bebidas.*
- Zeng, P., Shao, W., & Hao, Y. (2021). *Study on preventive maintenance strategies of filling equipment based on reliability-centered maintenance. Tehnicki Vjesnik, 28(2), 689–697.*  
<https://doi.org/10.17559/TV-20190404054849>
- Zhang, C. W. (2021). *Weibull parameter estimation and reliability analysis with zero-failure data from high-quality products. Reliability Engineering and System Safety, 207.*  
<https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.107321>

## ANEXOS

### Anexo A: Clasificación de componentes y definición de modos de falla de sopladora de botellas.

Partición	Taxonomía	Elemento	Funciones	Fallas Funcionales	Modos de Falla
1.01.01	Alimentación de Preforma/ACCIONAMIENTO PRINCIPAL/Servomotor	Servomotor	Otorgar movimiento mecánico al accionamiento principal	No Otorgar movimiento mecánico al accionamiento principal	Energía/voltaje inapropiado
1.01.01	Alimentación de Preforma/ACCIONAMIENTO PRINCIPAL/Servomotor	Servomotor	Otorgar movimiento mecánico al accionamiento principal	No Otorgar movimiento mecánico al accionamiento principal	Sobrecalentamiento
1.01.02	Alimentación de Preforma/ACCIONAMIENTO PRINCIPAL/Reductor de velocidad	Reductor de velocidad	Reducir velocidad y aumentar torque de servomotor a accionamiento principal	No Reducir velocidad y aumentar torque de servomotor a accionamiento principal	Fuga
1.01.02	Alimentación de Preforma/ACCIONAMIENTO PRINCIPAL/Reductor de velocidad	Reductor de velocidad	Reducir velocidad y aumentar torque de servomotor a accionamiento principal	No Reducir velocidad y aumentar torque de servomotor a accionamiento principal	Desgaste
1.02.01	Alimentación de Preforma/SISTEMA DE EYECCION PREFORMA/Eyector de preforma	Eyector de preforma	Sacar preforma producidas sin condiciones de operación óptimas.	No Sacar preforma producidas sin condiciones de operación óptimas.	Fuga
1.02.01	Alimentación de Preforma/SISTEMA DE EYECCION PREFORMA/Eyector de preforma	Eyector de preforma	Sacar preforma producidas sin condiciones de operación óptimas.	No Sacar preforma producidas sin condiciones de operación óptimas.	Desgaste
1.03.01	Alimentación de Preforma/PLACAS DE TRANSFERENCIA/Bloqueador de entrada	Bloqueador de entrada	Controlar alimentación de preforma	No Controlar alimentación de preforma	Fuga
1.03.01	Alimentación de Preforma/PLACAS DE TRANSFERENCIA/Bloqueador de entrada	Bloqueador de entrada	Controlar alimentación de preforma	No Controlar alimentación de preforma	Desgaste
10.01.01	Panel Hidráulico/DISTRIBUCIÓN Y MODULACIÓN DE AGUA/Válvulas de agua	Válvulas de agua	Permitir el ingreso de agua	No Permitir el ingreso de agua	Fuga
10.01.02	Panel Hidráulico/DISTRIBUCIÓN Y MODULACIÓN DE AGUA/Ductos de agua	Ductos de agua	Distribuir agua	No Distribuir agua	Fuga
10.02.01	Panel Hidráulico/FILTRACION DE AGUA /Filtros de agua	Filtros de agua	Limpiar agua	No Limpiar agua	Contaminación
10.02.02	Panel Hidráulico/FILTRACION DE AGUA /Ductos de agua	Ductos de agua	Distribuir agua	No Distribuir agua	Fuga
2.01.01	Horno/ACCIONAMIENTO PRINCIPAL/Motor 1	Motor 1	Otorgar movimiento mecánico al	No Otorgar movimiento mecánico al accionamiento principal	Desgaste

			accionamiento principal		
2.01.01	Horno/ACCIONAMIENTO PRINCIPAL/Motor 1	Motor 1	Otorgar movimiento mecánico al accionamiento principal	No Otorgar movimiento mecánico al accionamiento principal	Atascamiento
2.01.01	Horno/ACCIONAMIENTO PRINCIPAL/Motor 1	Motor 1	Otorgar movimiento mecánico al accionamiento principal	No Otorgar movimiento mecánico al accionamiento principal	Vibración
2.01.01	Horno/ACCIONAMIENTO PRINCIPAL/Motor 1	Motor 1	Otorgar movimiento mecánico al accionamiento principal	No Otorgar movimiento mecánico al accionamiento principal	Sobrecalentamiento
2.01.02	Horno/ACCIONAMIENTO PRINCIPAL/Reductor de velocidad 1	Reductor de velocidad 1	Reducir velocidad y aumentar torque de servomotor a accionamiento principal	No Reducir velocidad y aumentar torque de servomotor a accionamiento principal	Desgaste
2.01.02	Horno/ACCIONAMIENTO PRINCIPAL/Reductor de velocidad 1	Reductor de velocidad 1	Reducir velocidad y aumentar torque de servomotor a accionamiento principal	No Reducir velocidad y aumentar torque de servomotor a accionamiento principal	Fuga
2.01.03	Horno/ACCIONAMIENTO PRINCIPAL/Motor 2	Motor 2	Otorgar movimiento mecánico al accionamiento principal	No Otorgar movimiento mecánico al accionamiento principal	Desgaste
2.01.03	Horno/ACCIONAMIENTO PRINCIPAL/Motor 2	Motor 2	Otorgar movimiento mecánico al accionamiento principal	No Otorgar movimiento mecánico al accionamiento principal	Atascamiento
2.01.03	Horno/ACCIONAMIENTO PRINCIPAL/Motor 2	Motor 2	Otorgar movimiento mecánico al accionamiento principal	No Otorgar movimiento mecánico al accionamiento principal	Vibración
2.01.03	Horno/ACCIONAMIENTO PRINCIPAL/Motor 2	Motor 2	Otorgar movimiento mecánico al accionamiento principal	No Otorgar movimiento mecánico al accionamiento principal	Sobrecalentamiento
2.01.04	Horno/ACCIONAMIENTO PRINCIPAL/Reductor de velocidad 2	Reductor de velocidad 2	Reducir velocidad y aumentar torque de servomotor a accionamiento principal	No Reducir velocidad y aumentar torque de servomotor a accionamiento principal	Desgaste
2.01.04	Horno/ACCIONAMIENTO PRINCIPAL/Reductor de velocidad 2	Reductor de velocidad 2	Reducir velocidad y aumentar torque de servomotor a accionamiento principal	No Reducir velocidad y aumentar torque de servomotor a accionamiento principal	Fuga
2.02.01	Horno/CADENA DE HORNO/Eje tracción	Eje tracción	Transmisor movimiento y dar soporte a cadena de horno	No Transmitir movimiento y dar soporte a cadena de horno	Desgaste
2.02.02	Horno/CADENA DE HORNO/Eje inducido	Eje inducido	Dar soporte a cadena de horno	No Dar soporte a cadena de horno	Desgaste
2.02.03	Horno/CADENA DE HORNO/Cadena de Mandriles	Cadena de Mandriles	Sostener y mover mandriles	No Sostener y mover mandriles	Desgaste
2.02.03	Horno/CADENA DE HORNO/Cadena de Mandriles	Cadena de Mandriles	Sostener y mover mandriles	No Sostener y mover mandriles	Atascamiento

2.02.03	Horno/CADENA DE HORNO/Cadena Mandriles	DE de	Cadena Mandriles de	Sostener y mover mandriles	No Sostener y mover mandriles	Soltura
2.02.03	Horno/CADENA DE HORNO/Cadena Mandriles	DE de	Cadena Mandriles de	Sostener y mover mandriles	No Sostener y mover mandriles	Soltura
2.02.03	Horno/CADENA DE HORNO/Cadena Mandriles	DE de	Cadena Mandriles de	Sostener y mover mandriles	No Sostener y mover mandriles	Soltura
2.03.01	Horno/MODULOS DE CALENTAMIENTO/Lámparas incandescentes	DE	Lámparas incandescentes	Calentar preforma	No Calentar preforma	Sin energía/voltaje
2.03.01	Horno/MODULOS DE CALENTAMIENTO/Lámparas incandescentes	DE	Lámparas incandescentes	Calentar preforma	No Calentar preforma	Sin energía/voltaje
2.03.01	Horno/MODULOS DE CALENTAMIENTO/Lámparas incandescentes	DE	Lámparas incandescentes	Calentar preforma	No Calentar preforma	Desgaste
2.03.01	Horno/MODULOS DE CALENTAMIENTO/Lámparas incandescentes	DE	Lámparas incandescentes	Calentar preforma	No Calentar preforma	Energía/voltaje inapropiado
2.03.01	Horno/MODULOS DE CALENTAMIENTO/Lámparas incandescentes	DE	Lámparas incandescentes	Calentar preforma	No Calentar preforma	Cortocircuito
2.03.01	Horno/MODULOS DE CALENTAMIENTO/Lámparas incandescentes	DE	Lámparas incandescentes	Calentar preforma	No Calentar preforma	Sin energía/voltaje
2.04.01	Horno/DISTRIBUCIÓN DE AGUA FRIA/Ductos de agua fría		Ductos de agua fría	Conducir agua a puntos de enfriamiento	No Conducir agua a puntos de enfriamiento	Fuga
2.05.01	Horno/SISTEMA DE VENTILACION HORNOS/Turbina enfriamiento	DE	Turbina enfriamiento	Inducir aire de enfriamiento para preforma	No Inducir aire de enfriamiento para preforma	Desgaste
2.05.01	Horno/SISTEMA DE VENTILACION HORNOS/Turbina enfriamiento	DE	Turbina enfriamiento	Inducir aire de enfriamiento para preforma	No Inducir aire de enfriamiento para preforma	Vibración
2.05.01	Horno/SISTEMA DE VENTILACION HORNOS/Turbina enfriamiento	DE	Turbina enfriamiento	Inducir aire de enfriamiento para preforma	No Inducir aire de enfriamiento para preforma	Sobrecalentamiento
2.05.01	Horno/SISTEMA DE VENTILACION HORNOS/Turbina enfriamiento	DE	Turbina enfriamiento	Inducir aire de enfriamiento para preforma	No Inducir aire de enfriamiento para preforma	Atascamiento
3.01.01	Estrella de Preforma/ACCIONAMIENTO PRINCIPAL/Servomotor		Servomotor	Otorgar movimiento mecánico al accionamiento principal	No Otorgar movimiento mecánico al accionamiento principal	Sobrecalentamiento
3.01.01	Estrella de Preforma/ACCIONAMIENTO PRINCIPAL/Servomotor		Servomotor	Otorgar movimiento mecánico al accionamiento principal	No Otorgar movimiento mecánico al accionamiento principal	Energía/voltaje inapropiado
3.01.02	Estrella de Preforma/ACCIONAMIENTO PRINCIPAL/Reductor		Reductor	Reducir velocidad y aumentar torque de servomotor a accionamiento principal	No Reducir velocidad y aumentar torque de servomotor a accionamiento principal	Desgaste
3.01.02	Estrella de Preforma/ACCIONAMIENTO PRINCIPAL/Reductor		Reductor	Reducir velocidad y aumentar torque de servomotor a accionamiento principal	No Reducir velocidad y aumentar torque de servomotor a accionamiento principal	Fuga
3.01.03	Estrella de Preforma/ACCIONAMIENTO PRINCIPAL/Reductor		Eje de Estrella	Transferir movimiento a estrella de preforma	No Transferir movimiento a estrella de preforma	Desgaste

	NTO PRINCIPAL/Eje de Estrella				
3.02.01	Estrella de Preforma/BRAZOS DE TRANSFERENCIA/Brazo de transferencia	Brazo de transferencia	Sujetar pinzas de transferencia	No Sujetar pinzas de transferencia	Desajuste
3.02.02	Estrella de Preforma/BRAZOS DE TRANSFERENCIA/Pinzas	Pinzas	Tomar por el cuello la preforma	No Tomar por el cuello la preforma	Atascamiento
3.02.02	Estrella de Preforma/BRAZOS DE TRANSFERENCIA/Pinzas	Pinzas	Tomar por el cuello la preforma	No Tomar por el cuello la preforma	desgaste
3.02.02	Estrella de Preforma/BRAZOS DE TRANSFERENCIA/Pinzas	Pinzas	Tomar por el cuello la preforma	No Tomar por el cuello la preforma	desgaste
3.02.02	Estrella de Preforma/BRAZOS DE TRANSFERENCIA/Pinzas	Pinzas	Tomar por el cuello la preforma	No Tomar por el cuello la preforma	desgaste
3.02.03	Estrella de Preforma/BRAZOS DE TRANSFERENCIA/Levas	Levas	Definir posición de pinzas en tiempo adecuado	No Definir posición de pinzas en tiempo adecuado	Desgaste
3.03.01	Estrella de Preforma/SISTEMA DE EYECCION DE PREFORMA/Eyector de Preforma	Eyector de Preforma	Sacar preforma producidas sin condiciones de operación óptimas.	No Sacar preforma producidas sin condiciones de operación óptimas.	Desgaste
3.03.01	Estrella de Preforma/SISTEMA DE EYECCION DE PREFORMA/Eyector de Preforma	Eyector de Preforma	Sacar preforma producidas sin condiciones de operación óptimas.	No Sacar preforma producidas sin condiciones de operación óptimas.	Fuga
4.01.01	Rueda de Soplado/ESTACIONES DE SOPLADO/Moldes	Moldes	Otorgar forma de botella a preforma	No Otorgar forma de botella a preforma	Alineamiento/espacio
4.01.01	Rueda de Soplado/ESTACIONES DE SOPLADO/Moldes	Moldes	Otorgar forma de botella a preforma	No Otorgar forma de botella a preforma	Desgaste
4.01.01	Rueda de Soplado/ESTACIONES DE SOPLADO/Moldes	Moldes	Otorgar forma de botella a preforma	No Otorgar forma de botella a preforma	Soltura
4.01.01	Rueda de Soplado/ESTACIONES DE SOPLADO/Moldes	Moldes	Otorgar forma de botella a preforma	No Otorgar forma de botella a preforma	Atascamiento
4.01.01	Rueda de Soplado/ESTACIONES DE SOPLADO/Moldes	Moldes	Otorgar forma de botella a preforma	No Otorgar forma de botella a preforma	Soltura
4.01.01	Rueda de Soplado/ESTACIONES DE SOPLADO/Moldes	Moldes	Otorgar forma de botella a preforma	No Otorgar forma de botella a preforma	Soltura
4.01.01	Rueda de Soplado/ESTACIONES DE SOPLADO/Moldes	Moldes	Otorgar forma de botella a preforma	No Otorgar forma de botella a preforma	Soltura
4.01.01	Rueda de Soplado/ESTACIONES DE SOPLADO/Moldes	Moldes	Otorgar forma de botella a preforma	No Otorgar forma de botella a preforma	Desgaste
4.01.01	Rueda de Soplado/ESTACIONES DE SOPLADO/Moldes	Moldes	Otorgar forma de botella a preforma	No Otorgar forma de botella a preforma	Fuga
4.01.01	Rueda de Soplado/ESTACIONES DE SOPLADO/Moldes	Moldes	Otorgar forma de botella a preforma	No Otorgar forma de botella a preforma	Sobrecalentamiento
4.01.02	Rueda de Soplado/ESTACIONES	Varilla estirado	Estirar preforma durante soplado	No Estirar preforma durante soplado	Rotura

	DE SOPLADO/Varilla de estirado				
4.01.02	Rueda de Soplado/ESTACIONES DE SOPLADO/Varilla de estirado	Varilla de estirado	de Estirar preforma durante soplado	No Estirar preforma durante soplado	Desgaste
4.01.02	Rueda de Soplado/ESTACIONES DE SOPLADO/Varilla de estirado	Varilla de estirado	de Estirar preforma durante soplado	No Estirar preforma durante soplado	Alineamiento/espacio
4.01.02	Rueda de Soplado/ESTACIONES DE SOPLADO/Varilla de estirado	Varilla de estirado	de Estirar preforma durante soplado	No Estirar preforma durante soplado	Cortocircuito
4.01.03	Rueda de Soplado/ESTACIONES DE SOPLADO/Mangueras de enfriamiento	Mangueras de enfriamiento	de Suministrar fluido de trabajo para enfriado de moles	No Suministrar fluido de trabajo para enfriado de moles	Desgaste
4.02.01	Rueda de Soplado/DISTRIBUCION DE AIRE/Bloque válvula neumáticas	Bloque válvula neumáticas	Permitir ingreso de aire en las distintas etapas de soplado	No Permitir ingreso de aire en las distintas etapas de soplado	Fuga
4.02.01	Rueda de Soplado/DISTRIBUCION DE AIRE/Bloque válvula neumáticas	Bloque válvula neumáticas	Permitir ingreso de aire en las distintas etapas de soplado	No Permitir ingreso de aire en las distintas etapas de soplado	Contaminación
4.02.01	Rueda de Soplado/DISTRIBUCION DE AIRE/Bloque válvula neumáticas	Bloque válvula neumáticas	Permitir ingreso de aire en las distintas etapas de soplado	No Permitir ingreso de aire en las distintas etapas de soplado	Contaminación
4.02.01	Rueda de Soplado/DISTRIBUCION DE AIRE/Bloque válvula neumáticas	Bloque válvula neumáticas	Permitir ingreso de aire en las distintas etapas de soplado	No Permitir ingreso de aire en las distintas etapas de soplado	Bloqueo / taponamiento
4.02.01	Rueda de Soplado/DISTRIBUCION DE AIRE/Bloque válvula neumáticas	Bloque válvula neumáticas	Permitir ingreso de aire en las distintas etapas de soplado	No Permitir ingreso de aire en las distintas etapas de soplado	Desgaste
4.02.01	Rueda de Soplado/DISTRIBUCION DE AIRE/Bloque válvula neumáticas	Bloque válvula neumáticas	Permitir ingreso de aire en las distintas etapas de soplado	No Permitir ingreso de aire en las distintas etapas de soplado	Desgaste
4.02.01	Rueda de Soplado/DISTRIBUCION DE AIRE/Bloque válvula neumáticas	Bloque válvula neumáticas	Permitir ingreso de aire en las distintas etapas de soplado	No Permitir ingreso de aire en las distintas etapas de soplado	Desgaste
4.02.02	Rueda de Soplado/DISTRIBUCION DE AIRE/Sistema de compensación y desfogue	Sistema de compensación y desfogue	de Amortigua el proceso de expansión de las botellas dentro del molde	No Amortigua el proceso de expansión de las botellas dentro del molde	Desgaste
4.02.02	Rueda de Soplado/DISTRIBUCION DE AIRE/Sistema de compensación y desfogue	Sistema de compensación y desfogue	de Amortigua el proceso de expansión de las botellas dentro del molde	No Amortigua el proceso de expansión de las botellas dentro del molde	Contaminación
4.02.02	Rueda de Soplado/DISTRIBUCION DE AIRE/Sistema de compensación y desfogue	Sistema de compensación y desfogue	de Amortigua el proceso de expansión de las botellas dentro del molde	No Amortigua el proceso de expansión de las botellas dentro del molde	Bloqueo / taponamiento
4.02.02	Rueda de Soplado/DISTRIBUCION DE AIRE/Sistema de compensación y desfogue	Sistema de compensación y desfogue	de Amortigua el proceso de expansión de las botellas dentro del molde	No Amortigua el proceso de expansión de las botellas dentro del molde	Fuga

4.03.01	Rueda de Soplado/SISTEMA DE LEVAS/Levas de Cierre	Levas de Cierre	Cerrar molde durante movimiento de rueda de Soplado	No Cerrar molde durante movimiento de rueda de Soplado	Desgaste
4.03.02	Rueda de Soplado/SISTEMA DE LEVAS/Levas de Apertura	Levas de Apertura	Abrir molde durante movimiento de rueda de Soplado	No Abrir molde durante movimiento de rueda de Soplado	Desgaste
4.04.01	Rueda de Soplado/ACCIONAMIENTO PRINCIPAL/Servomotor	Servomotor	Otorgar movimiento mecánico al accionamiento principal	No Otorgar movimiento mecánico al accionamiento principal	Sobrecalentamiento
4.04.01	Rueda de Soplado/ACCIONAMIENTO PRINCIPAL/Servomotor	Servomotor	Otorgar movimiento mecánico al accionamiento principal	No Otorgar movimiento mecánico al accionamiento principal	Energía/voltaje inapropiado
4.04.03	Rueda de Soplado/ACCIONAMIENTO PRINCIPAL/Piñones de rueda	Piñones de rueda	Transmitir la potencia mecánica del servomotor a la rueda de soplado	No Transmitir la potencia mecánica del servomotor a la rueda de soplado	Desgaste
4.04.03	Rueda de Soplado/ACCIONAMIENTO PRINCIPAL/Piñones de rueda	Piñones de rueda	Transmitir la potencia mecánica del servomotor a la rueda de soplado	No Transmitir la potencia mecánica del servomotor a la rueda de soplado	Desgaste
4.05.01	Rueda de Soplado/SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA/Junta rotativa de agua	Junta rotativa de agua	Distribuir el agua en los ductos desde una sola entrada hacia toda la rueda de soplado	No Distribuir el agua en los ductos desde una sola entrada hacia toda la rueda de soplado	Fuga
4.05.02	Rueda de Soplado/SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA/Mangueras	Mangueras	Conectar la consola a la junta rotativa de agua	No Conectar la consola a la junta rotativa de agua	Rotura
4.06.01	Rueda de Soplado/SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE/Junta rotativa de aire	Junta rotativa de aire	Distribuir el aire en los ductos desde una sola entrada hacia toda la rueda de soplado	No Distribuir el aire en los ductos desde una sola entrada hacia toda la rueda de soplado	Fuga
4.06.02	Rueda de Soplado/SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE/Anillo de soplado presoplado	Anillo de soplado presoplado	distribuir el aire a la presión correcta para presoplado	No distribuir el aire a la presión correcta para presoplado	Fuga
4.06.02	Rueda de Soplado/SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE/Anillo de soplado presoplado	Anillo de soplado presoplado	distribuir el aire a la presión correcta para presoplado	No distribuir el aire a la presión correcta para presoplado	Cortocircuito
4.06.02	Rueda de Soplado/SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE/Anillo de soplado presoplado	Anillo de soplado presoplado	distribuir el aire a la presión correcta para presoplado	No distribuir el aire a la presión correcta para presoplado	Falla de control
4.06.02	Rueda de Soplado/SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE/Anillo de soplado presoplado	Anillo de soplado presoplado	distribuir el aire a la presión correcta para presoplado	No distribuir el aire a la presión correcta para presoplado	Bloqueo / taponamiento
4.06.03	Rueda de Soplado/SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE/Anillo de soplado presoplado	Anillo de soplado presoplado	distribuir el aire a la presión correcta para presoplado	No distribuir el aire a la presión correcta para presoplado	Fuga
4.06.03	Rueda de Soplado/SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE/Anillo de soplado presoplado	Anillo de soplado presoplado	distribuir el aire a la presión correcta para presoplado	No distribuir el aire a la presión correcta para presoplado	Cortocircuito

4.06.03	Rueda de Soplado/SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE/Anillo de soplado presoplado	Anillo de soplado presoplado	distribuir el aire a la presión correcta para presoplado	No distribuir el aire a la presión correcta para presoplado	Bloqueo / taponamiento
4.06.03	Rueda de Soplado/SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE/Anillo de soplado presoplado	Anillo de soplado presoplado	distribuir el aire a la presión correcta para presoplado	No distribuir el aire a la presión correcta para presoplado	Falla de control
4.06.04	Rueda de Soplado/SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE/Anillo de soplado presoplado	Anillo de soplado presoplado	distribuir el aire a la presión correcta para presoplado	No distribuir el aire a la presión correcta para presoplado	Fuga
4.06.04	Rueda de Soplado/SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE/Anillo de soplado presoplado	Anillo de soplado presoplado	distribuir el aire a la presión correcta para presoplado	No distribuir el aire a la presión correcta para presoplado	Cortocircuito
4.06.04	Rueda de Soplado/SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE/Anillo de soplado presoplado	Anillo de soplado presoplado	distribuir el aire a la presión correcta para presoplado	No distribuir el aire a la presión correcta para presoplado	Falla de control
4.06.04	Rueda de Soplado/SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE/Anillo de soplado presoplado	Anillo de soplado presoplado	distribuir el aire a la presión correcta para presoplado	No distribuir el aire a la presión correcta para presoplado	Bloqueo / taponamiento
4.06.05	Rueda de Soplado/SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE/Anillo de desfogue	Anillo de desfogue	recolectar el aire residual de soplado para utilización en procesos de control	No recolectar el aire residual de soplado para utilización en procesos de control	Fuga
4.06.05	Rueda de Soplado/SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE/Anillo de desfogue	Anillo de desfogue	recolectar el aire residual de soplado para utilización en procesos de control	No recolectar el aire residual de soplado para utilización en procesos de control	Cortocircuito
4.06.05	Rueda de Soplado/SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE/Anillo de desfogue	Anillo de desfogue	recolectar el aire residual de soplado para utilización en procesos de control	No recolectar el aire residual de soplado para utilización en procesos de control	Falla de control
4.06.05	Rueda de Soplado/SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE/Anillo de desfogue	Anillo de desfogue	recolectar el aire residual de soplado para utilización en procesos de control	No recolectar el aire residual de soplado para utilización en procesos de control	Bloqueo / taponamiento
5.01.01	Estrella de Botellas /ACCIONAMIENTO PRINCIPAL/Servomotor	Servomotor	Otorgar movimiento mecánico al accionamiento principal	No Otorgar movimiento mecánico al accionamiento principal	Sobrecalentamiento
5.01.01	Estrella de Botellas /ACCIONAMIENTO PRINCIPAL/Servomotor	Servomotor	Otorgar movimiento mecánico al accionamiento principal	No Otorgar movimiento mecánico al accionamiento principal	Energía/voltaje inapropiado
5.01.02	Estrella de Botellas /ACCIONAMIENTO PRINCIPAL/Reductor	Reductor	Reducir velocidad y aumentar torque de servomotor a accionamiento principal	No Reducir velocidad y aumentar torque de servomotor a accionamiento principal	Fuga
5.01.02	Estrella de Botellas /ACCIONAMIENTO PRINCIPAL/Reductor	Reductor	Reducir velocidad y aumentar torque de servomotor a accionamiento principal	No Reducir velocidad y aumentar torque de servomotor a accionamiento principal	Desgaste
5.02.01	Estrella de Botellas /BRAZOS DE	Brazo de transferencia	Sujetar pinzas de transferencia	No Sujetar pinzas de transferencia	Desajuste

	TRANSFERENCIA/Brazo de transferencia				
5.02.01	Estrella de Botellas /BRAZOS DE TRANSFERENCIA/Brazo de transferencia	Brazo de transferencia	Sujetar pinzas de transferencia	No Sujetar pinzas de transferencia	Desajuste
5.02.02	Estrella de Botellas /BRAZOS DE TRANSFERENCIA/Pinzas	Pinzas	Tomar por el cuello la botella	No Tomar por el cuello la botella	desgaste
5.02.02	Estrella de Botellas /BRAZOS DE TRANSFERENCIA/Pinzas	Pinzas	Tomar por el cuello la botella	No Tomar por el cuello la botella	desgaste
5.02.03	Estrella de Botellas /SISTEMA DE EYECCION DE BOTELLA/Levas	Levas	Definir posición de pinzas en tiempo adecuado	No Definir posición de pinzas en tiempo adecuado	Desgaste
5.03.01	Estrella de Botellas /SISTEMA DE EYECCION DE BOTELLA/Eyector de Botella	Eyector de Botella	Sacar botellas producidas sin condiciones de operación óptimas.	No Sacar botellas producidas sin condiciones de operación óptimas.	Fuga
5.03.01	Estrella de Botellas /SISTEMA DE EYECCION DE BOTELLA/Eyector de Botella	Eyector de Botella	Sacar botellas producidas sin condiciones de operación óptimas.	No Sacar botellas producidas sin condiciones de operación óptimas.	Desgaste
6.01.01	Sistema Eléctrico e instrumentación/SISTEMA DE MONITOREO DE DESPLAZAMIENTO/Sensores inductivos periféricos	Sensores inductivos periféricos	Confirmar posición de preforma/botella	No Confirmar posición de preforma/botella	Energía/voltaje inapropiado
6.02.01	Sistema Eléctrico e instrumentación/SISTEMA MONITOREO PROCESO/Instrumentación de proceso	Instrumentación de proceso	Medir de puntos operativos y de proceso	No Medir de puntos operativos y de proceso	Falla de control
6.02.01	Sistema Eléctrico e instrumentación/SISTEMA MONITOREO PROCESO/Instrumentación de proceso	Instrumentación de proceso	Medir de puntos operativos y de proceso	No Medir de puntos operativos y de proceso	Energía/voltaje inapropiado
6.03.01	Sistema Eléctrico e instrumentación/SISTEMA DE CONTROL/PLC	PLC	Almacenar programación, recibir y entregar señales de mando	No Almacenar programación, recibir y entregar señales de mando	Energía/voltaje inapropiado
6.03.01	Sistema Eléctrico e instrumentación/SISTEMA DE CONTROL/PLC	PLC	Almacenar programación, recibir y entregar señales de mando	No Almacenar programación, recibir y entregar señales de mando	Energía/voltaje inapropiado
6.03.01	Sistema Eléctrico e instrumentación/SISTEMA DE CONTROL/PLC	PLC	Almacenar programación, recibir y entregar señales de mando	No Almacenar programación, recibir y entregar señales de mando	Sobrecalentamiento
6.03.02	Sistema Eléctrico e instrumentación/SISTEMA DE CONTROL/Módulos ACOPOS	Módulos ACOPOS	Controlar servomotores	No Controlar servomotores	Sobrecalentamiento
6.03.02	Sistema Eléctrico e instrumentación/SISTEMA DE CONTROL/Módulos ACOPOS	Módulos ACOPOS	Controlar servomotores	No Controlar servomotores	Energía/voltaje inapropiado
6.03.02	Sistema Eléctrico e instrumentación/SISTEMA DE CONTROL/Módulos ACOPOS	Módulos ACOPOS	Controlar servomotores	No Controlar servomotores	Energía/voltaje inapropiado

	CONTROL/Módulos ACOPOS				
6.04.01	Sistema Eléctrico e instrumentación/SISTEMA DE SEGURIDAD Y PROTECCION/Sensores de seguridad y dispositivos de enclavamiento	Sensores de seguridad y dispositivos de enclavamiento	Identificar incumplimiento de seguridad en máquina	No Identificar incumplimiento de seguridad en máquina	Falla de control
6.04.01	Sistema Eléctrico e instrumentación/SISTEMA DE SEGURIDAD Y PROTECCION/Sensores de seguridad y dispositivos de enclavamiento	Sensores de seguridad y dispositivos de enclavamiento	Identificar incumplimiento de seguridad en máquina	No Identificar incumplimiento de seguridad en máquina	Sobrecalentamiento
6.04.01	Sistema Eléctrico e instrumentación/SISTEMA DE SEGURIDAD Y PROTECCION/Sensores de seguridad y dispositivos de enclavamiento	Sensores de seguridad y dispositivos de enclavamiento	Identificar incumplimiento de seguridad en máquina	No Identificar incumplimiento de seguridad en máquina	Falla de control
6.04.02	Sistema Eléctrico e instrumentación/SISTEMA DE SEGURIDAD Y PROTECCION/Modulo ASI	Modulo ASI	Centralizar sensores de seguridad	No Centralizar sensores de seguridad	Sobrecalentamiento
6.04.02	Sistema Eléctrico e instrumentación/SISTEMA DE SEGURIDAD Y PROTECCION/Modulo ASI	Modulo ASI	Centralizar sensores de seguridad	No Centralizar sensores de seguridad	Energía/voltaje inapropiado
6.04.02	Sistema Eléctrico e instrumentación/SISTEMA DE SEGURIDAD Y PROTECCION/Modulo ASI	Modulo ASI	Centralizar sensores de seguridad	No Centralizar sensores de seguridad	Sobrecalentamiento
7.01.01	Sistemas Auxiliares/SISTEMA DE LUBRICACION/Bomba de lubricación	Bomba de lubricación	Bombear lubricante	No Bombea lubricante	Bloqueo / taponamiento
7.01.01	Sistemas Auxiliares/SISTEMA DE LUBRICACION/Bomba de lubricación	Bomba de lubricación	Bombee lubricante	No Bombea lubricante	Energía/voltaje inapropiado
7.01.02	Sistemas Auxiliares/SISTEMA DE LUBRICACION/Mangueras de lubricación	Mangueras de lubricación	Transferir lubricante a distintos puntos de lubricación	No Transferir lubricante a distintos puntos de lubricación	Fuga
7.02.01	Sistemas Auxiliares/ILUMINACIÓN/Lámparas de iluminación	Lámparas de iluminación	Iluminar áreas de la máquina	No Iluminar áreas de la máquina	Energía/voltaje inapropiado
7.03.01	Sistemas Auxiliares/CHASIS Y COMPUERTAS/Estructura a Chasis	Estructura Chasis	Soportar estructuralmente la máquina	No Soportar estructuralmente la máquina	Desgaste
7.03.02	Sistemas Auxiliares/CHASIS Y COMPUERTAS/Compuerta de acceso	Compuerta de acceso	Dar y restringir el acceso a la máquina	No Dar y restringir el acceso a la máquina	Desgaste
7.04.01	Sistemas Auxiliares/MANEJOS Y JUEGOS DE FORMATO/Almacén de moldes	Almacén de moldes	Resguardar moldes y piezas de recambio	No Resguardar moldes y piezas de recambio	Desgaste
8.01.01	Panel Eléctrico/TABLERO ALIMENTACION PRINCIPAL/Dispositivos eléctricos de fuerza	Dispositivos eléctricos de fuerza	Distribuir y controlar energía eléctrica	No Distribuir y controlar energía eléctrica	Sobrecalentamiento

8.01.01	Panel Eléctrico/TABLERO ALIMENTACION PRINCIPAL/Dispositivos eléctricos de fuerza	1	Dispositivos eléctricos de fuerza	Distribuir y controlar energía eléctrica	No Distribuir y controlar energía eléctrica	Energía/voltaje inapropiado
8.02.01	Panel Eléctrico/TABLERO CONTROL ESCLAVOS/PLC	2 Y	PLC	Almacenar programación, recibir y entregar señales de mando	No Almacenar programación, recibir y entregar señales de mando	Sobrecalentamiento
8.02.01	Panel Eléctrico/TABLERO CONTROL ESCLAVOS/PLC	2 Y	PLC	Almacenar programación, recibir y entregar señales de mando	No Almacenar programación, recibir y entregar señales de mando	Energía/voltaje inapropiado
8.02.01	Panel Eléctrico/TABLERO CONTROL ESCLAVOS/PLC	2 Y	PLC	Almacenar programación, recibir y entregar señales de mando	No Almacenar programación, recibir y entregar señales de mando	Energía/voltaje inapropiado
8.02.02	Panel Eléctrico/TABLERO CONTROL ESCLAVOS/HDMI	2 Y	HDMI	Tener interfaz de interacción para operación	No Tener interfaz de interacción para operación	Energía/voltaje inapropiado
8.02.02	Panel Eléctrico/TABLERO CONTROL ESCLAVOS/HDMI	2 Y	HDMI	Tener interfaz de interacción para operación	No Tener interfaz de interacción para operación	Energía/voltaje inapropiado
8.03.01	Panel Eléctrico/TABLERO HORNO LAMPARAS/Dispositivos eléctricos de fuerza	3	Dispositivos eléctricos de fuerza	Distribuir y controlar energía eléctrica	No Distribuir y controlar energía eléctrica	Energía/voltaje inapropiado
8.03.01	Panel Eléctrico/TABLERO HORNO LAMPARAS/Dispositivos eléctricos de fuerza	3	Dispositivos eléctricos de fuerza	Distribuir y controlar energía eléctrica	No Distribuir y controlar energía eléctrica	Sobrecalentamiento
8.03.02	Panel Eléctrico/TABLERO HORNO CONTROL/PLC	4	PLC	Almacenar programación, recibir y entregar señales de mando	No Almacenar programación, recibir y entregar señales de mando	Sobrecalentamiento
8.03.02	Panel Eléctrico/TABLERO HORNO CONTROL/PLC	4	PLC	Almacenar programación, recibir y entregar señales de mando	No Almacenar programación, recibir y entregar señales de mando	Energía/voltaje inapropiado
8.03.02	Panel Eléctrico/TABLERO HORNO CONTROL/PLC	4	PLC	Almacenar programación, recibir y entregar señales de mando	No Almacenar programación, recibir y entregar señales de mando	Energía/voltaje inapropiado
9.01.01	Panel Neumático/DISPOSITIVOS PROTECCION/Válvula de sobrepresión		Válvula de sobrepresión	Liberar presión al existir sobrepresión	No Liberar presión al existir sobrepresión	Fuga
9.01.01	Panel Neumático/DISPOSITIVOS PROTECCION/Válvula de sobrepresión		Válvula de sobrepresión	Liberar presión al existir sobrepresión	No Liberar presión al existir sobrepresión	Fuga
9.02.01	Panel Neumático/DISTRIBUCIÓN DE AIRE/Ductos de aire		Ductos de aire	Distribuir aire	No Distribuir aire	Fuga
9.02.01	Panel Neumático/DISTRIBUCIÓN DE AIRE/Ductos de aire		Ductos de aire	Distribuir aire	No Distribuir aire	Fuga
9.03.01	Panel Neumático/FILTRACION DE AIRE/Filtros de aire		Filtros de aire	Limpiar aire	No Limpiar aire	Contaminación

Fuente: Elaboración propia.

**Anexo B: Evaluación de NPR y ejecución de Flujograma de decisiones de RCM.**

Partición	Elemento	G	O	D	NPR	Categoría de falla	Efectos de Fallas	Fallo Escandido (NE) o Evidente (E)?	C	C	C	C	T	R	D	T	O	R
									onse	onse	onse	onse	are	est	are	per	ed	ed
1.01.01	Servomotor	9	1	1	9	Aceptable	Parada de la máquina	E	N	N	S		S					
1.01.01	Servomotor	9	1	4	36	Aceptable	Sobrecorriente	E	N	N	S		S					
1.01.02	Reductor de velocidad	3	1	8	24	Aceptable	Reducción de carga	E	N	S	S		S					
1.01.02	Reductor de velocidad	9	1	8	72	Aceptable	Vibración	E	N	N	S		S					
1.02.01	Eyector de preforma	5	1	4	20	Aceptable	Reducción de carga	E	N	S	S		S					
1.02.01	Eyector de preforma	2	1	9	18	Aceptable	Reducción de carga	E	N	N	S		S					
1.03.01	Bloqueador de entrada	5	1	4	20	Aceptable	Reducción de carga	E	N	N	S		S					
1.03.01	Bloqueador de entrada	4	1	4	16	Aceptable	Sobrecalentamiento	E	N	N	S		S					
10.01.01	Válvulas de agua	7	2	8	112	Aceptable	Fuga externa-medio del proceso	E	N	S	S		S					
10.01.02	Ductos de agua	7	1	4	28	Aceptable	Fuga externa-medio del proceso	E	N	S	S		S					
10.02.01	Filtros de agua	7	2	8	112	Aceptable	Taponamiento/atascamiento	E	N	N	S		S					
10.02.02	Ductos de agua	7	1	4	28	Aceptable	Fuga externa-medio del proceso	E	N	S	S		S					
2.01.01	Motor 1	9	2	4	72	Aceptable	Vibración	E	N	N	S		S					
2.01.01	Motor 1	7	2	6	84	Aceptable	Sobrecorriente	E	N	N	S		S					
2.01.01	Motor 1	5	2	10	100	Aceptable	Vibración	E	N	N	S		S					
2.01.01	Motor 1	9	2	4	72	Aceptable	Sobrecorriente	E	N	N	S		S					
2.01.02	Reductor de velocidad 1	9	2	2	36	Aceptable	Sobrecalentamiento	E	N	N	S		S					
2.01.02	Reductor de velocidad 1	3	2	8	48	Aceptable	Reducción de carga	E	N	S	S		S					
2.01.03	Motor 2	9	2	2	36	Aceptable	Vibración	E	N	N	S		S					
2.01.03	Motor 2	7	2	6	84	Aceptable	Sobrecorriente	E	N	N	S		S					
2.01.03	Motor 2	5	2	10	100	Aceptable	Vibración	E	N	N	S		S					
2.01.03	Motor 2	9	2	4	72	Aceptable	Sobrecorriente	E	N	N	S		S					

2.01.04	Reductor de velocidad 2	9	2	1	18	Aceptable	Sobrecalentamiento	E	N	N	S	S						
2.01.04	Reductor de velocidad 2	3	2	8	48	Aceptable	Reducción de carga	E	N	N	S	S						
2.02.01	Eje tracción	6	2	4	48	Aceptable	Vibración	E	N	N	S	S						
2.02.02	Eje inducido	6	2	4	48	Aceptable	Vibración	E	N	N	S	S						
2.02.03	Cadena de Mandriles	9	3	6	16 2	Reducible deseable	Vibración	E	N	N	S	S						
2.02.03	Cadena de Mandriles	9	3	1	27	Aceptable	Sobrecorriente	E	N	N	S	S						
2.02.03	Cadena de Mandriles	8	3	8	19 2	Reducible deseable	Vibración	E	N	N	S	S						
2.02.03	Cadena de Mandriles	8	2	8	12 8	Reducible deseable	Vibración	E	N	N	S	S						
2.02.03	Cadena de Mandriles	8	2	8	12 8	Reducible deseable	Vibración	E	N	N	S	S						
2.03.01	Lámparas incandescentes	3	2	1 0	60	Aceptable	Reducción de carga	E	N	N	S	S						
2.03.01	Lámparas incandescentes	7	2	1 0	14 0	Reducible deseable	Reducción de carga	E	N	N	S	S						
2.03.01	Lámparas incandescentes	5	1	4	20	Aceptable	Reducción de carga	E	N	N	S	S						
2.03.01	Lámparas incandescentes	4	1	1	4	Aceptable	Parada de la máquina	E	N	N	S	S						
2.03.01	Lámparas incandescentes	4	1	1	4	Aceptable	Reducción de carga	E	N	N	S	S						
2.03.01	Lámparas incandescentes	3	1	1 0	30	Aceptable	Reducción de carga	E	N	N	S	S						
2.04.01	Ductos de agua fría	6	1	4	24	Aceptable	Fuga externa-medio del proceso	E	N	S	S	S						
2.05.01	Turbina enfriamiento	9	1	1	9	Aceptable	Vibración	E	N	N	S	S						
2.05.01	Turbina enfriamiento	6	1	1 0	60	Aceptable	Vibración	E	N	N	S	S						
2.05.01	Turbina enfriamiento	7	1	3	21	Aceptable	Sobrecorriente	E	N	N	S	S						
2.05.01	Turbina enfriamiento	9	1	6	54	Aceptable	Sobrecorriente	E	N	N	S	S						
3.01.01	Servomotor	9	1	4	36	Aceptable	Sobrecorriente	E	N	N	S	S						
3.01.01	Servomotor	9	1	6	54	Aceptable	Parada de la máquina	E	N	N	S	S						
3.01.02	Reductor	9	1	1	9	Aceptable	Vibración	E	N	N	S	S						
3.01.02	Reductor	3	1	1 0	30	Aceptable	Reducción de carga	E	N	S	S	S						
3.01.03	Eje de Estrella	1 0	1	1 0	10 0	Aceptable	Reducción de carga	E	N	N	S	S						
3.02.01	Brazo de transferencia	6	9	4	21 6	Inaceptable	Reducción de carga	E	N	N	S	S						
3.02.02	Pinzas	4	9	5	18 0	Reducible deseable	Sobrecorriente	E	N	N	S	S						
3.02.02	Pinzas	9	9	3	24 3	Inaceptable	Reducción de carga	E	N	N	S	S						

3.02.02	Pinzas	9	9	4	32 4	Inaceptable	Reducción de carga	E	N	N	S	S						
3.02.02	Pinzas	9	9	4	32 4	Inaceptable	Reducción de carga	E	N	N	S	S						
3.02.03	Levas	4	9	2	72	Aceptable	Sobrecalentamiento	E	N	N	S	S						
3.03.01	Eyector de Preforma	1	1	9	9	Aceptable	Reducción de carga	E	N	N	S	S						
3.03.01	Eyector de Preforma	5	1	4	20	Aceptable	Reducción de carga	E	N	S	S	S						
4.01.01	Moldes	9	1 0	5	45 0	Inaceptable	Vibración	E	N	N	S	S						
4.01.01	Moldes	9	1 0	5	45 0	Inaceptable	Sobrecalentamiento	E	N	N	S	S						
4.01.01	Moldes	9	1 0	3	27 0	Inaceptable	Vibración	E	N	N	S	S						
4.01.01	Moldes	4	1 0	5	20 0	Inaceptable	Sobrecalentamiento	E	N	N	S	S						
4.01.01	Moldes	9	8	3	21 6	Inaceptable	Vibración	E	N	N	S	S						
4.01.01	Moldes	9	8	3	21 6	Inaceptable	Vibración	E	N	N	S	S						
4.01.01	Moldes	9	8	3	21 6	Inaceptable	Vibración	E	N	N	S	S						
4.01.01	Moldes	9	2	5	90	Aceptable	Sobrecalentamiento	E	N	N	S	S						
4.01.01	Moldes	8	2	3	48	Aceptable	Reducción de carga	E	N	S	S	S						
4.01.01	Moldes	6	1	4	24	Aceptable	Sobrecorriente	E	N	N	S	S						
4.01.02	Varilla de estirado	7	6	1	42	Aceptable	Parada de la máquina	E	N	N	S	S						
4.01.02	Varilla de estirado	6	6	5	18 0	Reducible deseable	Sobrecalentamiento	E	N	N	S	S						
4.01.02	Varilla de estirado	5	6	4	12 0	Aceptable	Reducción de carga	E	N	N	S	S						
4.01.02	Varilla de estirado	3	2	3	18	Aceptable	Parada de la máquina	E	N	N	S	S						
4.01.03	Mangueras de enfriamiento	3	2	7	42	Aceptable	Reducción de carga	E	N	N	S	S						
4.02.01	Bloque válvula neumáticas	4	7	7	19 6	Reducible deseable	Fuga externa-medio del proceso	E	N	S	S	S						
4.02.01	Bloque válvula neumáticas	6	7	6	25 2	Inaceptable	Reducción de carga	E	N	S	S	S						
4.02.01	Bloque válvula neumáticas	6	7	6	25 2	Inaceptable	Reducción de carga	E	N	S	S	S						
4.02.01	Bloque válvula neumáticas	9	7	6	37 8	Inaceptable	Reducción de carga	E	N	S	S	S						
4.02.01	Bloque válvula neumáticas	8	7	6	33 6	Inaceptable	Reducción de carga	E	N	S	S	S						
4.02.01	Bloque válvula neumáticas	8	7	6	33 6	Inaceptable	Reducción de carga	E	N	S	S	S						
4.02.01	Bloque válvula neumáticas	8	7	6	33 6	Inaceptable	Reducción de carga	E	N	S	S	S						
4.02.02	Sistema de compensación y desfogue	4	2	9	72	Aceptable	Reducción de carga	E	N	S	S	S						
4.02.02	Sistema de compensación y desfogue	9	2	5	90	Aceptable	Reducción de carga	E	N	S	S	S						

4.02.02	Sistema de compensación y desfogue	8	2	5	80	Aceptable	Reducción de carga	E	N	S	S	S						
4.02.02	Sistema de compensación y desfogue	8	2	7	112	Aceptable	Fuga externa-medio del proceso	E	N	S	S	S						
4.03.01	Levas de Cierre	8	2	2	32	Aceptable	Vibración	E	N	N	S	S						
4.03.02	Levas de Apertura	7	1	2	14	Aceptable	Vibración	E	N	N	S	S						
4.04.01	Servomotor	9	1	4	36	Aceptable	Sobrecorriente	E	N	N	S	S						
4.04.01	Servomotor	9	2	6	108	Aceptable	Parada de la máquina	E	N	N	S	S						
4.04.03	Piñones de rueda	10	2	9	180	Reducible deseable	Vibración	E	N	N	S	S						
4.04.03	Piñones de rueda	10	1	2	20	Aceptable	Vibración	E	N	N	S	S						
4.05.01	Junta rotativa de agua	10	1	4	40	Aceptable	Reducción de carga	E	N	S	S	S						
4.05.02	Mangueras	4	2	2	16	Aceptable	Reducción de carga	E	N	S	S							S
4.06.01	Junta rotativa de aire	10	2	4	80	Aceptable	Fuga externa-medio del proceso	E	N	S	S	S						
4.06.02	Anillo de soplado presoplado	9	2	2	36	Aceptable	Fuga externa-medio del proceso	E	N	S	S	S						
4.06.02	Anillo de soplado presoplado	5	2	4	40	Aceptable	Ruido	E	N	N	S							S
4.06.02	Anillo de soplado presoplado	10	2	4	80	Aceptable	Ruido	E	N	N	S							S
4.06.02	Anillo de soplado presoplado	6	2	7	84	Aceptable	Ruido	E	N	N	S	S						
4.06.03	Anillo de soplado intermedio	9	2	2	36	Aceptable	Fuga externa-medio del proceso	E	N	S	S	S						
4.06.03	Anillo de soplado intermedio	5	2	4	40	Aceptable	Ruido	E	N	N	S							S
4.06.03	Anillo de soplado intermedio	4	2	7	56	Aceptable	Ruido	E	N	N	S	S						
4.06.03	Anillo de soplado intermedio	10	2	4	80	Aceptable	Ruido	E	N	N	S							S
4.06.04	Anillo de soplado final	9	3	2	54	Aceptable	Fuga externa-medio del proceso	E	N	S	S	S						
4.06.04	Anillo de soplado final	5	3	4	60	Aceptable	Ruido	E	N	N	S							S
4.06.04	Anillo de soplado final	10	3	4	120	Aceptable	Ruido	E	N	N	S							S
4.06.04	Anillo de soplado final	6	3	7	126	Reducible deseable	Ruido	E	N	N	S	S						
4.06.05	Anillo de desfogue	9	3	2	54	Aceptable	Fuga externa-medio del proceso	E	N	S	S	S						
4.06.05	Anillo de desfogue	5	3	4	60	Aceptable	Ruido	E	N	N	S							S
4.06.05	Anillo de desfogue	10	3	4	120	Aceptable	Ruido	E	N	N	S							S

4.06.05	Anillo de desfogue	6	3	7	126	Reducible deseable	Ruido	E	N	N	S	S						
5.01.01	Servomotor	9	3	4	108	Aceptable	Sobrecorriente	E	N	N	S	S						
5.01.01	Servomotor	9	2	6	108	Aceptable	Parada de la máquina	E	N	N	S	S						
5.01.02	Reductor	3	1	10	30	Aceptable	Reducción de carga	E	N	S	S	S						
5.01.02	Reductor	10	1	7	70	Aceptable	Vibración	E	N	N	S	S						
5.02.01	Brazo de transferencia	6	9	4	216	Inaceptable	Reducción de carga	E	N	N	S	S						
5.02.01	Brazo de transferencia	6	9	4	216	Inaceptable	Reducción de carga	E	N	N	S	S						
5.02.02	Pinzas	4	9	5	180	Reducible deseable	Reducción de carga	E	N	N	S	S						
5.02.02	Pinzas	4	9	5	180	Reducible deseable	Reducción de carga	E	N	N	S	S						
5.02.03	Levas	5	9	6	270	Inaceptable	Sobrecalentamiento	E	N	N	S	S						
5.03.01	Eyector de Botella	5	1	4	20	Aceptable	Reducción de carga	E	N	S	S	S						
5.03.01	Eyector de Botella	2	1	9	18	Aceptable	Reducción de carga	E	N	N	S			S				
6.01.01	Sensores inductivos perifericos	6	3	4	72	Aceptable	Parada de la máquina	E	N	N	S	S						
6.02.01	Instrumentación de proceso	8	2	5	80	Aceptable	Falla de transmisión de potencia/señal	E	N	N	S	S						
6.02.01	Instrumentación de proceso	8	1	6	48	Aceptable	Falla de transmisión de potencia/señal	E	N	N	S	S						
6.03.01	PLC	10	1	1	10	Aceptable	Operación espuria (erronea)	E	N	N	S	S						
6.03.01	PLC	10	1	1	10	Aceptable	Falla de transmisión de potencia/señal	E	N	N	S	S						
6.03.01	PLC	8	2	8	128	Reducible deseable	Sobrecalentamiento	E	N	N	S	S						
6.03.02	Módulos ACOPOS	8	1	8	64	Aceptable	Sobrecalentamiento	E	N	N	S	S						
6.03.02	Módulos ACOPOS	10	1	9	90	Aceptable	Falla de transmisión de potencia/señal	E	N	N	S	S						
6.03.02	Módulos ACOPOS	10	1	9	90	Aceptable	Falla de transmisión de potencia/señal	E	N	N	S	S						
6.04.01	Sensores de seguridad y dispositivos de enclavamiento	10	2	8	160	Reducible deseable	Falla de transmisión de potencia/señal	E	N	N	S					S		
6.04.01	Sensores de seguridad y dispositivos de enclavamiento	10	2	8	160	Reducible deseable	Sobrecalentamiento	E	N	N	S	S						
6.04.01	Sensores de seguridad y dispositivos de enclavamiento	10	2	8	160	Reducible deseable	Falla de transmisión de potencia/señal	E	N	N	S	S						
6.04.02	Modulo ASI	10	2	8	160	Reducible deseable	Sobrecalentamiento	E	N	N	S	S						

6.04.02	Modulo ASI	10	2	8	160	Reducible deseable	Falla de transmisión de potencia/señal	E	N	N	S	S						
6.04.02	Modulo ASI	10	2	8	160	Reducible deseable	Falla de transmisión de potencia/señal	E	N	N	S				S			
7.01.01	Bomba de lubricación	6	6	4	144	Reducible deseable	Vibración	E	N	N	S	S						
7.01.01	Bomba de lubricación	9	2	8	144	Reducible deseable	Reducción de carga	E	N	N	S	S						
7.01.02	Mangueras de lubricación	9	1	5	45	Aceptable	Fuga externa-medio del proceso	E	N	S	S	S						
7.02.01	Lámparas de iluminación	2	1	3	6	Aceptable	Sobrecalentamiento	E	N	N	S						S	
7.03.01	Estructura Chasis	1	1	1	1	Aceptable	Parada de la máquina	E	N	N	S						S	
7.03.02	Compuerta de acceso	2	1	1	2	Aceptable	Parada de la máquina	E	N	N	S						S	
7.04.01	Almacen de moldes	1	1	1	1	Aceptable	Otro	E	N	N	S						S	
8.01.01	Dispositivos eléctricos de fuerza	9	1	3	27	Aceptable	Sobrecalentamiento	E	N	N	S	S						
8.01.01	Dispositivos eléctricos de fuerza	8	1	9	72	Aceptable	Falla de transmisión de potencia/señal	E	N	N	S	S						
8.02.01	PLC	10	1	4	40	Aceptable	Sobrecalentamiento	E	N	N	S	S						
8.02.01	PLC	9	2	8	144	Reducible deseable	Falla de transmisión de potencia/señal	E	N	N	S	S						
8.02.01	PLC	9	2	8	144	Reducible deseable	Falla de transmisión de potencia/señal	E	N	N	S	S						
8.02.02	HDMI	9	1	8	72	Aceptable	Falla de transmisión de potencia/señal	E	N	N	S	S						
8.02.02	HDMI	10	1	5	50	Aceptable	Operación espuria (erronea)	E	N	N	S	S						
8.03.01	Dispositivos eléctricos de fuerza	8	1	9	72	Aceptable	Falla de transmisión de potencia/señal	E	N	N	S	S						
8.03.01	Dispositivos eléctricos de fuerza	9	1	5	45	Aceptable	Sobrecalentamiento	E	N	N	S	S						
8.03.02	PLC	10	1	4	40	Aceptable	Sobrecalentamiento	E	N	N	S	S						
8.03.02	PLC	9	1	8	72	Aceptable	Falla de transmisión de potencia/señal	E	N	N	S	S						
8.03.02	PLC	9	1	8	72	Aceptable	Falla de transmisión de potencia/señal	E	N	N	S	S						
9.01.01	Válvula de sobrepresión	10	1	6	60	Aceptable	Fuga externa-medio del proceso	E	N	S	S					S		
9.01.01	Válvula de sobrepresión	10	1	6	60	Aceptable	Fuga externa-medio del proceso	E	N	S	S	S						
9.02.01	Ductos de aire	7	1	4	28	Aceptable	Fuga externa-medio del proceso	E	N	S	S	S						
9.02.01	Ductos de aire	7	1	4	28	Aceptable	Fuga externa-medio del proceso	E	N	S	S	S						
9.03.01	Filtros de aire	7	2	8	112	Aceptable	Taponamiento/atascamiento	E	N	N	S		S					

Fuente: Elaboración propia.

**Anexo C: Definición de tareas propuestas para cada modo de falla analizado.**

Partición	Elemento	Tipo de Tarea	Actividad	Tarea Propuesta	Intervalo Inicial (Semanas)	Tiempo de la Tarea (min.)	Puntuación			Estadístico del equipo	Planificación
							Pre	Ter	Ad		
1.01.01	Servomotor	IBC - Inspección Basada en Condición	CBM ACM	(REP) CBM ACM 1M MEDICIÓN DE CORRIENTE DE SERVOMOTORES	4	0	E1	1	1	2	
1.01.01	Servomotor	IBC - Inspección Basada en Condición	CBM ACM	CBM ACM 1M MEDICIÓN DE CORRIENTE DE SERVOMOTORES	4	5	E1	1	1	2	
1.01.02	Reductor de velocidad	IBC - Inspección Basada en Condición	CBM TER	CBM TER 2M TERMOGRAFÍA DE MOTORES & REDUCTORES	8	10	E2	1	1	6	
1.01.02	Reductor de velocidad	IBC - Inspección Basada en Condición	CBM VIB	CBM VIB 2M VIBRACIONES DE MOTORES	8	10	E2	1	1	5	
1.02.01	Eyector de preforma	IBC - Inspección Basada en Condición	CBM US	CBM US 2M INSPECCIÓN MECÁNICA ALIMENTADOR DE PREFORMA	8	10	M2	1	0	11	
1.02.01	Eyector de preforma	IBC - Inspección Basada en Condición	IVF	IVF 1M INSPECCIÓN MECÁNICA ALIMENTACIÓN DE PREFORMA	4	15	M1	1	0	10	
1.03.01	Bloqueador de entrada	IBC - Inspección Basada en Condición	CBM US	CBM US 2M INSPECCIÓN MECÁNICA ALIMENTADOR DE PREFORMA	8	10	M2	1	0	11	
1.03.01	Bloqueador de entrada	IBC - Inspección Basada en Condición	IVF	IVF 1M INSPECCIÓN MECÁNICA ALIMENTACIÓN DE PREFORMA	4	15	M1	1	0	10	
10.01.01	Válvulas de agua	IBC - Inspección Basada en Condición	LI	LIMPIEZA 2S TUBERÍAS Y VÁLVULAS	2	20	O1	1	0	28	
10.01.02	Ductos de agua	IBC - Inspección Basada en Condición	LI	LIMPIEZA 2S TUBERÍAS Y VÁLVULAS	2	20	O1	1	0	28	
10.02.01	Filtros de agua	DS=Descarte programado/Sustitución Cíclica	DS	RE 6M CAMBIO DE FILTROS AIRE Y AGUA	52	15	M1	1	0	27	
10.02.02	Ductos de agua	IBC - Inspección Basada en Condición	LI	LIMPIEZA 2S TUBERÍAS Y VÁLVULAS	2	20	O1	1	0	28	
2.01.01	Motor 1	IBC - Inspección Basada en Condición	CBM VIB	CBM VIB 2M VIBRACIONES DE MOTORES	8	10	M2	1	1	5	
2.01.01	Motor 1	IBC - Inspección Basada en Condición	CBM TER	CBM TER 2M TERMOGRAFÍA DE MOTORES & REDUCTORES	8	10	E2	1	1	6	

2.01.01	Motor 1	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM VIB</b>	(REP) CBM VIB 2M VIBRACIONES DE MOTORES	8		M 2	1	1	5
2.01.01	Motor 1	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM ACM</b>	CBM ACM 2M MEDICIÓN DE CORRIENTE DE MOTORES	8	10	E2	1	1	7
2.01.02	Reductor de velocidad 1	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM TER</b>	CBM TER 2M TERMOGRAFÍA DE MOTORES & REDUCTORES	8	10	E2	1	1	6
2.01.02	Reductor de velocidad 1	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM TER</b>	(REP) CBM TER 2M TERMOGRAFÍA DE MOTORES & REDUCTORES	8		E2	1	1	6
2.01.03	Motor 2	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM VIB</b>	CBM VIB 2M VIBRACIONES DE MOTORES	8	10	E2	1	1	5
2.01.03	Motor 2	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM TER</b>	CBM TER 2M TERMOGRAFÍA DE MOTORES & REDUCTORES	8	10	E2	1	1	6
2.01.03	Motor 2	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM VIB</b>	(REP) CBM VIB 2M VIBRACIONES DE MOTORES	8		E2	1	1	5
2.01.03	Motor 2	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM ACM</b>	CBM ACM 2M MEDICIÓN DE CORRIENTE DE MOTORES	8	10	E2	1	1	7
2.01.04	Reductor de velocidad 2	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM TER</b>	CBM TER 2M TERMOGRAFÍA DE MOTORES & REDUCTORES	8	10	E2	1	1	6
2.01.04	Reductor de velocidad 2	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM TER</b>	(REP) CBM TER 2M TERMOGRAFÍA DE MOTORES & REDUCTORES	8		E2	1	1	6
2.02.01	Eje tracción	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM VIB</b>	CBM VIB 3M VIBRACIÓN EJE DE TRACCIÓN & INDUCIDO	12	15	M 2	1	1	8
2.02.02	Eje inducido	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM VIB</b>	CBM VIB 3M VIBRACIÓN EJE DE TRACCIÓN & INDUCIDO	12	15	M 2	1	1	8
2.02.03	Cadena de Mandriles	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>IVF</b>	IVF 1M INSPECCIÓN MECÁNICA CADENA DE MANDRILES	4	15	M 2	1	0	12
2.02.03	Cadena de Mandriles	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM ACM</b>	(REP) CBM ACM 2M VIBRACIONES DE MOTORES			E2	1	1	5
2.02.03	Cadena de Mandriles	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>IVF</b>	(REP) IVF 1M INSPECCIÓN MECÁNICA CADENA DE MANDRILES	4		M 2	2	0	12
2.02.03	Cadena de Mandriles	RE=Restauración programada/Overhaul/Reacondicionamiento Cíclico	<b>RE</b>	MANTTO 2A MANDRILES DE HORNO	10 4	11 88 0	M 2	2	0	37
2.02.03	Cadena de Mandriles	RE=Restauración programada/Overhaul/Reacondicionamiento Cíclico	<b>RE</b>	MANTTO 18M ESLABON CADENA HORNO	73	10 56 0	M 2	2	0	38
2.03.01	Lámparas incandescentes	DS=Descarte programado/Sustitución Cíclica	<b>DS</b>	MANTTO 2A LAMPARAS 3000 DE HORNO	10 4	12 0	E2	2	0	35
2.03.01	Lámparas incandescentes	DS=Descarte programado/Sustitución Cíclica	<b>DS</b>	MANTTO 2A LAMPARAS 2500 DE HORNO	10 4	24 0	E2	2	0	36
2.03.01	Lámparas incandescentes	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM ACM</b>	CBM ACM 2M MEDICIÓN DE CORRIENTE DE LAMPARAS	8	90	E2	2	1	9
2.03.01	Lámparas incandescentes	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM ACM</b>	(REP) CBM ACM 2M MEDICIÓN DE CORRIENTE DE LAMPARAS	8		E2	2	1	9
2.03.01	Lámparas incandescentes	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>LI</b>	LI 1M LIMPIEZA E INSPECCIÓN LÁMPARAS	4	60	E2	2	0	14

2.03.01	Lámparas incandescentes	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM ACM</b>	(REP) CBM ACM 2M MEDICIÓN DE CORRIENTE DE LAMPARAS	8		E2	2	1	9
2.04.01	Ductos de agua fría	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>LI</b>	LIMPIEZA 2S TUBERÍAS Y VÁLVULAS	2	20	O1	1	0	28
2.05.01	Turbina enfriamiento	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM VIB</b>	CBM VIB 2M VIBRACIONES DE MOTORES	8	10	E2	1	1	5
2.05.01	Turbina enfriamiento	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM VIB</b>	(REP) CBM VIB 2M VIBRACIONES DE MOTORES	8		E2	1	1	5
2.05.01	Turbina enfriamiento	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM TER</b>	CBM TER 2M TERMOGRAFÍA DE MOTORES & REDUCTORES	8	10	E2	1	1	6
2.05.01	Turbina enfriamiento	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM ACM</b>	CBM ACM 2M MEDICIÓN DE CORRIENTE DE MOTORES	8	15	E2	1	1	7
3.01.01	Servomotor	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM ACM</b>	CBM ACM 1M MEDICIÓN DE CORRIENTE DE SERVOMOTORES	4	5	E1	1	1	2
3.01.01	Servomotor	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM ACM</b>	(REP) CBM ACM 1M MEDICIÓN DE CORRIENTE DE SERVOMOTORES	4		E1	1	1	2
3.01.02	Reductor	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM VIB</b>	CBM VIB 2M VIBRACIONES DE MOTORES	8	10	E2	1	1	5
3.01.02	Reductor	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM TER</b>	CBM TER 2M TERMOGRAFÍA DE MOTORES & REDUCTORES	8	10	E2	1	1	6
3.01.03	Eje de Estrella	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>IVF</b>	IVF 1M INSPECCIÓN MECÁNICA ACCIONAMIENTO PRINCIPAL	4	10	M1	1	0	15
3.02.01	Brazo de transferencia	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>IVF</b>	IVF 1M INSPECCIÓN MECÁNICA BRAZOS DE TRANSFERENCIA Y PINZAS	4	30	M1	1	0	15
3.02.02	Pinzas	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>IVF</b>	(REP) IVF 1M INSPECCIÓN MECÁNICA BRAZOS DE TRANSFERENCIA Y PINZAS	4		M1	1	0	15
3.02.02	Pinzas	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>IVF</b>	IVF 1M INSPECCIÓN MECÁNICA BRAZOS DE TRANSFERENCIA Y PINZAS	4	60	M1	1	0	15
3.02.02	Pinzas	RE=Restauración programada/Overhaul/Reacondicionamiento Cíclico	<b>RE</b>	MANTTO 1A BRAZOS TRANSFERENC DE PREFORMA	52	60	M1	1	0	39
3.02.02	Pinzas	DS=Descarte programado/Sustitución Cíclica	<b>DS</b>	MANTTO 1A CABEZAS DE PINZAS	52	60	M1	1	0	40
3.02.03	Levas	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>IVF</b>	IVF 1M INSPECCIÓN MECÁNICA DE LEVAS	4	30	M1	1	0	15
3.03.01	Eyector de Preforma	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>IVF</b>	IVF 1M INSPECCIÓN MECÁNICA EYECTOR DE PREFORMA	4	20	M1	1	0	16
3.03.01	Eyector de Preforma	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM US</b>	CBM US 2M INSPECCIÓN MECÁNICA EYECTOR DE PREFORMA	8	10	M2	1	0	11
4.01.01	Moldes	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>IVF</b>	IVF 1M INSPECCIÓN MECÁNICA ESTACIONES DE SOPLADO	4	180	M2	2	0	17
4.01.01	Moldes	RE=Restauración programada/Overhaul/Reacondicionamiento Cíclico	<b>RE</b>	MANTTO 1A COMPENSACIÓN/PORTAMOLDES SPL	52	720	M2	2	0	41
4.01.01	Moldes	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>IVF</b>	(REP) IVF 1M INSPECCIÓN MECÁNICA ESTACIONES DE SOPLADO	4		M2	2	0	17

4.01.01	Moldes	IBC - Inspección Basada en Condición	LI	LI 1M LIMPIEZA	4	180	M2	2	0	17
4.01.01	Moldes	RE=Restauración programada/Overhaul/Reacondicionamiento Cíclico	RE	MANTTO 3A PESTILLOS FIJO/MOVIL RUEDA SPL	156	540	M2	3	0	42
4.01.01	Moldes	RE=Restauración programada/Overhaul/Reacondicionamiento Cíclico	RE	MANTTO 3A/5A UNIDAD MANIOBRA RUEDA SPL	156	720	M2	4	0	43
4.01.01	Moldes	RE=Restauración programada/Overhaul/Reacondicionamiento Cíclico	RE	MANTTO 5A SOPORTES DE MOLDE DE CONSOLA	260	1440	M2	3	0	44
4.01.01	Moldes	IBC - Inspección Basada en Condición	IVF	(REP) IVF 1M INSPECCIÓN MECÁNICA ESTACIONES DE SOPLADO	4		M2	2	0	17
4.01.01	Moldes	IBC - Inspección Basada en Condición	CBM US	CBM US 2M INSPECCIÓN MECÁNICA MOLDES	8	60	M2	1	0	11
4.01.01	Moldes	IBC - Inspección Basada en Condición	IVF	(REP) IVF 1M INSPECCIÓN MECÁNICA ESTACIONES DE SOPLADO	4		M2	2	0	17
4.01.02	Varilla de estirado	IBC - Inspección Basada en Condición	IVF	(REP) IVF 1M INSPECCIÓN MECÁNICA ESTACIONES DE SOPLADO	4		M2	2	0	17
4.01.02	Varilla de estirado	IBC - Inspección Basada en Condición	IVF	(REP) IVF 1M INSPECCIÓN MECÁNICA ESTACIONES DE SOPLADO	4		M2	2	0	17
4.01.02	Varilla de estirado	IBC - Inspección Basada en Condición	IVF	(REP) IVF 1M INSPECCIÓN MECÁNICA ESTACIONES DE SOPLADO	4		M2	2	0	17
4.01.02	Varilla de estirado	IBC - Inspección Basada en Condición	LI	LI 1M LIMPIEZA E INSPECCIÓN VARILLAS DE ESTIRADO	4	30	E2	1	0	13
4.01.03	Mangueras de enfriamiento	IBC - Inspección Basada en Condición	IVF	(REP) IVF 1M INSPECCIÓN MECÁNICA ESTACIONES DE SOPLADO	4		M2	2	0	17
4.02.01	Bloque válvula neumáticas	IBC - Inspección Basada en Condición	CBM US	CBM US 3M SISTEMA NEUMÁTICO	13	15	M2	1	1	21
4.02.01	Bloque válvula neumáticas	IBC - Inspección Basada en Condición	LI	(REP) LI 1M LIMPIEZA E INSPECCIÓN SISTEMA DIST DE AIRE	4		M1	1	0	18
4.02.01	Bloque válvula neumáticas	DS=Descarte programado/Sustitución Cíclica	DS	MANTTO 1A VÁLVULA SOPLADO INTER ESTN 160	52	2400	M2	2	0	45
4.02.01	Bloque válvula neumáticas	IBC - Inspección Basada en Condición	LI	LI 1M LIMPIEZA E INSPECCIÓN SISTEMA DIST DE AIRE	4	30	M1	1	0	18
4.02.01	Bloque válvula neumáticas	IBC - Inspección Basada en Condición	LI	(REP) LI 1M LIMPIEZA E INSPECCIÓN SISTEMA DIST DE AIRE	4		M1	1	0	18
4.02.01	Bloque válvula neumáticas	DS=Descarte programado/Sustitución Cíclica	DS	MANTTO 3A JUNTA ROTATIVA DE AIRE	156	600	M2	3	0	46
4.02.01	Bloque válvula neumáticas	DS=Descarte programado/Sustitución Cíclica	DS	MANTTO 1A TOBERAS DE RUEDA DE SOPLADO	52	540	M2	2	0	47
4.02.02	Sistema de compensación y desfogue	IBC - Inspección Basada en Condición	LI	(REP) LI 1M LIMPIEZA E INSPECCIÓN SISTEMA DIST DE AIRE	4		M1	1	0	18
4.02.02	Sistema de compensación y desfogue	IBC - Inspección Basada en Condición	LI	(REP) LI 1M LIMPIEZA E INSPECCIÓN SISTEMA DIST DE AIRE	4		M1	1	0	18

4.02.02	Sistema de compensación y desfogue	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>LI</b>	LI 1M LIMPIEZA E INSPECCIÓN SISTEMA DIST DE AIRE	4	30	M1	1	0	18
4.02.02	Sistema de compensación y desfogue	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM US</b>	CBM US 3M SISTEMA NEUMÁTICO	13	15	M2	1	1	21
4.03.01	Levas de Cierre	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>IVF</b>	(REP) IVF 1M INSPECCIÓN MECÁNICA SISTEMA DE LEVAS			M1	1	0	19
4.03.02	Levas de Apertura	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>IVF</b>	(REP) IVF 1M INSPECCIÓN MECÁNICA SISTEMA DE LEVAS			M1	1	0	19
4.04.01	Servomotor	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM ACM</b>	CBM ACM 1M MEDICIÓN DE CORRIENTE DE SERVOMOTORES	4	5	E1	1	1	2
4.04.01	Servomotor	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM ACM</b>	(REP) CBM ACM 1M MEDICIÓN DE CORRIENTE DE SERVOMOTORES	4		E1	1	1	2
4.04.03	Piñones de rueda	RE=Restauración programada/Overhaul/Reacondicionamiento Cíclico	<b>RE</b>	MANTTO 1A PALANCA DE BLOQUEO RUEDA SPL	13	30	M2	1	0	34
4.04.03	Piñones de rueda	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>IVF</b>	IVF 3M INSPECCIÓN MECÁNICA ACCIONAMIENTO PRINCIPAL	13	30	M2	1	0	3
4.05.01	Junta rotativa de agua	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>LI</b>	LIMPIEZA 2S TUBERÍAS Y VÁLVULAS	2	20	O1	1	0	28
4.05.02	Mangueras	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>LI</b>	LIMPIEZA 2S TUBERÍAS Y VÁLVULAS	2	20	O1	1	0	28
4.06.01	Junta rotativa de aire	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM US</b>	CBM US 3M SISTEMA NEUMÁTICO	13	15	M2	1	1	21
4.06.02	Anillo de soplado presoplado	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM US</b>	CBM US 3M SISTEMA NEUMÁTICO	13	15	M2	1	1	21
4.06.02	Anillo de soplado presoplado	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>LI</b>	(REP) LI 1M LIMPIEZA E INSPECCIÓN SISTEMA DIST DE AIRE			M1	1	0	18
4.06.02	Anillo de soplado presoplado	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>LI</b>	LI 1M LIMPIEZA E INSPECCIÓN SISTEMA DIST DE AIRE	4	30	M1	1	0	18
4.06.02	Anillo de soplado presoplado	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>LI</b>	(REP) LI 1M LIMPIEZA E INSPECCIÓN SISTEMA DIST DE AIRE			M1	1	0	18
4.06.03	Anillo de soplado intermedio	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM US</b>	CBM US 3M SISTEMA NEUMÁTICO	13	15	M2	1	1	21
4.06.03	Anillo de soplado intermedio	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>LI</b>	(REP) LI 1M LIMPIEZA E INSPECCIÓN SISTEMA DIST DE AIRE			M1	1	0	18
4.06.03	Anillo de soplado intermedio	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>LI</b>	(REP) LI 1M LIMPIEZA E INSPECCIÓN SISTEMA DIST DE AIRE			M1	1	0	18
4.06.03	Anillo de soplado intermedio	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>LI</b>	LI 1M LIMPIEZA E INSPECCIÓN SISTEMA DIST DE AIRE	4	30	M1	1	0	18
4.06.04	Anillo de soplado final	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM US</b>	CBM US 3M SISTEMA NEUMÁTICO	13	15	M2	1	1	21
4.06.04	Anillo de soplado final	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>LI</b>	(REP) LI 1M LIMPIEZA E INSPECCIÓN SISTEMA DIST DE AIRE	4		M1	1	0	18
4.06.04	Anillo de soplado final	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>LI</b>	LI 1M LIMPIEZA E INSPECCIÓN SISTEMA DIST DE AIRE	4	30	M1	1	0	18

4.06.04	Anillo de soplado final	IBC - Inspección Basada en Condición	LI	(REP) LI 1M LIMPIEZA E INSPECCIÓN SISTEMA DIST DE AIRE	4		M1	1	0	18
4.06.05	Anillo de desfogue	IBC - Inspección Basada en Condición	CBM US	CBM US 3M SISTEMA NEUMÁTICO	13	15	M2	1	1	21
4.06.05	Anillo de desfogue	IBC - Inspección Basada en Condición	LI	(REP) LI 1M LIMPIEZA E INSPECCIÓN SISTEMA DIST DE AIRE	4		M1	1	0	18
4.06.05	Anillo de desfogue	IBC - Inspección Basada en Condición	LI	LI 1M LIMPIEZA E INSPECCIÓN SISTEMA DIST DE AIRE	4	30	M1	1	0	18
4.06.05	Anillo de desfogue	IBC - Inspección Basada en Condición	LI	(REP) LI 1M LIMPIEZA E INSPECCIÓN SISTEMA DIST DE AIRE	4		M1	1	0	18
5.01.01	Servomotor	IBC - Inspección Basada en Condición	CBM ACM	CBM ACM 1M MEDICIÓN DE CORRIENTE DE SERVOMOTORES	4	5	E1	1	1	2
5.01.01	Servomotor	IBC - Inspección Basada en Condición	CBM ACM	(REP) CBM ACM 1M MEDICIÓN DE CORRIENTE DE SERVOMOTORES	4		E1	1	1	2
5.01.02	Reductor	IBC - Inspección Basada en Condición	CBM TER	CBM TER 2M TERMOGRAFÍA DE MOTORES & REDUCTORES	8	10	E2	1	1	6
5.01.02	Reductor	IBC - Inspección Basada en Condición	CBM VIB	CBM VIB 2M VIBRACIONES DE MOTORES	8	10	E2	1	1	5
5.02.01	Brazo de transferencia	IBC - Inspección Basada en Condición	IVF	IVF 1M INSPECCIÓN DE BRAZOS DE TRANSFERENCIA	4	60	M2	2	0	22
5.02.01	Brazo de transferencia	DS=Descarte programado/Sustitución Cíclica	DS	MANTTO 1A BRAZOS TRANSFERENC DE BOTELLA	52	60	M2	2	0	48
5.02.02	Pinzas	IBC - Inspección Basada en Condición	IVF	IVF 1M INSPECCIÓN DE BRAZOS DE PINZAS	4	120	M2	2	0	22
5.02.02	Pinzas	DS=Descarte programado/Sustitución Cíclica	DS	MANTTO 1A CABEZAS DE PINZAS	52	120	M2	2	0	49
5.02.03	Levas	IBC - Inspección Basada en Condición	IVF	IVF 1M INSPECCIÓN MECÁNICA SISTEMA DE LEVAS	4	30	M1	1	0	19
5.03.01	Eyector de Botella	IBC - Inspección Basada en Condición	IVF	(REP) IVF 1M INSPECCIÓN MECÁNICA SISTEMA EYECCIÓN DE BOTELLA	4		M2		0	33
5.03.01	Eyector de Botella	IBC - Inspección Basada en Condición	IVF	IVF 1M INSPECCIÓN MECÁNICA SISTEMA EYECCIÓN DE BOTELLA	4	30	M2		0	33
6.01.01	Sensores inductivos periféricos	IBC - Inspección Basada en Condición	LI	LIMPIEZA 1M SENSORES E INSTRUMENTACIÓN	4	5	E1	1	0	29
6.02.01	Instrumentación de proceso	IBC - Inspección Basada en Condición	IVF	CALIBRACIÓN 2A INSTRUMENTOS DE PROCESOS	104	480	E2	2	0	20
6.02.01	Instrumentación de proceso	IBC - Inspección Basada en Condición	LI	LIMPIEZA 1M SENSORES E INSTRUMENTACIÓN	4	5	E1	1	0	29
6.03.01	PLC	IBC - Inspección Basada en Condición	IVF	RESPALDO 3M DE PLC & HDMI	13	5	E2	1	1	26
6.03.01	PLC	IBC - Inspección Basada en Condición	LI	LIMPIEZA 3M TABLEROS ELÉCTRICOS	13	10	E1	1	0	4
6.03.01	PLC	IBC - Inspección Basada en Condición	CBM TER	CBM TER 2M TERMOGRAFÍA TABLEROS ELÉCTRICOS	8	5	E2	1	1	1

6.03.02	Módulos ACOPOS	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM TER</b>	CBM TER 2M TERMOGRAFÍA TABLEROS ELÉCTRICOS	8	5	E2	1	1	1
6.03.02	Módulos ACOPOS	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>IVF</b>	RESPALDO 6M DE ACOPOS	13	5	E2	1	1	25
6.03.02	Módulos ACOPOS	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>LI</b>	LIMPIEZA 3M TABLEROS ELÉCTRICOS	13	10	E1	1	0	4
6.04.01	Sensores de seguridad y dispositivos de enclavamiento	BF=Busqueda de fallas	<b>VO</b>	VO 1S INSPECCIÓN DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD	1	5	O1	1	1	24
6.04.01	Sensores de seguridad y dispositivos de enclavamiento	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM TER</b>	CBM TER 2M TERMOGRAFÍA TABLEROS ELÉCTRICOS	8	5	E2	1	1	1
6.04.01	Sensores de seguridad y dispositivos de enclavamiento	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>LI</b>	LIMPIEZA 1M SENSORES E INSTRUMENTACIÓN	4	5	E1	1	0	29
6.04.02	Modulo ASI	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM TER</b>	CBM TER 2M TERMOGRAFÍA TABLEROS ELÉCTRICOS	8	5	E2	1	1	1
6.04.02	Modulo ASI	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>LI</b>	LIMPIEZA 3M TABLEROS ELÉCTRICOS	13	10	E1	1	0	4
6.04.02	Modulo ASI	BF=Busqueda de fallas	<b>VO</b>	VO 1S INSPECCIÓN DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD	1	5	O1	1	1	24
7.01.01	Bomba de lubricación	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM VIB</b>	CBM VIB 2M VIBRACIONES DE MOTORES	8	10	E2	1	1	5
7.01.01	Bomba de lubricación	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>LB</b>	LB 1M LUBRICACIÓN CENTRALIZADA	4	10	O1	1	0	31
7.01.02	Mangueras de lubricación	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>VO</b>	IVF 2M INSPECCIÓN SISTEMA DE LUBRICACIÓN CENTRALIZADO	8	15	O1	1	0	32
7.02.01	Lámparas de iluminación	OF=Operar Hasta la Falla	<b>OF</b>	(Operar hasta la falla)			M1	1		
7.03.01	Estructura Chasis	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>LI</b>	LI 3M LIMPIEZA DE CHASIS Y ESTRUCTURA	13	30	O1	1	0	30
7.03.02	Compuerta de acceso	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>LI</b>	LI 3M LIMPIEZA DE CHASIS Y ESTRUCTURA	13	30	O1	1	0	30
7.04.01	Almacen de moldes	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>LI</b>	LI 3M LIMPIEZA DE CHASIS Y ESTRUCTURA	13	30	O1	1	0	30
8.01.01	Dispositivos eléctricos de fuerza	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM TER</b>	CBM TER 2M TERMOGRAFÍA TABLEROS ELÉCTRICOS	8	5	E2	1	1	1
8.01.01	Dispositivos eléctricos de fuerza	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>LI</b>	LIMPIEZA 3M TABLEROS ELÉCTRICOS	13	60	E1	1	0	4
8.02.01	PLC	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM TER</b>	CBM TER 2M TERMOGRAFÍA TABLEROS ELÉCTRICOS	8	5	E2	1	1	1
8.02.01	PLC	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>IVF</b>	RESPALDO 3M DE PLC & HDMI	13	5	E2	1	1	26

8.02.01	PLC	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>LI</b>	LIMPIEZA 3M TABLEROS ELÉCTRICOS	13	10	E1	1	0	4	
8.02.02	HDMI	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>LI</b>	LIMPIEZA 3M TABLEROS ELÉCTRICOS	13	10	E1	1	0	4	
8.02.02	HDMI	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>IVF</b>	RESPALDO 3M DE PLC & HDMI	13	5	E2	1	1	26	
8.03.01	Dispositivos eléctricos de fuerza	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>LI</b>	LIMPIEZA 3M TABLEROS ELÉCTRICOS	13	60	E1	1	0	4	
8.03.01	Dispositivos eléctricos de fuerza	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM TER</b>	CBM TER 2M TERMOGRAFÍA TABLEROS ELÉCTRICOS	8	5	E2	1	1	1	
8.03.02	PLC	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM TER</b>	CBM TER 2M TERMOGRAFÍA TABLEROS ELÉCTRICOS	8	5	E2	1	1	1	
8.03.02	PLC	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>IVF</b>	RESPALDO 3M DE PLC & HDMI	13	5	E2	1	1	26	
8.03.02	PLC	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>LI</b>	LIMPIEZA 3M TABLEROS ELÉCTRICOS	13	10	E1	1	0	4	
9.01.01	Válvula de sobrepresión	BF=Busqueda de fallas	<b>VO</b>	VO 6M VERIFICACIÓN DE FUNCIONAMIENTO VÁLVULA DE SEGURIDAD	26	15	O1	1	0	23	
9.01.01	Válvula de sobrepresión	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>IVF</b>	CALIBRACIÓN 2A VÁLVULA DE SEGURIDAD	10	4	60	M2	1	0	20
9.02.01	Ductos de aire	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>CBM US</b>	CBM US 3M SISTEMA NEUMÁTICO	13	15	M2	1	1	21	
9.02.01	Ductos de aire	IBC - Inspección Basada en Condición	<b>LI</b>	LIMPIEZA 2S TUBERÍAS Y VÁLVULAS	2	20	O1	1	0	28	
9.03.01	Filtros de aire	DS=Descarte programado/Sustitución Cíclica	<b>DS</b>	RE 6M CAMBIO DE FILTROS AIRE Y AGUA	52	15	M1	1	0	27	

Fuente: Elaboración propia

**Anexo D: Análisis de destrucción de negocio y ahorro potencial**

Partición	Elemento	FF (FALLOS / AÑO)	TPFS (HORAS / FALLA)	CD (POR FALLA)	M · OUNITARIO / Falla hora	CP (HORA)	CIF (Actual)	Horas de Fallo / Año (Actual)	Costo M. O. (Prev) / año	Costo Materiales (Prev) / Año	Costo Herramientas	Costo de Capacitación / Conocimiento / Año	Costo mantenimiento Preventivo / Año	FF (FALLOS / AÑO)	TPFS (HORAS / FALLA)	CD (HORA, POR FALLA)	M · OUNITARIO / Falla hora	CP (HORA)	CIF (Propuesto)	Horas de Fallo / Año (Propuesto)	Ahorro Potencial / Año
1.01.01	Servomotor	0	0.0			1,000.0		0.0						0	0			1,000.0		0.0	
1.01.01	Servomotor	0	0.0			1,000.0		0.0	6.18				6.18	0	0			1,000.0		0.0	6.18
1.01.02	Reductor de velocidad	0	0.0			1,000.0		0.0	8.88				8.88	0	0			1,000.0		0.0	8.88
1.01.02	Reductor de velocidad	0	0.0			1,000.0		0.0	8.88				8.88	0	0			1,000.0		0.0	8.88
1.02.01	Eyector de preforma	0	0.0			1,000.0		0.0	6.18				6.18	0	0			1,000.0		0.0	6.18
1.02.01	Eyector de preforma	0	0.0			1,000.0		0.0	13.0				13.0	0	0			1,000.0		0.0	13.0
1.03.01	Bloqueador de entrada	0	0.0			1,000.0		0.0	6.18				6.18	0	0			1,000.0		0.0	6.18
1.03.01	Bloqueador de entrada	0	0.0			1,000.0		0.0	13.0				13.0	0	0			1,000.0		0.0	13.0
10.01.01	Válvulas de agua	0	0.0			1,000.0		0.0	34.67		130.0		164.67	0	0			1,000.0		0.0	164.67
10.01.02	Ductos de agua	0	0.0			1,000.0		0.0	34.67		130.0		164.67	0	0			1,000.0		0.0	164.67
10.02.01	Filtros de agua	1.5	0.03		0.11	1,000.11	40.98	0.04	1.0	942.40	5.0		948.40	0	0.027315		0.11	1,000.11		0.0	907.42

10.02.02	Ductos de agua	0	0.0			1,000.0		0.0	34.67		130.0		164.67	0	0			1,000.0		0.0	164.67
2.01.01	Motor 1	8.5	0.2/2	515.29	1.2/3	1,001.2/3	6,218.26	1.84	6.18				6.18	7.65	0.216000	515.29	1.2/3	1,001.2/3	5,596.4/3	1.65	615.65
2.01.01	Motor 1	8.5	0.2/2	515.29	1.7/7	1,001.7/7	6,219.25	1.84	8.88				8.88	7.65	0.216000	515.29	1.7/7	1,001.7/7	5,597.3/3	1.65	613.04
2.01.01	Motor 1	8.5	0.2/2	515.29	1.2/3	1,001.2/3	6,218.26	1.84						7.65	0.216000	515.29	1.2/3	1,001.2/3	5,596.4/3	1.65	621.83
2.01.01	Motor 1	8.5	0.2/2	515.29	1.7/7	1,001.7/7	6,219.25	1.84	8.88				8.88	7.65	0.216000	515.29	1.7/7	1,001.7/7	5,597.3/3	1.65	613.04
2.01.02	Reductor de velocidad 1	8.5	0.2/2	335.29	1.7/7	1,001.7/7	4,689.25	1.84	8.88				8.88	7.65	0.216000	335.29	1.7/7	1,001.7/7	4,220.3/3	1.65	460.04
2.01.02	Reductor de velocidad 1	8.5	0.2/2	335.29	1.7/7	1,001.7/7	4,689.25	1.84						7.65	0.216000	335.29	1.7/7	1,001.7/7	4,220.3/3	1.65	468.93
2.01.03	Motor 2	8.5	0.2/2	515.29	1.7/7	1,001.7/7	6,219.25	1.84	8.88				8.88	7.65	0.216000	515.29	1.7/7	1,001.7/7	5,597.3/3	1.65	613.04
2.01.03	Motor 2	8.5	0.2/2	515.29	1.7/7	1,001.7/7	6,219.25	1.84	8.88				8.88	7.65	0.216000	515.29	1.7/7	1,001.7/7	5,597.3/3	1.65	613.04
2.01.03	Motor 2	8.5	0.2/2	515.29	1.7/7	1,001.7/7	6,219.25	1.84						7.65	0.216000	515.29	1.7/7	1,001.7/7	5,597.3/3	1.65	621.93
2.01.03	Motor 2	8.5	0.2/2	515.29	1.7/7	1,001.7/7	6,219.25	1.84	8.88				8.88	7.65	0.216000	515.29	1.7/7	1,001.7/7	5,597.3/3	1.65	613.04
2.01.04	Reductor de velocidad 2	8.5	0.2/2	335.29	1.7/7	1,001.7/7	4,689.25	1.84	8.88				8.88	7.65	0.216000	335.29	1.7/7	1,001.7/7	4,220.3/3	1.65	460.04
2.01.04	Reductor de velocidad 2	8.5	0.2/2	335.29	1.7/7	1,001.7/7	4,689.25	1.84						7.65	0.216000	335.29	1.7/7	1,001.7/7	4,220.3/3	1.65	468.93
2.02.01	Eje tracción	8.5	0.2/2		1.2/3	1,001.2/3	1,838.26	1.84	6.18				6.18	7.65	0.216000		1.2/3	1,001.2/3	1,654.4/3	1.65	177.65
2.02.02	Eje inducido	8.5	0.2/2		1.2/3	1,001.2/3	1,838.26	1.84	6.18				6.18	7.65	0.216000		1.2/3	1,001.2/3	1,654.4/3	1.65	177.65
2.02.03	Cadena de Mandriles	16.5	0.1/7	482.0	0.9/6	1,000.9/6	10,722.31	2.77	18.53				18.53	16.5	0.170877	482.0	0.9/6	1,000.9/6	10,722.31	2.77	18.52
2.02.03	Cadena de Mandriles	13	0.1/7	482.0	1.4/0	1,001.4/0	8,489.94	2.22						11.7	0.170833	482.0		1,000.0	7,638.15	2.0	851.79
2.02.03	Cadena de Mandriles	13	0.1/7	482.0	1.9/5	1,001.9/5	8,491.16	2.22						13	0.170833	482.0	1.9/5	1,001.9/5	8,491.16	2.22	
2.02.03	Cadena de Mandriles	2	0.2/7	482.0	3.0/9	1,003.0/9	1,507.34	0.54	1,128.60	1,794.96	2.50		2,926.06	0	0.170833	482.0	1.9/5	1,001.9/5		0.0	1,418.72
2.02.03	Cadena de Mandriles	2	0.2/7	482.0	3.0/9	1,003.0/9	1,507.34	0.54	1,429.22	12,509.06	3.56		13,941.84	0	0.170833	482.0	1.9/5	1,001.9/5		0.0	12,434.50
2.03.01	Lámparas incandescentes	2	0.0	82.29		1,000.0	164.58	0.0	16.40	385.56	2.50		404.46	0	0	82.29		1,000.0		0.0	239.88
2.03.01	Lámparas incandescentes	2	0.0	82.29		1,000.0	164.58	0.0	32.80	3,779.52	2.50		3,814.82	0	0	82.29		1,000.0		0.0	3,650.24
2.03.01	Lámparas incandescentes	0.5	0.0/7	82.29	1.0/9	1,001.0/9	74.51	0.03	159.90				159.90	0.45	0.066667	82.29	1.0/9	1,001.0/9	67.06	0.03	152.45

2.03.01	Lámparas incandescentes	0	0.0	82.29		1,000.0		0.0					0	0	82.29		1,000.0		0.0		
2.03.01	Lámparas incandescentes	0	0.0	82.29		1,000.0		0.0	213.20		65.0		278.20	0	0	82.29		1,000.0		0.0	278.20
2.03.01	Lámparas incandescentes	0	0.0	82.29		1,000.0		0.0						0	0	82.29		1,000.0		0.0	
2.04.01	Ductos de agua fría	0	0.0			1,000.0		0.0	34.67		130.0		164.67	0	0			1,000.0		0.0	164.67
2.05.01	Turbina enfriamiento	0	0.0	1,014.71		1,000.0		0.0	8.88				8.88	0	0	1,014.71		1,000.0		0.0	8.88
2.05.01	Turbina enfriamiento	0	0.0	1,014.71		1,000.0		0.0						0	0	1,014.71		1,000.0		0.0	
2.05.01	Turbina enfriamiento	0	0.0	1,014.71		1,000.0		0.0	8.88				8.88	0	0	1,014.71		1,000.0		0.0	8.88
2.05.01	Turbina enfriamiento	0	0.0	1,014.71		1,000.0		0.0	13.33				13.33	0	0	1,014.71		1,000.0		0.0	13.33
3.01.01	Servomotor	0	0.0			1,000.0		0.0	6.18				6.18	0	0			1,000.0		0.0	6.18
3.01.01	Servomotor	0	0.0			1,000.0		0.0						0	0			1,000.0		0.0	
3.01.02	Reductor	0	0.0			1,000.0		0.0	8.88				8.88	0	0			1,000.0		0.0	8.88
3.01.02	Reductor	0	0.0			1,000.0		0.0	8.88				8.88	0	0			1,000.0		0.0	8.88
3.01.03	Eje de Estrella	0	0.0			1,000.0		0.0	8.67				8.67	0	0			1,000.0		0.0	8.67
3.02.01	Brazo de transferencia	96.5	0.23		0.90	1,000.90	21,801.65	21.78	26.0			2,036.0	2,062.0	86.85	0.203148		0.90	1,000.90	17,659.33	17.64	2,080.31
3.02.02	Pinzas	96.5	0.23	484.0	0.90	1,000.90	68,507.65	21.78						86.85	0.203148	484.0	0.90	1,000.90	59,694.73	17.64	8,812.91
3.02.02	Pinzas	96.5	0.23	484.0	0.90	1,000.90	68,507.65	21.78	52.0				52.0	86.85	0.203148	484.0	0.90	1,000.90	59,694.73	17.64	8,760.91
3.02.02	Pinzas	96.5	0.23	484.0	0.90	1,000.90	68,507.65	21.78	4.0	14,667.38	5.0		14,676.38	0	0.225720	484.0	0.90	1,000.90		0.0	53,831.27
3.02.02	Pinzas	96.5	0.23	484.0	0.90	1,000.90	68,507.65	21.78	4.0	12,456.08	5.0		12,465.08	0	0.225720	484.0	0.90	1,000.90		0.0	56,042.57
3.02.03	Levas	96.5	0.23	11.82	0.90	1,000.90	22,942.65	21.78	26.0				26.0	86.85	0.203148	11.82	0.90	1,000.90	18,686.23	17.64	4,230.41
3.03.01	Eyector de Preforma	0.5	0.13		0.53	1,000.53	66.70	0.07	17.33				17.33	0.5	0.133333		0.53	1,000.53	66.70	0.07	17.33
3.03.01	Eyector de Preforma	0.5	0.13		0.76	1,000.76	66.72	0.07	6.18				6.18	0.45	0.133333		0.76	1,000.76	60.05	0.06	0.50
4.01.01	Moldes	17.4	0.23	658.0	2.62	1,002.62	154,616.93	40.02	444.60			2,036.0	2,480.60	156.6	0.207000	658.0	2.62	1,002.62	135,544.0	32.42	16,592.34
4.01.01	Moldes	17.4	0.23	658.0	2.62	1,002.62	154,616.93	40.02	136.80	39,928.08			40,064.88	0	0.207000	658.0	2.62	1,002.62		0.0	114,552.05
4.01.01	Moldes	17.4	0.23	658.0	2.62	1,002.62	154,616.93	40.02						156.6	0.207000	658.0	2.62	1,002.62	135,544.0	32.42	19,072.94
4.01.01	Moldes	17.4	0.23	658.0	2.62	1,002.62	154,616.93	40.02	444.60		65.0		509.60	156.6	0.207000	658.0	2.62	1,002.62	135,544.0	32.42	18,563.34

4.01.01	Moldes	74	0.2 3	658.0	3.9 3	1,003.9 3	65,778.9 4	17.0 2	51.30	1,025.4 4	1.67		1,078.4 1	0	0.2300 00	658.0	3.9 3	1,003.9 3		0.0	64,700.5 3
4.01.01	Moldes	74	0.2 3	658.0	5.2 4	1,005.2 4	65,801.2 5	17.0 2	91.20	8,792.6 8	1.67		8,885.5 5	0	0.2300 00	658.0	5.2 4	1,005.2 4		0.0	56,915.7 1
4.01.01	Moldes	74	0.2 3	658.0	3.9 3	1,003.9 3	65,778.9 4	17.0 2	82.08	3,106.8 7	1.0		3,189.9 5	0	0.2300 00	658.0	3.9 3	1,003.9 3		0.0	62,588.9 9
4.01.01	Moldes	8	0.6 7	658.0	7.5 9	1,007.5 9	10,632.4 5	5.33						8	0.666	658.0	2.6 2	1,002.6 2	10,605. 97	5.33	26.48
4.01.01	Moldes	1.5	0.1 9	658.0	1.0 8	1,001.0 8	1,270.63	0.28	37.05				37.05	1.35	0.1888 80	658.0	1.0 8	1,001.0 8	1,143.5 6	0.25	90.01
4.01.01	Moldes	0.5	0.1 2	658.0	1.4 1	1,001.4 1	390.89	0.06						0.5	0.1236 00	658.0	1.4 1	1,001.4 1	390.89	0.06	
4.01.02	Varilla de estirado	19	0.1 4	1,077.0	1.6 5	1,001.6 5	23,215.4 4	2.75						19	0.1446 27	1,077.0	1.6 5	1,001.6 5	23,215. 44	2.75	
4.01.02	Varilla de estirado	19	0.1 4	1,077.0	1.6 5	1,001.6 5	23,215.4 4	2.75						19	0.1446 27	1,077.0	1.6 5	1,001.6 5	23,215. 44	2.75	
4.01.02	Varilla de estirado	19	0.1 4	1,077.0	1.6 5	1,001.6 5	23,215.4 4	2.75						19	0.1446 27	1,077.0	1.6 5	1,001.6 5	23,215. 44	2.75	
4.01.02	Varilla de estirado	8.5	0.0 4	1,077.0	0.3 6	1,000.3 6	9,523.87	0.37	53.30		65.0		118.30	8.5	0.0434 40	1,077.0	0.3 6	1,000.3 6	9,523.8 7	0.37	118.30
4.01.03	Mangueras de enfriamiento	4	0.0 7	378.13	0.7 6	1,000.7 6	1,779.38	0.27						4	0.0666 67	378.13	0.7 6	1,000.7 6	1,779.3 8	0.27	
4.02.01	Bloque válvula neumáticas	27	0.2 4	685.0	1.3 7	1,001.3 7	24,987.4 2	6.48	5.70		600. 0	1,568.4 0	2,174.1 0	24.3	0.2161 18	685.0	1.3 7	1,001.3 7	21,904. 36	5.25	908.96
4.02.01	Bloque válvula neumáticas	27	0.2 4	685.0	0.9 6	1,000.9 6	24,984.7 8	6.48						24.3	0.2161 18	685.0	0.9 6	1,000.9 6	21,902. 22	5.25	3,082.56
4.02.01	Bloque válvula neumáticas	27	0.2 4	685.0	2.7 4	1,002.7 4	24,996.3 0	6.48	456.0	15,905. 06	5.0		16,366. 06	0	0.2401 32	685.0	2.7 4	1,002.7 4		0.0	8,630.24
4.02.01	Bloque válvula neumáticas	27	0.2 4	685.0	0.9 6	1,000.9 6	24,984.7 8	6.48	26.0		65.0	2,036.0	2,127.0	24.3	0.2161 18	685.0	0.9 6	1,000.9 6	21,902. 22	5.25	955.56
4.02.01	Bloque válvula neumáticas	27	0.2 4	685.0	0.9 6	1,000.9 6	24,984.7 8	6.48						24.3	0.2161 18	685.0	0.9 6	1,000.9 6	21,902. 22	5.25	3,082.56
4.02.01	Bloque válvula neumáticas	27	0.2 4	685.0	4.1 1	1,004.1 1	25,005.1 7	6.48	57.0	587.87	1.67		646.54	0	0.2401 32	685.0	4.1 1	1,004.1 1		0.0	24,358.6 4
4.02.01	Bloque válvula neumáticas	27	0.2 4	685.0	2.7 4	1,002.7 4	24,996.3 0	6.48	102.60	34,221. 96	5.0		34,329. 56	0	0.2401 32	685.0	2.7 4	1,002.7 4		0.0	9,333.26
4.02.02	Sistema de compensación y desfogue	4	0.3 0		1.2 1	1,001.2 1	1,216.28	1.21						4	0.3037 00		1.2 1	1,001.2 1	1,216.2 8	1.21	

4.02.02	Sistema de compensación y desfogue	4	0.30		1.21	1,001.21	1,216.28	1.21					4	0.303700		1.21	1,001.21	1,216.28	1.21		
4.02.02	Sistema de compensación y desfogue	4	0.30		1.21	1,001.21	1,216.28	1.21	26.0		65.0		91.0	4	0.303700		1.21	1,001.21	1,216.28	1.21	91.0
4.02.02	Sistema de compensación y desfogue	4	0.30		1.73	1,001.73	1,216.90	1.21	5.70				5.70	3.6	0.303700		1.73	1,001.73	1,095.21	1.09	115.99
4.03.01	Levas de Cierre	4	0.30		1.21	1,001.21	1,216.28	1.21						4	0.303700		1.21	1,001.21	1,216.28	1.21	
4.03.02	Levas de Apertura	0	0.0			1,000.0		0.0						0	0			1,000.0		0.0	
4.04.01	Servomotor	0	0.0			1,000.0		0.0	6.18				6.18	0	0			1,000.0		0.0	6.18
4.04.01	Servomotor	0	0.0			1,000.0		0.0						0	0			1,000.0		0.0	
4.04.03	Piñones de rueda	0	0.0			1,000.0		0.0	11.40	21,984.48	20.0		22,015.88	0	0			1,000.0		0.0	22,015.88
4.04.03	Piñones de rueda	0	0.0			1,000.0		0.0	11.40				11.40	0	0			1,000.0		0.0	11.40
4.05.01	Junta rotativa de agua	0	0.0			1,000.0		0.0	34.67		130.0		164.67	0	0			1,000.0		0.0	164.67
4.05.02	Mangueras	4	0.07	388.62	0.26	1,000.26	1,818.56	0.26	34.67		130.0		164.67	4	0.066000	388.62	0.26	1,000.26	1,818.56	0.26	164.67
4.06.01	Junta rotativa de aire	3	0.03		0.14	1,000.14	75.01	0.08	5.70				5.70	2.7	0.025000		0.14	1,000.14	67.51	0.07	1.80
4.06.02	Anillo de soplado presoplado	3	0.03		0.14	1,000.14	75.01	0.08	5.70				5.70	2.7	0.025000		0.14	1,000.14	67.51	0.07	1.80
4.06.02	Anillo de soplado presoplado	3	0.03		0.10	1,000.10	75.01	0.08						3	0.025000		0.10	1,000.10	75.01	0.08	
4.06.02	Anillo de soplado presoplado	3	0.03		0.10	1,000.10	75.01	0.08	26.0		65.0		91.0	3	0.025000		0.10	1,000.10	75.01	0.08	91.0
4.06.02	Anillo de soplado presoplado	3	0.03		0.10	1,000.10	75.01	0.08						3	0.025000		0.10	1,000.10	75.01	0.08	
4.06.03	Anillo de soplado intermedio	3	0.03		0.14	1,000.14	75.01	0.08	5.70				5.70	2.7	0.025000		0.14	1,000.14	67.51	0.07	1.80
4.06.03	Anillo de soplado intermedio	3	0.03		0.10	1,000.10	75.01	0.08						3	0.025000		0.10	1,000.10	75.01	0.08	
4.06.03	Anillo de soplado intermedio	3	0.03		0.10	1,000.10	75.01	0.08						3	0.025000		0.10	1,000.10	75.01	0.08	
4.06.03	Anillo de soplado intermedio	3	0.03		0.10	1,000.10	75.01	0.08	26.0		65.0		91.0	3	0.025000		0.10	1,000.10	75.01	0.08	91.0

4.06.04	Anillo de soplado final	15	0.1 2		0.6 6	1,000.6 6	1,744.49	1.74	5.70				5.70	13.5	0.1162 22		0.6 6	1,000.6 6	1,570.0 4	1.57	168.75
4.06.04	Anillo de soplado final	15	0.1 2		0.4 6	1,000.4 6	1,744.14	1.74						15	0.1162 22		0.4 6	1,000.4 6	1,744.1 4	1.74	
4.06.04	Anillo de soplado final	15	0.1 2		0.4 6	1,000.4 6	1,744.14	1.74	26.0		65.0		91.0	15	0.1162 22		0.4 6	1,000.4 6	1,744.1 4	1.74	91.0
4.06.04	Anillo de soplado final	15	0.1 2		0.4 6	1,000.4 6	1,744.14	1.74						15	0.1162 22		0.4 6	1,000.4 6	1,744.1 4	1.74	
4.06.05	Anillo de desfogue	15	0.1 2		0.6 6	1,000.6 6	1,744.49	1.74	5.70				5.70	13.5	0.1162 22		0.6 6	1,000.6 6	1,570.0 4	1.57	168.75
4.06.05	Anillo de desfogue	15	0.1 2		0.4 6	1,000.4 6	1,744.14	1.74						15	0.1162 22		0.4 6	1,000.4 6	1,744.1 4	1.74	
4.06.05	Anillo de desfogue	15	0.1 2		0.4 6	1,000.4 6	1,744.14	1.74	26.0		65.0		91.0	15	0.1162 22		0.4 6	1,000.4 6	1,744.1 4	1.74	91.0
4.06.05	Anillo de desfogue	15	0.1 2		0.4 6	1,000.4 6	1,744.14	1.74						15	0.1162 22		0.4 6	1,000.4 6	1,744.1 4	1.74	
5.01.01	Servomotor	0	0.0			1,000.0		0.0	6.18				6.18	0	0			1,000.0		0.0	6.18
5.01.01	Servomotor	0	0.0			1,000.0		0.0						0	0			1,000.0		0.0	
5.01.02	Reductor	0	0.0			1,000.0		0.0	8.88				8.88	0	0			1,000.0		0.0	8.88
5.01.02	Reductor	0	0.0			1,000.0		0.0	8.88				8.88	0	0			1,000.0		0.0	8.88
5.02.01	Brazo de transferencia	96. 5	0.2 3		2.5 7	1,002.5 7	21,838.0 3	21.7 8	148.20				148.20	86.8 5	0.2031 48		2.5 7	1,002.5 7	17,688. 80	17.6 4	4,001.03
5.02.01	Brazo de transferencia	96. 5	0.2 3		2.5 7	1,002.5 7	21,838.0 3	21.7 8	11.40	14,667. 38	5.0		14,683. 78	0	0.2257 20		2.5 7	1,002.5 7		0.0	7,154.25
5.02.02	Pinzas	96. 5	0.2 3	484.0	2.5 7	1,002.5 7	68,544.0 3	21.7 8	296.40				296.40	86.8 5	0.2031 48	484.0	2.5 7	1,002.5 7	59,724. 20	17.6 4	8,523.43
5.02.02	Pinzas	96. 5	0.2 3	484.0	2.5 7	1,002.5 7	68,544.0 3	21.7 8	22.80	12,456. 08	5.0		12,483. 88	0	0.2257 20	484.0	2.5 7	1,002.5 7		0.0	56,060.1 5
5.02.03	Levas	96. 5	0.2 3	11.82	0.9 0	1,000.9 0	22,942.6 5	21.7 8	26.0		2,036.0		2,062.0	86.8 5	0.2031 48	11.82	0.9 0	1,000.9 0	18,686. 23	17.6 4	2,194.41
5.03.01	Eyector de Botella	0.5	0.1 3			1,000.0	66.67	0.07						0.5	0.1333 33			1,000.0	66.67	0.07	
5.03.01	Eyector de Botella	0.5	0.1 3			1,000.0	66.67	0.07						0.5	0.1333 33			1,000.0	66.67	0.07	
6.01.01	Sensores inductivos perifericos	16	0.1 2		0.6 8	1,000.6 8	1,914.63	1.91	6.18		65.0		71.18	16	0.1195 83		0.6 8	1,000.6 8	1,914.6 3	1.91	71.18
6.02.01	Instrumentación de proceso	3	0.3 3		5.4 6	1,005.4 6	1,004.46	1.0	65.60				65.60	3	0.3330 00		5.4 6	1,005.4 6	1,004.4 6	1.0	65.60
6.02.01	Instrumentación de proceso	0	0.0			1,000.0		0.0	6.18		65.0		71.18	0	0			1,000.0		0.0	71.18
6.03.01	PLC	0.5	0.2 5		2.0 5	1,002.0 5	125.26	0.13	2.73				2.73	0.5	0.2500 00		2.0 5	1,002.0 5	125.26	0.13	2.73
6.03.01	PLC	0.5	0.2 5		1.4 3	1,001.4 3	125.18	0.13	3.80		20.0		23.80	0.5	0.2500 00		1.4 3	1,001.4 3	125.18	0.13	23.80
6.03.01	PLC	0.5	0.2 5		2.0 5	1,002.0 5	125.26	0.13	4.44				4.44	0.45	0.2500 00		2.0 5	1,002.0 5	112.73	0.11	8.08

6.03.02	Módulos ACOPOS	1	0.07	1,274.84	0.55	1,000.55	1,342.37	0.07	4.44				4.44	0.9	0.067500	1,274.84	0.55	1,000.55	1,208.14	0.06	129.80
6.03.02	Módulos ACOPOS	1	0.07	1,274.84	0.55	1,000.55	1,342.37	0.07	2.73				2.73	1	0.067500	1,274.84	0.55	1,000.55	1,342.37	0.07	2.73
6.03.02	Módulos ACOPOS	1	0.07	1,274.84	0.38	1,000.38	1,342.36	0.07	3.80		20.0		23.80	1	0.067500	1,274.84	0.38	1,000.38	1,342.36	0.07	23.80
6.04.01	Sensores de seguridad y dispositivos de enclavamiento	6	0.20		0.79	1,000.79	1,180.16	1.18	17.33				17.33	6	0.196538		0.79	1,000.79	1,180.16	1.18	17.33
6.04.01	Sensores de seguridad y dispositivos de enclavamiento	6	0.20		1.61	1,001.61	1,181.13	1.18	4.44			1,568.40	1,572.84	5.4	0.176884		1.61	1,001.61	956.71	0.96	1,348.43
6.04.01	Sensores de seguridad y dispositivos de enclavamiento	6	0.20		1.12	1,001.12	1,180.55	1.18	6.18		65.0		71.18	6	0.196538		1.12	1,001.12	1,180.55	1.18	71.18
6.04.02	Modulo ASI	4	0.59	1,579.66	4.83	1,004.83	8,684.73	2.35	4.44				4.44	3.6	0.588680	1,579.66	4.83	1,004.83	7,816.25	2.12	864.03
6.04.02	Modulo ASI	4	0.59	1,579.66	3.36	1,003.36	8,681.26	2.35	3.80		20.0		23.80	4	0.588680	1,579.66	3.36	1,003.36	8,681.26	2.35	23.80
6.04.02	Modulo ASI	4	0.59	1,579.66	2.35	1,002.35	8,678.90	2.35	17.33				17.33	4	0.588680	1,579.66	2.35	1,002.35	8,678.90	2.35	17.33
7.01.01	Bomba de lubricación	22	0.11		0.87	1,000.87	2,330.77	2.33	8.88		800.0	1,568.40	2,377.28	19.8	0.095267		0.87	1,000.87	1,887.92	1.89	1,934.44
7.01.01	Bomba de lubricación	22	0.11		0.42	1,000.42	2,329.73	2.33	8.67		250.0		258.67	22	0.105852		0.42	1,000.42	2,329.73	2.33	258.67
7.01.02	Mangueras de lubricación	0	0.0			1,000.0		0.0	6.50				6.50	0	0			1,000.0		0.0	6.50
7.02.01	Lámparas de iluminación	0	0.0			1,000.0		0.0						0	0			1,000.0		0.0	
7.03.01	Estructura Chasis	0	0.0			1,000.0		0.0	8.0		20.0		28.0	0	0			1,000.0		0.0	28.0
7.03.02	Compuerta de acceso	0	0.0			1,000.0		0.0	8.0		20.0		28.0	0	0			1,000.0		0.0	28.0
7.04.01	Almacén de moldes	0	0.0	658.0		1,000.0		0.0	8.0		20.0		28.0	0	0	658.0		1,000.0		0.0	28.0
8.01.01	Dispositivos eléctricos de fuerza	0	0.0			1,000.0		0.0	4.44				4.44	0	0			1,000.0		0.0	4.44

8.01.01	Dispositivos eléctricos de fuerza	0	0.0			1,000.0		0.0	22.80		20.0		42.80	0	0			1,000.0		0.0	42.80
8.02.01	PLC	0	0.0			1,000.0		0.0	4.44				4.44	0	0			1,000.0		0.0	4.44
8.02.01	PLC	0	0.0			1,000.0		0.0	2.73				2.73	0	0			1,000.0		0.0	2.73
8.02.01	PLC	0	0.0			1,000.0		0.0	3.80		20.0		23.80	0	0			1,000.0		0.0	23.80
8.02.02	HDMI	0	0.0			1,000.0		0.0	3.80		20.0		23.80	0	0			1,000.0		0.0	23.80
8.02.02	HDMI	0	0.0			1,000.0		0.0	2.73				2.73	0	0			1,000.0		0.0	2.73
8.03.01	Dispositivos eléctricos de fuerza	0	0.0			1,000.0		0.0	22.80		20.0		42.80	0	0			1,000.0		0.0	42.80
8.03.01	Dispositivos eléctricos de fuerza	0	0.0			1,000.0		0.0	4.44				4.44	0	0			1,000.0		0.0	4.44
8.03.02	PLC	0	0.0			1,000.0		0.0	4.44				4.44	0	0			1,000.0		0.0	4.44
8.03.02	PLC	0	0.0			1,000.0		0.0	2.73				2.73	0	0			1,000.0		0.0	2.73
8.03.02	PLC	0	0.0			1,000.0		0.0	3.80		20.0		23.80	0	0			1,000.0		0.0	23.80
9.01.01	Válvula de sobrepresión	0	0.0			1,000.0		0.0	2.0				2.0	0	0			1,000.0		0.0	2.0
9.01.01	Válvula de sobrepresión	0	0.0			1,000.0		0.0	2.85				2.85	0	0			1,000.0		0.0	2.85
9.02.01	Ductos de aire	0	0.0			1,000.0		0.0	5.70				5.70	0	0			1,000.0		0.0	5.70
9.02.01	Ductos de aire	0	0.0			1,000.0		0.0	34.67		130.0		164.67	0	0			1,000.0		0.0	164.67
9.03.01	Filtros de aire	0	0.0			1,000.0		0.0	1.0	942.40	5.0		948.40	0	0			1,000.0		0.0	948.40

Fuente: Elaboración propia.

**Anexo E: Modos de falla que cuentan con un plan de capacitación/entrenamiento.**

Partición	Taxonomía	Elemento	Modos de Falla	Costo de Capacitación / Conocimiento / Año	Nombre de entrenamiento	Cantidad de horas	Cantidad de personas	Puesto de Trabajo	Costo Externo	HH/año
3.02.01	Estrella de Preforma/BRAZOS DE TRANSFERENCIA/Brazo de transferencia	Brazo de transferencia	Desajuste	\$2,036.00	Inspección y ajuste de Pinzas y transferencias	3.00	3.00	O1	2000.00	6.50
4.01.01	Rueda de Soplado/ESTACIONES DE SOPLADO/Moldes	Moldes	Alineamiento/espacio	\$2,036.00	Inspección y ajuste de moldes	3.00	3.00	O1	2000.00	78.00
4.02.01	Rueda de Soplado/DISTRIBUCION DE AIRE/Bloque válvula neumáticas	Bloque válvula neumáticas	Fuga	\$1,568.40	CBM US Ultrasonido para la detección de fugas de aire	4.00	3.00	M2	1500.00	1.00
4.02.01	Rueda de Soplado/DISTRIBUCION DE AIRE/Bloque válvula neumáticas	Bloque válvula neumáticas	Bloqueo taponamiento /	\$2,036.00	Inspección y detección de fallas bloque de válvulas	3.00	3.00	O1	2000.00	6.50
5.02.03	Estrella de Botellas /SISTEMA DE EYECCION DE BOTELLA/levas	Levas	Desgaste	\$2,036.00	Inspección y ajuste de levas	3.00	3.00	O1	2000.00	6.50
6.04.01	Sistema Eléctrico e instrumentación/SISTEMA DE SEGURIDAD Y PROTECCION/Sensores de seguridad y dispositivos de enclavamiento	Sensores de seguridad y dispositivos de enclavamiento	Sobrecalentamiento	\$1,568.40	CBM TER Termografía a motores eléctricos, reductores de velocidad y tableros eléctricos	4.00	3.00	M2	1500.00	0.54
7.01.01	Sistemas Auxiliares/SISTEMA DE LUBRICACION/Bomba de lubricación	Bomba de lubricación	Bloqueo taponamiento /	\$1,568.40	CBM VIB Análisis de vibraciones para motores, reductores y elementos mecánicos rotativos	4.00	3.00	M2	1500.00	1.08

Fuente: Elaboración propia.

**Anexo F: Plan de capacitación/entrenamiento considerando costos y proveedores.**

Nombre de entrenamiento	Puesto de Trabajo	Cantidad de horas	Cantidad de personas	Costo Externo	Costo de Capacitación / Conocimiento / Año	Proveedor
<b>CBM TER Termografía a motores eléctricos, reductores de velocidad y tableros eléctricos</b>	M2	4	3	\$1,500.00	\$1,568.40	Electrolab Medic
<b>CBM US Ultrasonido para la detección de fugas de aire</b>	M2	4	3	\$1,500.00	\$1,568.40	Central de Rodamientos
<b>CBM VIB Análisis de vibraciones para motores, reductores y elementos mecánicos rotativos</b>	M2	4	3	\$1,500.00	\$1,568.40	Central de Rodamientos
<b>Inspección y ajuste de levas</b>	O1	3	3	\$2,000.00	\$2,036.00	Krones
<b>Inspección y ajuste de moldes</b>	O1	3	3	\$2,000.00	\$2,036.00	Krones
<b>Inspección y ajuste de Pinzas y transferencias</b>	O1	3	3	\$2,000.00	\$2,036.00	Krones
<b>Inspección y detección de fallas bloque de válvulas</b>	O1	3	3	\$2,000.00	\$2,036.00	Krones
<b>Total, general</b>		<b>24</b>	<b>21</b>	<b>\$12,500.00</b>	<b>\$12,849.20</b>	

Fuente: Elaboración propia.





TOTAL PLANE S / MES	28	31	29	30	28	28	27	29	28	29	27	28
---------------------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----