

# Implementación de un plan de mantenimiento integral para una planta de embotellado

Juan Daniel Díaz-Marín  
Nelson Antonio Vanegas-Molina  
Universidad Nacional de Colombia

 **Atena**  
Editora

Año 2024



# Implementación de un plan de mantenimiento integral para una planta de embotellado

Juan Daniel Díaz-Marín  
Nelson Antonio Vanegas-Molina  
Universidad Nacional de Colombia

Atena  
Editora

Año 2024

**Editora jefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora ejecutiva**

Natalia Oliveira

**Asistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecario**

Janaina Ramos

**Proyecto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Ellen Andressa Kubisty

Luiza Alves Batista

Nataly Evilin Gayde

Thamires Camili Gayde

**Imágenes de portada**

Santiago Vanegas Serna

**Edición de arte**

Luiza Alves Batista

2024 by Atena Editora

Derechos de autor © Atena Editora

Derechos de autor del texto © 2024

Los autores

Derechos de autor de la edición ©

2024 Atena Editora

Derechos de esta edición concedidos a Atena Editora por los autores.

Publicación de acceso abierto por Atena Editora



Todo el contenido de este libro tiene una licencia de Creative Commons Attribution License. Reconocimiento-No Comercial-No Derivados 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

El contenido del texto y sus datos en su forma, corrección y confiabilidad son de exclusiva responsabilidad de los autores, y no representan necesariamente la posición oficial de Atena Editora. Se permite descargar la obra y compartirla siempre que se den los créditos a los autores, pero sin posibilidad de alterarla de ninguna forma ni utilizarla con fines comerciales.

Todos los manuscritos fueron previamente sometidos a evaluación ciega por pares, miembros del Consejo Editorial de esta editorial, habiendo sido aprobados para su publicación con base en criterios de neutralidad e imparcialidad académica.

Atena Editora se compromete a garantizar la integridad editorial en todas las etapas del proceso de publicación, evitando plagios, datos o entonces, resultados fraudulentos y evitando que los intereses económicos comprometan los estándares éticos de la publicación. Las situaciones de sospecha de mala conducta científica se investigarán con el más alto nivel de rigor académico y ético.

**Consejo Editorial****Ciencias Exactas y de la Tierra e Ingeniería**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará

Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Profª Drª Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora

Profª Drª Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas

Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

Profª Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

# Implementación de un plan de mantenimiento integral para una planta de embotellado

**Diagramación:** Ellen Andressa Kubisty  
**Corrección:** Maiara Ferreira  
**Indexación:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisión:** Los autores  
**Autores:** Juan Daniel Díaz-Marín  
Nelson Antonio Vanegas-Molina

## Datos de Catalogación en Publicación Internacional (CIP)

D542 Díaz-Marín, Juan Daniel  
Implementación de un plan de mantenimiento integral para  
una planta de embotellado / Juan Daniel Díaz-Marín,  
Nelson Antonio Vanegas-Molina. – Ponta Grossa - PR:  
Atena, 2024.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acceso: World Wide Web

Inclui bibliografía

ISBN 978-65-258-2660-8

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.608241306>

1. Fábricas - Mantenimiento. I. Díaz-Marín, Juan Daniel.  
II. Vanegas-Molina, Nelson Antonio. III. Título.

CDD 697.9316

Preparado por Bibliotecario Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br

## DECLARACIÓN DE LOS AUTORES

Los autores de este trabajo: 1. Certifican que no tienen ningún interés comercial que constituya un conflicto de interés en relación con el artículo científico publicado; 2. Declaran haber participado activamente en la construcción de los respectivos manuscritos, preferentemente en: a) Concepción del estudio, y/o adquisición de datos, y/o análisis e interpretación de datos; b) Elaboración del artículo o revisión para que el material sea intelectualmente relevante; c) Aprobación final del manuscrito para envío; 3. Acreditan que los artículos científicos publicados están completamente libres de datos y/o resultados fraudulentos; 4. Confirmar la cita y la referencia que sean correctas de todos los datos e interpretaciones de datos de otras investigaciones; 5. Reconocen haber informado todas las fuentes de financiamiento recibidas para la realización de la investigación; 6. Autorizar la publicación de la obra, que incluye las fichas del catálogo, ISBN (Número de serie estándar internacional), D.O.I. (Identificador de Objeto Digital) y demás índices, diseño visual y creación de portada, maquetación interior, así como su lanzamiento y difusión según criterio de Atena Editora.

## DECLARACIÓN DEL EDITOR

Atena Editora declara, para todos los efectos legales, que: 1. Esta publicación constituye únicamente una cesión temporal del derecho de autor, derecho de publicación, y no constituye responsabilidad solidaria en la creación de manuscritos publicados, en los términos previstos en la Ley. sobre Derechos de autor (Ley 9610/98), en el artículo 184 del Código Penal y en el art. 927 del Código Civil; 2. Autoriza y estimula a los autores a suscribir contratos con los repositorios institucionales, con el objeto exclusivo de difundir la obra, siempre que cuente con el debido reconocimiento de autoría y edición y sin fines comerciales; 3. Todos los libros electrónicos son de acceso abierto, por lo que no los vende en su sitio web, sitios asociados, plataformas de comercio electrónico o cualquier otro medio virtual o físico, por lo tanto, está exento de transferencias de derechos de autor a los autores; 4. Todos los miembros del consejo editorial son doctores y vinculados a instituciones públicas de educación superior, según recomendación de la CAPES para la obtención del libro Qualis; 5. No transfiere, comercializa ni autoriza el uso de los nombres y correos electrónicos de los autores, así como cualquier otro dato de los mismos, para fines distintos al ámbito de difusión de esta obra.

El presente libro es el resultado de implementar un plan de mantenimiento integral en una empresa dedicada a la elaboración de bebidas no alcohólicas, producción de aguas minerales y de otras aguas embotelladas. La compañía cuenta con cinco líneas de embotellado las cuales producen un aproximado de dos millones de botellas diarias. Sin embargo, la planta se regía bajo un mantenimiento correctivo, lo cual genera paradas de producción inesperadas por la falla de algún componente, demoras en los tiempos de mantenimiento, tiempos muertos por falta de repuestos, baja disponibilidad y confiabilidad de las máquinas, y altos costos de mantenimiento. Además, la lubricación se realizaba de manera empírica basada en los conocimientos del lubricador, no existía un plan de capacitación o entrenamiento continuo, ni un plan de lubricación establecido con el cual se pudiera evidenciar y regular el tipo de lubricante aplicado, la cantidad y la frecuencia en la que se debía aplicar, lo que incrementaba la probabilidad de fallas por lubricación y los costos. Es el objetivo de este proyecto desarrollar un diagnóstico y realizar la implementación de un plan integral de mantenimiento preventivo y de lubricación para las líneas de producción de bebidas carbonatadas en la planta. La metodología seleccionada para el desarrollo de este proyecto es la del Mantenimiento Total Productivo (TPM) la cual está dividida en ocho pilares que se abordan para alcanzar la eficiencia esperada en el mantenimiento, tanto a nivel técnico como administrativo. Los principales resultados obtenidos al planear y llevar a cabo actividades de mantenimiento de una manera más organizada son el incremento de la eficiencia de producción, pasando del 58% al 79% en la línea de producción N°1, una reducción de las paradas inesperadas hasta en un 50% y una reducción en costos de lubricación cercana a los 18.400 USD, generando a su vez datos históricos para analizar a futuro el comportamiento de los componentes y fallas similares a las ya ocurridas; permitiendo lograr un plan de mantenimiento óptimo y eficiente de gran relevancia para la óptima operación y rentabilidad de la empresa.

**PALABRAS CLAVE:** Mantenimiento, confiabilidad, embotelladora, lubricación, producción, fallas.



<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....</b>	<b>6</b>
2.1 Definiciones de mantenimiento .....	6
2.2 Conceptos de mantenimiento a nivel mundial .....	7
2.3 Estrategias de mantenimiento .....	10
2.3.1 Ejecutar hasta el fallo .....	11
2.3.2 Mantenimiento Preventivo (PM) .....	11
2.3.3 El Plan de Mantenimiento (PIM) .....	12
2.3.4 Mantenimiento Predictivo (PdM).....	12
2.3.5 Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).....	13
2.3.6 Mantenimiento Basado en Riesgos (RBM) .....	14
2.3.7 Mantenimiento Productivo Total (TPM) .....	16
2.3.8 Mantenimiento impulsado por el valor (VDM) .....	18
2.3.9 Mantenimiento de calidad total (TQM) .....	19
2.3.10 Relaciones entre las estrategias de mantenimiento.....	19
2.4 Gestión de mantenimiento .....	21
2.5 Marco de gestión de mantenimiento .....	21
2.5.1 Marco de mantenimiento .....	22
2.5.2 Diferentes proyectos ejercidos ante el modelo desarrollado.....	24
2.5.3 Aplicación marco de gestión de mantenimiento .....	25
2.5.4 Herramientas y técnicas de gestión de mantenimiento .....	26
2.6 Mantenimiento y rendimiento.....	32
2.7 Medición del desempeño del mantenimiento .....	33
2.8 Indicadores de rendimiento .....	34
2.9 Mantenimiento en la industria de alimentos y bebidas.....	35
2.10 Desafío de mantenimiento en la industria de alimentos y bebidas .....	36

<b>3. RECOLECCIÓN Y EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN .....</b>	<b>37</b>
3.1 Activos periféricos .....	37
3.1.1 Planta de Tratamiento de Agua Potable N°1 (PTAP 1) .....	38
3.1.2 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales N°1 (PTAR1) .....	38
3.1.3 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales N°2 (PTAR 2).....	39
3.1.4 Sistema de Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ) .....	39
3.1.5 Sistema de Amoníaco .....	39
3.1.6 Sistema de Nitrógeno Líquido (N <sub>2</sub> ).....	40
3.1.7 Sistema de aire acondicionado .....	40
3.1.8 Despacho y logística ( <i>Picking</i> ).....	40
3.1.9 Taller de manufactura .....	41
3.2 Activos planta de producción .....	41
3.2.1 Planta de Tratamiento de Agua Potable N°2 (PTAP 2) .....	41
3.2.2 Zona de materias primas .....	42
3.2.3 Preparación de jarabe simple .....	42
3.2.4 Preparación de jarabe terminado .....	42
3.2.5 Cuarto de limpieza interna o <i>Clean In Place</i> (CIP).....	43
3.2.6 Línea de producción N°1 .....	43
3.2.7 Línea de producción N°2 .....	43
3.2.8 Línea de producción N°3 .....	43
3.2.9 Línea de producción N°4 .....	44
3.2.10 Línea de producción N°5.....	44
3.2.11 Soplado .....	46
3.2.12 Transporte aéreo .....	47
3.2.13 Mezclado .....	47
3.2.14 Refrigerado .....	48
3.2.15 Llenado .....	49

3.2.16 Transporte de botellas .....	50
3.2.17 Marcado.....	50
3.2.18 Etiquetado .....	51
3.2.19 Enfardado.....	51
3.2.20 Transporte de paquetes .....	52
3.2.21 Paletizado .....	52
3.2.22 Estresado.....	53
3.3 Análisis de criticidad .....	54
3.4 Análisis de condiciones de lubricación e identificación de puntos.....	59
<b>4. ESTRUCTURACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO .....</b>	<b>67</b>
4.1 Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA) .....	67
4.2 Diagrama de decisión de actividades .....	85
4.3 Cartas de lubricación .....	98
4.4 Plan de capacitación del personal .....	104
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>106</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>108</b>
<b>SOBRE LOS AUTORES.....</b>	<b>113</b>

# INTRODUCCIÓN

La planta embotelladora objeto de estudio, es una empresa que ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos cinco años, posicionándose como una de las embotelladoras más importantes con mayor crecimiento económico en el año 2021. Sin embargo, paradas en la producción por fallas inesperadas y la baja disponibilidad de las máquinas, generan constantemente una producción limitada y escasez de inventarios, lo que obliga a regular o reducir las ventas. Además de los altos costos de mantenimiento o reparación y largos tiempos improductivos por falta de repuestos, personal o conocimiento sobre la máquina. Por estas razones, es de suma importancia avanzar y desarrollar un plan de mantenimiento acorde a las necesidades de la empresa, buscando un mayor crecimiento económico mediante el aumento de la producción y la reducción de costos.

El crecimiento comercial experimentado por las empresas manufactureras, especialmente de la industria de bebidas, ha resultado en una alta competitividad en el mercado debido a la oferta de productos de alta calidad. Esto obliga a los gerentes e ingenieros a depender directamente de equipos y maquinarias automatizadas. Por esta razón, se vuelve crucial implementar un plan de mantenimiento para garantizar la disponibilidad de la máquina y permitir el cumplimiento del programa de producción recomendado.

El programa de mantenimiento de la empresa embotelladora tiene como objetivo garantizar un alto rendimiento de las máquinas y alcanzar las metas establecidas por la empresa para asegurar la continuidad del proceso productivo. Basado en estándares de limpieza, inspección, lubricación y ajuste; este programa de mantenimiento ayuda a reducir el envejecimiento mecánico al tiempo que disminuye los costos de mantenimiento por repuestos, mano de obra y servicios profesionales.

El objetivo general es desarrollar un plan integral de mantenimiento preventivo y de lubricación para las líneas de producción de bebidas carbonatadas. Y los objetivos específicos son: 1) recopilar y evaluar información en campo y con personal de la empresa sobre el contexto operacional de los equipos más críticos en las líneas de producción, 2) evaluar condiciones de operación y mantenimiento de los equipos seleccionados, para validar los datos obtenidos, 3) analizar los modos y efectos de fallas de las principales máquinas del proceso y sus subsistemas, 4) definir las actividades de mantenimiento e inspecciones de los equipos, que se deben realizar para reducir la probabilidad de fallas, y 5) generar un plan de capacitación técnica, para el personal de mantenimiento planeado y autónomo para la futura implementación del programa de mantenimiento integral.

Antes de la implementación de este programa, la empresa no manejaba métricas, rutinas o estándares de mantenimiento que redujeran el mantenimiento correctivo, y se vio en la necesidad de desarrollar un plan que optimizara esta actividad interna.

Por otro lado, la empresa, a través de las pasantías y prácticas estudiantiles, contribuye a adquirir experiencia y conocimiento del funcionamiento de las máquinas y sus componentes, así como de las líneas de producción que componen la industria de embotellado y las variables a considerar en la producción; permitiéndole al aprendiz realizar labores de mantenimiento y participar en el proceso productivo, lo que facilita su desarrollo personal y profesional. Además de aportar valor agregado a la empresa, bien sea con los aportes realizados por cada persona durante el periodo de pasantía o como futuro personal vinculado a la empresa y con conocimiento en las actividades productivas y de mantenimiento que allí se desarrollan.

En el desarrollo de este trabajo, se ha completado la elaboración del plan de mantenimiento de máquinas para la línea de producción de mayor criticidad para la empresa, en la cual se tuvo en consideración los 12 procesos o máquinas que integran la línea y la obtención de actividades de mantenimiento para cada una de ellas, con sus respectivos equipos y componentes. Lo que ha permitido elevar la eficiencia global de la línea, pasando de un 57% a un 74%, reduciendo la frecuencia de las paradas inesperadas en un 70% y logrando reducir los costos de mantenimiento y lubricación en aproximadamente 18.400 USD. Razón por la cual se busca extender dicha metodología a las demás líneas de producción.

# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La planta de embotellado objeto de estudio, fue fundada en el año 2010, es una empresa dedicada a la elaboración de bebidas no alcohólicas, producción de aguas minerales y otras aguas embotelladas. La compañía cuenta con cinco líneas de embotellado las cuales producen aproximadamente dos millones de botellas diarias. Sin embargo, la planta aún opera bajo un sistema de mantenimiento correctivo, lo que genera paradas inesperadas de producción debido a fallas de algunos componentes, demoras en los tiempos de mantenimiento, tiempos muertos por falta de repuestos, baja disponibilidad y confiabilidad de las máquinas, errores e ineficiencia del personal al momento de intervenir y operar las máquinas, así como altos costos de mantenimiento.

Adicionalmente, las actividades de lubricación se realizaban de manera empírica, basándose en los conocimientos del lubricador. No existía un plan de capacitación o entrenamiento continuo, ni un plan de lubricación establecido que permitiera evidenciar y regular el tipo de lubricante aplicado, la cantidad y la frecuencia necesaria, lo que incrementa la probabilidad de fallas por lubricación y los costos asociados.

Como primer paso para dar solución a este problema, la empresa adquirió el *software* de mantenimiento denominado *Mántum* con el fin de planificar, ejecutar y controlar las actividades de mantenimiento de una manera más organizada, generando datos históricos en relación a las fallas, intervenciones y funcionamiento de las máquinas para analizar el comportamiento de los componentes de tipo mecánico, eléctrico y electrónico y prevenir fallas similares en el futuro. Sin embargo, este sería solo el primer paso hacia un plan de mantenimiento óptimo y eficiente, ya que constituiría la base para llegar a un mantenimiento proactivo, como se muestra en la Figura 1. Este enfoque representa una combinación de técnicas preventivas y predictivas, acompañadas por una óptima planeación de actividades.

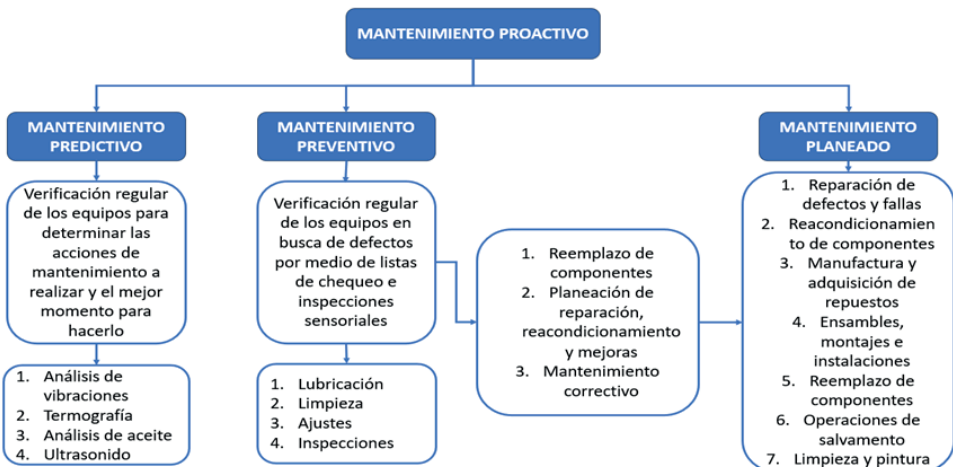


Figura 1. Mantenimiento proactivo

La empresa de embotellado de este caso de estudio ha tenido un crecimiento exponencial en los últimos cinco años, situándose como una de las empresas embotelladoras más importantes y con un crecimiento económico muy alto en el año 2021; sin embargo, las paradas por fallas inesperadas y la baja disponibilidad de los equipos de producción, generan constantemente una producción reducida y escasez en los inventarios, teniendo que regular o reducir las ventas; además, de los altos costos de mantenimiento o reparación y largos tiempos improductivos por falta de repuestos, personal o conocimiento técnico y operativo sobre la máquina.

Por estos motivos, se hace de suma importancia avanzar y desarrollar un plan de mantenimiento que vaya acorde a las necesidades de la empresa, buscando un mayor crecimiento económico al incrementar producción y reducir costos. Iniciando con la recolección de información para conocer el estado actual de los equipos, su funcionamiento y las necesidades que se deben atender en cuanto a mantenimiento y lubricación.

La metodología seleccionada para el desarrollo de este proyecto es la del Mantenimiento Total Productivo (TPM), la cual está dividida en ocho pilares principales, como se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Pilares del Mantenimiento Total Productivo (TPM)

La metodología TPM muestra los principales pilares que se deben abordar para alcanzar la eficiencia esperada en el mantenimiento y que se ampliarán más adelante, tanto a nivel técnico como administrativo. Por lo tanto, el primer paso para implementar la metodología es conocer los activos que se tienen, por lo que se debe levantar información sobre cada una de las máquinas, conocer sus parámetros de funcionamiento, analizar sus componentes y levantar un histórico de fallas.

Luego de recopilar y analizar dicha información, se deben definir las actividades de inspección e intervención para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos. Estas actividades se pueden dividir en dos partes: 1) las que puede realizar el personal operativo, mejor conocidas como mantenimiento autónomo; y 2) las que debe realizar el personal de mantenimiento que son las intervenciones planeadas.

Al tener definidas todas las actividades, se crean instructivos y estrategias para capacitar y entrenar al personal de la planta que deban intervenir, interactuar y verificar las máquinas y su funcionamiento, esto con el fin de que cada intervención sea eficiente y garantice la confiabilidad y disponibilidad de los activos, reduciendo también riesgos de accidentes o lesiones.

Finalmente, la metodología TPM se implementa a nivel administrativo, enfocada principalmente al orden en el lugar de trabajo y a la organización en el tema de inventarios, solicitudes de repuestos, manejo de lubricantes, herramientas, insumos, consumibles; así como también en la sección de personal, recursos humanos, seguridad y salud en el trabajo, gestión documental y oficinas administrativas.



# REVISIÓN DE LA LITERATURA

## 2.1 DEFINICIONES DE MANTENIMIENTO

El mantenimiento es parte integral de la estrategia de producción para el éxito general de una organización dedicada a la producción y desarrollo de bienes y/o servicios. Su principal objetivo es restaurar rápidamente los equipos a su estado de disponibilidad operativa utilizando los recursos disponibles (Zweekhorst, 1996). Se ha convertido en una función importante que afecta y se ve influenciada por diversas áreas funcionales, como producción, calidad, inventario, *marketing* y recursos humanos. Además, se considera como una parte esencial de la cadena de suministro empresarial a nivel mundial. Este creciente papel del mantenimiento se refleja en su alto costo, estimado en alrededor del 30% del costo total de funcionamiento de las empresas modernas de fabricación y construcción (Al-Turki, 2011).

La gestión del mantenimiento son todas las actividades de la dirección que determinan los objetivos, las estrategias y las responsabilidades del mismo, además de su implementación por medios como la planificación, el control y la mejora de las actividades y de su economía (EN 13306, 2010). También Wireman definió el mantenimiento, como la gestión de todos los activos propiedad de una empresa, basada en maximizar el retorno de la inversión en el activo (Wireman, 2005).

La medición del desempeño del mantenimiento se define como el proceso multidisciplinario de medir y justificar el valor creado por la inversión en mantenimiento, atendiendo los requisitos de los accionistas de la organización vistos estratégicamente desde la perspectiva comercial general (Parida y Chattopadhyay, 2007).

Al revisar la literatura, es común encontrar que los autores usan una variedad de términos y palabras para describir el mismo concepto o uno similar en el estudio de la gestión del mantenimiento. Términos como modelos de mantenimiento, métodos de mantenimiento, técnicas de mantenimiento, sistemas de mantenimiento, tipos de mantenimiento, filosofías de mantenimiento, estrategias de mantenimiento y modelos de gestión de mantenimiento se utilizan regularmente en toda la literatura para describir la misma noción de mantenimiento (Parida *et al.*, 2015 y Fraser *et al.*, 2015). Estos términos se resumen en la Figura 3.



Figura 3. Definiciones de mantenimiento

Sin embargo, según Parida y Kumar, el mantenimiento se define como la combinación de todas las acciones técnicas y administrativas, incluida la supervisión, destinadas a retener un elemento o restaurarlo a un estado en el que pueda realizar una función requerida. La gestión del mantenimiento hace uso de herramientas y técnicas para mejorar la eficiencia y minimizar los impactos de las paradas no planificadas buscando reducir costos (Parida A. y Kumar U., 2006).

El marco conceptual es un marco que explica, ya sea gráficamente o en forma narrativa, los temas principales que se estudiarán, sus factores, construcciones o variables clave y las supuestas relaciones entre ellos (Parida *et al.*, 2015). Aunque el mantenimiento se ha considerado tradicionalmente como un mal necesario, pero en realidad es más un centro de ganancias que un gasto inevitable e impredecible (Alsyouf, 2007).

## 2.2 CONCEPTOS DE MANTENIMIENTO A NIVEL MUNDIAL

Debido a los crecientes avances técnicos, el estímulo de la productividad y la calidad se está trasladando del hombre a la máquina, debido a que, con la automatización de procesos productivos se espera obtener un mayor número de unidades y altas velocidades de producción, garantizando la calidad del producto y reduciendo al mínimo las pérdidas. La productividad y la calidad solo se pueden aumentar mediante la implementación de un sistema de mantenimiento bien desarrollado y organizado (Phogat y Gupta, 2017).

Normalmente se percibe que el mantenimiento tiene una tasa de rendimiento más baja que otras partidas presupuestarias importantes dentro de las empresas. Sin embargo,

la mayoría de las empresas pueden reducir los costos de mantenimiento en al menos un tercio y mejorar la productividad si le dan al mantenimiento la prioridad de gestión que requiere. Esta prioridad debe abarcar todos los niveles de la estructura de gestión de una organización, para desarrollar una comprensión en cada nivel de la importancia que el mantenimiento tiene sobre el éxito o el fracaso de los objetivos organizacionales (Ahuja y Khamba, 2007).

Anualmente, se destinan miles de millones de dólares al mantenimiento de equipos en todo el mundo, y a lo largo de los años, se han producido muchos desarrollos nuevos en esta área (AMCP, 1975). Antes el personal administrativo (Wireman, 1990; Jonsson, 1997; McKone *et al.*, 2001; y Naughton y Tiernan, 2012) veía el mantenimiento con desdén y lo consideraban una carga para el resultado final, pero con la introducción del concepto de valor en el mantenimiento, se está reconociendo lentamente su verdadero papel. Sin embargo, esta evolución se ve obstaculizada por el hecho de que la estrategia de gestión del mantenimiento está algo subdesarrollada en comparación con otras disciplinas de gestión, como la gestión de operaciones.

En el siglo XXI, se requerirán nuevas ideas y nuevas estrategias para realizar los beneficios potenciales y convertirlos en rentabilidad. En general, las operaciones rentables serán aquellas que hayan empleado el pensamiento moderno para desarrollar una estrategia de administración de equipos que aproveche de manera efectiva la nueva información, tecnología y métodos. La recesión económica y el entorno empresarial dinámico impulsan a las empresas a buscar un mantenimiento más eficiente y eficaz. Por lo tanto, la creciente competencia en el mercado crea la necesidad de buscar nuevas formas en las que las empresas puedan diferenciarse y obtener más ganancias para mejorar su posición competitiva (Maletic *et al.*, 2014).

El mantenimiento consta de dos partes: una parte de ingeniería y otra de gestión. La parte de ingeniería se centra en mejorar las operaciones de mantenimiento, reducir la cantidad y la frecuencia del mantenimiento, disminuir el efecto de la complejidad, reducir las habilidades de mantenimiento requeridas y la cantidad de soporte de suministro, establecer la frecuencia y extensión óptimas del mantenimiento preventivo, mejorar y asegurar la máxima utilización de las instalaciones de mantenimiento, y mejorar la organización del mantenimiento.

Por otro lado, la parte de gestión se refiere a todas las actividades de gestión que determinan los objetivos o prioridades de mantenimiento (metas asignadas y aceptadas por el departamento), estrategias (métodos de gestión para lograr los objetivos) y responsabilidades, implementándolas mediante la planificación control y supervisión del mantenimiento, así como diversos métodos de mejora, incluyendo los aspectos económicos y la función de proporcionar orientación política para las actividades de mantenimiento; además, de ejercer el control técnico y de gestión de los programas de mantenimiento (Crespo, 2007).

La organización del mantenimiento en una planta puede centralizarse o descentralizarse, dependiendo del tamaño de la empresa, la complejidad y el producto producido. La experiencia indica que en plantas grandes normalmente funciona mejor una combinación de mantenimiento centralizado y descentralizado, ya que los beneficios de ambos sistemas pueden lograrse esencialmente con un bajo número de inconvenientes. Aunque ningún tipo particular de organización de mantenimiento es útil para todos los tipos de empresas (Dhillon, 2001), Mientras que Haroun y Duffuaa (Haroun y Duffuaa, 2009) y Wireman (Wireman, 2005) clasifican la estructura organizativa de mantenimiento en tres tipos: centralizada, descentralizada y matriz o estructura híbrida.

Para lograr una adecuada organización del mantenimiento, se debe ajustar la organización a las personalidades involucradas y mantener las líneas verticales de autoridad y responsabilidad lo más cortas posible son pautas útiles para la planificación de una organización de mantenimiento. El equipo de mantenimiento es un factor importante que demanda estrategias para mejorar el nivel de competencia. Por lo tanto; es necesario gestionar actividades y recursos que permitan al área de mantenimiento cumplir con su función (de Oliveira *et al.*, 2014).

La literatura muestra que la gestión del mantenimiento es relevante para el óptimo desempeño de una empresa (Pintelon *et al.*, 2006; Enofe y Aimienrovbiy, 2010; Parida *et al.*, 2015). La Tabla 1 muestra las tendencias emergentes en mantenimiento según Pintelon y Garg (Pintelon *et al.*, 2006; Garg y Deshmukh, 2006).

Tabla 1. Tendencias emergentes en mantenimiento (Pintelon *et al.*, 2006; Garg y Deshmukh, 2006)

<b>Atributo</b>	<b>Más temprano</b>	<b>Emergentes</b>
Mano de obra	Simple	Mecanización – automatización - globalizaciones (cruzando fronteras)
Actitud hacia el mantenimiento	Maldad necesaria	Asunto técnico - contribuyente de utilidades - asociación
Estrategia de mantenimiento	Gestión de la Configuración (CM) - Mantenimiento Preventivo (PM) - Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) - Mantenimiento Total Productivo (TPM)	Integración de varios enfoques, por ejemplo, Mantenimiento Centrado en la Eficiencia (ECM), Sistema de Manejo de Materiales (SMM)
Modelos de optimización de mantenimiento (cuantitativo)	Disciplina matemática con aplicaciones limitadas	Orientado a la aplicación, integración con enfoques cualitativos.
Subcontratación de mantenimiento	No existente	Parte de la contratación vertical
Programación de mantenimiento	Modelos en aislamiento	Integración con, Sistema de Información de Gestión de Mantenimiento (MMIS)

Indicadores de desempeño	Números de referencia, encuestas, indicadores, modelos - Hibi y Luck, (Pintelon y Van Puyvelde, 1997),	Modelo de Herramienta de Gestión de Mantenimiento (MMT)
Enfoques de medición del desempeño	Enfoque basado en el valor, enfoque de auditoría de sistemas, Análisis Envolvente de Datos (DEA)	Enfoque de tarjeta de puntuación de balance (BSC), implementación de funciones de calidad <i>Quality Function Deployment</i> (QFD)
Integración del Plan de Mantenimiento Predictivo (PMS) dentro del sistema de formación	Pobre	Desarrollando
Recopilación de datos en la medición de la Eficacia General de los Equipos (OEE)	No suficientemente tratado	Diseño del sistema de recopilación de datos
Evolución del Sistema Integrado de Gestión del Mantenimiento (SIGM)	Marco principal aplicaciones y principalmente orientado a la administración	Evolución en <i>software</i> intermedio (por ejemplo, comunicación entre la empresa y la planta), informática de grupos de trabajo Tecnología de sistemas integrados, tecnología inter-empresarial
Gestión de repuestos	Administración de inventario	Interfaz gráfica de usuario (GUI, por sus siglas en inglés), sistemas de información de gestión de mantenimiento (MMIS, por sus siglas en inglés)
Nuevas políticas de mantenimiento	Técnicas en aislamiento	Estrategia de mantenimiento en el sistema (MRP), Implementación conjunta de Mantenimiento de Calidad Total (TQM), Justo a Tiempo (JIT) y Mantenimiento Total Productivo (TPM), mantenimiento de gestión neuronal, marco de concepto de mantenimiento personalizado, modelo de gestión de mantenimiento orientado a objetos y su integración a la Planificación de Recursos Empresariales (ERP), conocimiento de la utilización de los ingenieros de mantenimiento, correlación entre el rendimiento del cambio y las tareas de mantenimiento

Para este trabajo se revisaron y presenta un total de ocho marcos de gestión de mantenimiento, con herramientas, técnicas relacionadas; los detalles se presentan en la sección de gestión de mantenimiento y marco de gestión del mantenimiento.

## 2.3 ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO

Hay muchos enfoques diferentes que pueden combinarse, según el tipo de activos, la industria, el tamaño y la experiencia del equipo de mantenimiento, los cuales se representan en la Figura 4, y se detallan a continuación.

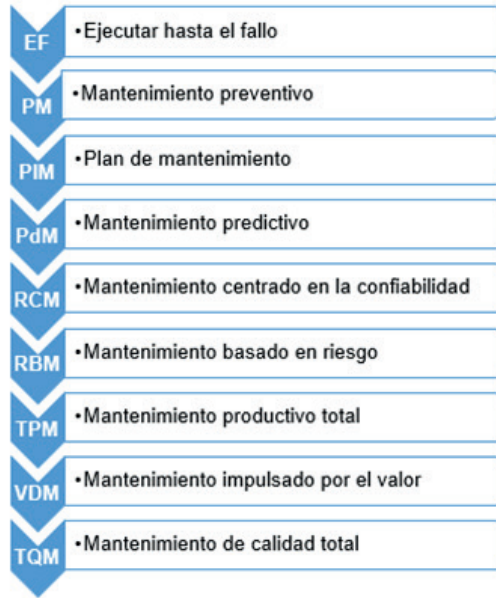


Figura 4. Estrategias de mantenimiento

### 2.3.1 Ejecutar hasta el fallo

Su filosofía básica es permitir que la maquinaria funcione hasta fallar y reparar o reemplazar el equipo dañado cuando ocurran problemas obvios (Mungani y Visser, 2013).

Los equipos designados como de ejecución a falla se reparan en caso de avería (mediante reparación, restauración o reemplazo de piezas) hasta que sea más factible pedir simplemente un equipo de reemplazo. La estrategia es aceptable para el equipo que tiene una importancia mínima en las operaciones de producción (rara vez se usa o duplica la función de algún otro equipo) o tiene un costo bajo (Wireman, 2005).

### 2.3.2 Mantenimiento Preventivo (PM)

El investigador Dhillon (Dhillon, 2001), menciona las características de una empresa que necesita implementar mantenimiento preventivo:

- Bajos usos de equipos por fallas.
- Gran volumen de desechos y rechazos debido a equipos poco confiables.
- Aumento en los costos de reparación de equipos debido a la negligencia en áreas como la lubricación regular, la inspección y el reemplazo de elementos/componentes desgastados.
- Altos tiempos de inactividad del operador debido a fallas en el equipo.
- Reducción en la vida productiva esperada del equipo de capital debido a un mantenimiento insatisfactorio.

### 2.3.3 El Plan de Mantenimiento (PIM)

También puede describirse como el cuidado y servicio de las personas involucradas en el mantenimiento para mantener los equipos/instalaciones en un estado operativo satisfactorio mediante la inspección, detección y corrección sistemáticas de fallas incipientes, ya sea antes de que ocurran o antes de que se conviertan en fallas mayores (de Oliveira *et al.*, 2014).

Algunos de los principales objetivos de PIM son:

- Mejorar la vida productiva de los equipos de capital.
- Reducir las averías de los equipos críticos.
- Permitir una mejor planificación y programación del trabajo de mantenimiento necesario.
- Minimizar las pérdidas de producción por fallas en los equipos y promover la salud y seguridad del personal de mantenimiento.

En la estrategia de mantenimiento preventivo, los equipos se deben inspeccionar periódicamente, lubricar, limpiar, calibrar, probar que todas las piezas eléctricas y mecánicas estén en pleno funcionamiento y reemplazar las piezas dañadas para que el equipo funcione en buenas condiciones.

### 2.3.4 Mantenimiento Predictivo (PdM)

El mantenimiento predictivo a menudo se denomina Mantenimiento Basado en Condiciones (CBM, por sus siglas en inglés). En esta estrategia, el mantenimiento se inicia en respuesta a una condición específica del equipo o al deterioro del rendimiento (Alsyouf, 2007; Phogat y Gupta, 2017).

El mantenimiento predictivo es el monitoreo de las condiciones de operación del equipo para detectar cualquier signo de desgaste que esté provocando la falla de un componente. El objetivo del programa de mantenimiento predictivo es rastrear el desgaste de los componentes con una metodología que asegure que se detecte cualquier falla inminente. Una vez detectado, el desgaste de los componentes se sigue más de cerca. Esta metodología incluye diferentes técnicas de seguimiento y diagnóstico como; monitoreo de vibraciones, termografía, tribología, parámetros de proceso, inspección visual y otras técnicas de prueba no destructivas. La planificación ineficaz y las reparaciones inadecuadas restringen los beneficios del mantenimiento predictivo (Dhillon, 2002 y Wireman, 2005).

El programa de mantenimiento predictivo puede minimizar las averías no programadas de los equipos al proporcionar los datos necesarios para programar las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo según sea necesario. El mantenimiento predictivo tiene amplias aplicaciones en la industria automotriz, aeronáutica, manufacturera, de defensa y otras (Prajapati *et al.*, 2012).

### 2.3.5 Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) es una estrategia de mantenimiento a nivel corporativo que se implementa para optimizar el programa de mantenimiento de una empresa o instalación. El resultado final de un programa RCM es la implementación de una estrategia de mantenimiento específica en cada uno de los activos de la instalación. La formulación de las estrategias de mantenimiento es mediante la selección de la combinación correcta de mantenimiento correctivo, mantenimiento programado (o preventivo) y CBM para respaldar completamente la confiabilidad del sistema en cualquier entorno operativo determinado (Ashok *et al.*, 2012).

Los principios del programa de RCM son:

- El objetivo principal es preservar la función del sistema.
- Identificar los modos de falla que pueden afectar la función del sistema.
- Priorizar los modos de falla.
- Seleccionar tareas aplicables y efectivas para controlar los modos de falla.

Una implementación eficaz de RCM examina la instalación como una serie de sistemas funcionales, cada uno de los cuales tiene entradas y salidas que contribuyen al éxito de la instalación. La literatura afirma que, si los enfoques de RCM se aplican correctamente, se reduce la cantidad de trabajo de mantenimiento de rutina entre un 40%-70% (Probert *et al.*, 2006). Es la confiabilidad, más que la funcionalidad de estos sistemas lo que se considera. Las siete preguntas que deben hacerse para cada activo son (Keith Mobley *et al.*, 2008):

- ¿Cuáles son las funciones y los estándares de rendimiento deseados de cada activo?
- ¿Cómo puede cada activo dejar de cumplir sus funciones?
- ¿Cuáles son los modos de falla para cada falla funcional?
- ¿Qué causa cada uno de los modos de falla?
- ¿Cuáles son las consecuencias de cada fracaso?
- ¿Qué se puede y/o se debe hacer para predecir o prevenir cada falla?
- ¿Qué se debe hacer si no se puede determinar una tarea proactiva adecuada?

El RCM identifica las funciones de la empresa que son más críticas y luego busca optimizar sus estrategias de mantenimiento para minimizar las fallas del sistema y, en última instancia, aumentar la confiabilidad y disponibilidad del equipo. Los activos más críticos son aquellos que probablemente fallarán con frecuencia o tendrán grandes consecuencias de falla. Con esta estrategia de mantenimiento se identifican los posibles modos de falla y sus consecuencias; todo mientras se considera la función del equipo. Entonces se pueden



determinar técnicas de mantenimiento rentables que minimicen la posibilidad de fallas. A continuación, se adoptan las técnicas más eficaces para mejorar la fiabilidad de la instalación en su conjunto.

Hay varios métodos diferentes para implementar el RCM que se recomiendan, resumidos en los siguientes siete pasos:

- **Paso 1.** Selección de equipos para análisis RCM.
- **Paso 2.** Definir los límites y la función de los sistemas que contienen el equipo seleccionado.
- **Paso 3.** Definir las formas en que el sistema puede fallar (modos de falla).
- **Paso 4.** Identificar las causas raíz de los modos de falla.
- **Paso 5.** Evaluar los efectos del fracaso.
- **Paso 6.** Seleccione una táctica de mantenimiento para cada modo de falla.
- **Paso 7.** Implemente y luego revise regularmente la táctica de mantenimiento seleccionada.

Hay varias técnicas recomendadas que se utilizan para dar al Paso 5 (Evaluar los efectos del fracaso) un enfoque sistemático, estos incluyen:

- Análisis de fallas, modos y efectos (FMEA).
- Análisis de falla, modo, efecto y criticidad (FMECA).
- Estudios de peligrosidad y operatividad (HAZOPS).
- Análisis de árbol de fallas (FTA).
- Inspección basada en riesgos (RBI).

En definitiva, una de las mayores desventajas de RCM es su complejidad y, en consecuencia, su precio. La confiabilidad, más que la mantenibilidad y la disponibilidad, es el objetivo principal. Tal enfoque es justificable en las industrias de aeronaves/líneas aéreas y en las industrias de alta tecnología/alto riesgo, pero a menudo es demasiado costoso en las industrias generales, donde el mantenimiento es más un problema económico que de confiabilidad (Pintelon *et al.*, 2006).

### **2.3.6 Mantenimiento Basado en Riesgos (RBM)**

El Mantenimiento Basado en Riesgos (RBM) prioriza los recursos de mantenimiento hacia los activos que conllevan el mayor riesgo si fallaran. Es una metodología para determinar el uso más económico de los recursos de mantenimiento. Esto se hace para que el esfuerzo de mantenimiento en una instalación se optimice para minimizar cualquier riesgo de falla (Khan y Haddara, 2003).

Una estrategia RBM se basa en dos fases principales: 1) evaluación de riesgos, 2) planificación del mantenimiento en función del riesgo.

El tipo de mantenimiento y la frecuencia se priorizan en función del riesgo de falla. Los activos que tienen un mayor riesgo y consecuencia de falla, son mantenidos y monitoreados con mayor frecuencia. Los activos que conllevan un menor riesgo están sujetos a programas de mantenimiento menos estrictos. La implementación de un proceso RBM significa que el riesgo total de falla se minimiza en toda la instalación de la manera más económica.

Los programas de monitoreo y mantenimiento para activos de alto riesgo suelen ser programas de mantenimiento basados en la condición. El RBM es una estrategia adecuada para cualquier plan de mantenimiento. Como metodología, proporciona un enfoque sistemático para determinar los planes de mantenimiento de activos más adecuados. Tras la implementación de estos planes de mantenimiento, el riesgo de falla de los activos será bajo (Arunraj y Maiti, 2007).

El marco de RBM se aplica a cada sistema en una instalación. Un sistema; por ejemplo, puede ser un recipiente de alta presión. Ese sistema tendrá sistemas vecinos que pasen fluido hacia y desde el recipiente. Primero se determinan los posibles modos de falla del sistema. Luego, se aplica a cada riesgo un marco típico de mantenimiento basado en el riesgo.

Para cada riesgo identificado, es necesario recopilar datos. Esto incluye información sobre el riesgo, sus consecuencias generales y los métodos generales utilizados para mitigar y predecir el riesgo.

En la etapa de evaluación de riesgos, tanto la probabilidad del riesgo como la consecuencia del riesgo se cuantifican en el contexto de la instalación en consideración. Con la evaluación de riesgos completa, la probabilidad y la consecuencia se combinan para determinar el riesgo total. Este riesgo total se clasifica frente a niveles predeterminados de riesgo. Como resultado, el riesgo es aceptable o inaceptable.

Si el riesgo es inaceptable, se determina un plan para inspeccionar el sistema usando un enfoque de monitoreo de condición. O, si es más apropiado en términos de costo y técnicamente factible, podría seleccionarse un programa de mantenimiento preventivo. En esta etapa se elabora la propuesta de mitigación del riesgo, utilizando el enfoque de monitoreo de condición y mantenimiento.

Finalmente, la propuesta se evalúa frente a otros factores, como los requisitos legales y reglamentarios. Si no se satisfacen las necesidades de la propuesta, entonces el proceso comienza de nuevo. De lo contrario, se pone en marcha la propuesta de mantenimiento.

No existe un método estándar para evaluar el riesgo. Se utilizan enfoques cualitativos, semi-cuantitativos y cuantitativos para determinar los posibles riesgos que existen. Para estimar la probabilidad de estos riesgos, los métodos que se utilizan incluyen enfoques deterministas y probabilísticos. Enfoques diferentes para evaluar el riesgo se describen en Tixer (Tixer *et al.*, 2002). El enfoque más apropiado dependerá de los datos que estén disponibles para evaluar cada riesgo. Evaluar el riesgo de falla es uno de los aspectos más importantes del mantenimiento basado en el riesgo. Cuanto más exactamente se haga esto, mejores serán los resultados del RBM.

### 2.3.7 Mantenimiento Productivo Total (TPM)

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) es un enfoque de mantenimiento desarrollado en Japón que trae las herramientas de gestión de calidad total (TQM) al mantenimiento. El único cambio es que, en lugar de que las empresas se concentren en sus productos, su enfoque cambia a sus activos. Todas las herramientas y técnicas utilizadas para implementar, mantener y mejorar el esfuerzo de calidad total se pueden utilizar en TPM (Wireman, 2005). El objetivo de TPM es reducir seis categorías de pérdidas de equipos para mejorar la eficacia general de los equipos (OEE). Las seis principales causas de pérdida de equipos, según Nakajima (Nakajima, 1988), son:

- Falla.
- Puesta a punto y ajustes.
- Ralentí y parada menor.
- Velocidad reducida.
- Defectos de proceso.
- Rendimiento reducido.

El TPM empodera a los operadores de la planta y utiliza oficios con múltiples habilidades para minimizar el tiempo de respuesta y realizar un mantenimiento productivo. Se espera que la implementación ayude a mejorar la eficacia y el control del mantenimiento (Ben-Daya *et al.*, 2009).

El TPM está diseñado para maximizar la efectividad del equipo (mejorando la eficiencia general) mediante el establecimiento de un sistema integral de mantenimiento productivo que cubra toda la vida útil del equipo, abarcando todos los campos relacionados con el equipo (planificación, uso, mantenimiento) y, con la participación de todos los empleados, desde la alta dirección hasta los trabajadores de planta, promover el mantenimiento productivo a través de la gestión de la motivación o actividades voluntarias en pequeños grupos (Tsuchiya, 1992; McKone y Schroeder, 1999), en la Figura 5 se representa el enfoque del TPM.



Figura 5. Enfoque del Mantenimiento Productivo Total (TPM)

El TPM es un enfoque innovador que tiene el potencial de mejorar la eficiencia y la eficacia de los equipos de producción aprovechando las habilidades y destrezas de todos los individuos de la organización. El TPM se enfoca en maximizar la eficiencia general del equipo (OEE) con la participación de todos y cada uno en la organización. No solo establecerá un sistema de mantenimiento completo; sino, que también tiene como objetivo mejorar las habilidades y el conocimiento de mantenimiento entre los operadores de planta. Ahora, el TPM y sus implicaciones recibieron un prestigioso reconocimiento mundial por lograr los objetivos definitivos de cero defectos y cero averías. Menos averías, un lugar de trabajo más seguro y un mejor rendimiento general son algunas de las ventajas del TPM.

Bajo la filosofía TPM, todos, desde la gerencia de alto nivel hasta los operadores de equipos, deben participar en el mantenimiento: 1) ingenieros de alta gerencia y confiabilidad, 2) operadores, y 3) responsables y técnicos de mantenimiento.

El TPM se basa en la metodología 5S, la cual está pensada para dar orden y sentido a las dinámicas de trabajo y se compone de cinco principios fundamentales: Organización (*Seiri*), Orden (*Seiton*), Limpieza (*Seiso*), Estandarización (*Seiketsu*) y Disciplina (*Shitsuke*), con ocho pilares de soporte. El comienzo de un programa TPM se centrará en establecer la base de las 5S y desarrollar un plan de mantenimiento autónomo. Esto liberará al personal de mantenimiento para comenzar proyectos más grandes y realizar un mantenimiento más planificado.

### 2.3.8 Mantenimiento impulsado por el valor (VDM)

El mantenimiento impulsado por el valor (VDM) no es un tipo de mantenimiento, sino una filosofía desarrollada por los fundadores de *Mainnovation*, Mark Haarman y Guy Delahay, para optimizar el valor derivado del mantenimiento en un momento determinado. La decisión de realizar el mantenimiento en cualquier momento se basa en un análisis de costo/beneficio. Requiere un delicado equilibrio entre el valor que puede aportar una mayor confiabilidad y el costo de mantenimiento. Es una metodología desarrollada en cuatro impulsores de valor en el mantenimiento, como: 1) utilización de activos, 2) asignación de recursos, 3) control de costos, y 4) salud, seguridad y medio ambiente (HSE) (Haarman y Delahay, 2004; Senstrom *et al.*, 2016).

El aumento de la disponibilidad significa que se pueden producir más unidades con el mismo equipo, generando más ingresos mientras los costos fijos permanecen sin cambios. Los recursos son piezas de repuesto, mano de obra, contratistas y conocimiento. Considerando que el consumo de dichos recursos está cubierto por el control de costos; el controlador de asignación de recursos se centra en una gestión más inteligente de esos recursos. Una buena política de HSE puede tener un efecto negativo significativo en los flujos de caja futuros si se hace incorrectamente. Los incidentes relacionados con el mantenimiento que lesionen al personal, dañen el equipo o tengan un efecto negativo en el medio ambiente aumentarán los gastos a través de litigios o sanciones gubernamentales impuestas.

Los salarios, las tarifas de los contratistas, las piezas, los envíos de emergencia y las herramientas especializadas consumen los presupuestos de mantenimiento. Reducir el mantenimiento reactivo y, por lo tanto, limitar la necesidad de contratistas externos, repuestos de emergencia y horas extraordinarias de los técnicos puede aumentar el valor al eliminar los gastos. En la ecuación (1), se representa la forma de calcular el valor actual potencial del mantenimiento ( $PV_{PM}$ ).

$$PV_{PM} = \sum \left[ \frac{\left( (F_{HSE,t}) * [(CF_{AU,t}) + (CF_{CC,t}) + (CF_{RA,t}) + (CF_{HSE,t})] \right)}{(1+r)^t} \right] \quad (1)$$

Dónde:

$PV_{PM}$ : valor actual potencial del mantenimiento

$F_{HSE,t}$ : factor HSE en un año t (% de cumplimiento de la normativa HSE)

$CF_{AU,t}$ : flujo de efectivo futuro en el año a partir de la utilización de activos

$CF_{CC,t}$ : flujo de caja futuro en el año t procedente del control de costos

$CF_{RA,t}$ : flujo de caja futuro en el año t de la asignación de recursos

$CF_{HSE,t}$ : flujo de caja futuro en el año t de HSE

r: tasa de descuento

### 2.3.9 Mantenimiento de calidad total (TQM)

Este modelo fue desarrollado por el Dr. Basim Al-Najjar (Al-Najjar, 2008), como parte de su tesis doctoral. Se basa sólidamente en el ciclo de *Deming* (planear, hacer, verificar, actuar, que es la base de TQM, y puede ser utilizado para la mejora de cualquier sistema técnico o de gestión (Sherwin, 2000).

El TQM es un medio para mantener y mejorar continuamente la eficacia técnica y económica del proceso de producción y sus elementos; es decir, no es solo una herramienta para servir o reparar máquinas averiadas sino un medio para mantener la calidad de todos los elementos que intervienen en el proceso de producción.

Es un medio para monitorear y controlar desviaciones en un proceso, condiciones de trabajo, calidad del producto y costo de producción; y para detectar causas de daño y sus mecanismos de desarrollo y fallas potenciales para interferir para detener o reducir tasa de deterioro de la máquina antes de que el proceso de producción y las características del producto se vean afectados de manera intolerable y para realizar la acción requerida para restaurar la máquina/proceso o una parte particular de ella como nueva. Todo esto debe realizarse a un costo cada vez menor por unidad de producto de buena calidad (Al-Najjar, 2008).

### 2.3.10 Relaciones entre las estrategias de mantenimiento

El mantenimiento de calidad total se conoce como mantenimiento productivo total (TPM), el cual se originó en Japón en el año 1971 como un método para mejorar la disponibilidad de las máquinas mediante una mejor utilización de los recursos de mantenimiento y producción (Sharma y Khatri, 2015).

El TPM y el TQM tienen un objetivo común y continuo de reducción de residuos. Algunos de los temas comunes de los dos sistemas de valores incluyen: 1) la mejora continua, 2) el empoderamiento de los empleados, 3) el enfoque en los procesos, 4) la recopilación y el análisis de información, y 5) el compromiso de la alta dirección. Este compromiso implícito tiene en cuenta los intereses de los clientes, empleados, accionistas, el competidor y la sociedad en general.

Los dos enfoques El TPM y el TQM enfatizan la gestión eficaz de factores primarios como el liderazgo de la alta dirección, la gestión de procesos, la capacitación y el empoderamiento de los empleados. Los resultados se logran a través de beneficios secundarios como menores costos, mejor reputación y participación de mercado, y mayor motivación y satisfacción de los empleados. Los objetivos de las dos filosofías no establecen explícitamente la mejora de la rentabilidad; sin embargo, con la ejecución objetiva, inevitablemente se obtendrán excelentes resultados (Brah y Chong, 2004).

Una de las principales diferencias entre el TPM y el TQM radica en el enfoque en el cliente. Si bien el TQM enfatiza explícitamente el enfoque en el cliente, el TPM considera implícitamente la dimensión del cliente a través de la reducción de desperdicios, la mejora

de la productividad, la puntualidad y la planificación de actividades, la recopilación y el análisis de datos y la mejora de la calidad. Además, si bien hay muchos estudios que vinculan los programas del TQM y el desempeño organizacional, su aliado cercano el TPM no ha recibido una atención generalizada.

Las características que identifican al TQM y que lo distinguen de otras técnicas de mantenimiento, como el mantenimiento preventivo (PM), el mantenimiento basado en condiciones (CBM), el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) y el mantenimiento productivo total (TPM), se pueden resumir en las siguientes:

- Cubre una gama más amplia de un proceso de producción en comparación con el concepto de mantenimiento tradicional, que se ocupa solo de la maquinaria.
- Se basa en un nuevo concepto de CBM. Se planifica y ejecuta en función de las necesidades que surgen debido a las desviaciones en la calidad de los elementos que intervienen en el proceso productivo.
- Maneja problemas técnicos y financieros de producción y mantenimiento mediante la integración de herramientas y métodos que pertenecen a enfoques tanto deterministas como probabilísticos.
- Aboga por el uso de una base de datos común que debe actualizarse mediante mediciones en tiempo real de los parámetros de información esenciales, para el control y la evaluación en tiempo real del estado de la máquina y la eficacia técnica y económica del proceso de producción, la calidad del producto y el entorno de trabajo. Por lo tanto, dentro de TQM, es posible seleccionar y mejorar el sistema CM más informativo y la política de mantenimiento más rentable de manera efectiva.
- En consecuencia, proporciona una visión holística del estado del proceso de producción, el impacto técnico y financiero del mantenimiento en el negocio de la empresa.
- Se basa en hacer un uso intensivo de la adquisición y el análisis de datos en tiempo real, para detectar en una etapa temprana las causas detrás de las desviaciones de los factores de calidad, costo, mal funcionamiento de la maquinaria, además de seguir el desarrollo de daños/defectos para prolongar la vida útil media efectiva del componente y mejorar rentabilidad y competitividad de la empresa.
- Proporciona herramientas y métodos para el mantenimiento proactivo-predictivo; es decir, para detectar y eliminar la causa detrás del inicio del daño. Si no es posible debido a la limitación tecnológica, detectar la desviación en una etapa temprana y predecir su desarrollo para reducir (o eliminar) el riesgo de falla.
- Hace énfasis en el trabajo de mantenimiento sistemático combinando conocimientos y experiencia técnica, organizacional y económica, donde todas las teorías, herramientas y métodos requeridos son, más o menos, desarrollados y verificados. Este trabajo de mantenimiento sistemático comienza detectando la desviación/daño en una etapa temprana, identificando las causas de inicio del daño y desarrollando mecanismos y prediciendo la situación en el futuro cercano técnico y financieramente.

- Proporciona la base para una mejora continua rentable de todo el proceso de producción y en particular, una política de mantenimiento basada en vibraciones/condiciones después de cada renovación mediante la confrontación del historial de la base de datos, incluidas las mediciones de vibraciones, con los componentes reemplazados; es decir, una mejora cíclica continua.

## 2.4 GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

Un buen sistema de gestión del mantenimiento pone a disposición los equipos y las instalaciones. La disponibilidad significa que el equipo de producción puede solicitar y recibir cualquier suministro, como luz, energía, aire, gas, calefacción, refrigeración o máquinas herramienta; cuando sea necesario. Si el equipo o el servicio requerido no funcionan, o si la máquina se detiene antes de completar un trabajo, se desperdicia tiempo y dinero. Un buen sistema de gestión de mantenimiento ayuda a lograr un tiempo de inactividad mínimo.

Hasta ahora, la literatura sobre la gestión del mantenimiento ha sido muy limitada (Goyal y Maheshwari, 2012). Los conceptos de mantenimiento varían de una organización a otra. No existe una solución única para que todo tipo de empresas puedan llevar a cabo la gestión del mantenimiento y la literatura publicada mayoritariamente en torno a marcos comerciales genéricos (Pintelon *et al.*, 2006; Naughton 2012). Los pasos básicos de la gestión del mantenimiento establecidos por Kishan son la solicitud, la aprobación, el plan, el cronograma, la realización del trabajo, el registro de datos que contabilizan los costos, el desarrollo de información de gestión, la actualización del historial del equipo y la provisión de informes de control de gestión.

Los elementos de una gestión eficaz del mantenimiento incluyen:

- Política de mantenimiento.
- Control de material.
- Sistema de órdenes de trabajo.
- Registros de equipos.
- Mantenimiento preventivo y correctivo.
- Planificación y programación de trabajos.
- Sistema de priorización y control de cartera.
- Medición del desempeño.

## 2.5 MARCO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

En esta sección se revisan los marcos de gestión de mantenimiento presentados en el ítem anterior de gestión de mantenimiento. El mantenimiento debe ser considerado holísticamente para desarrollar un concepto de mantenimiento apropiado.



### 2.5.1 Marco de mantenimiento

En la investigación desarrollada por Vanneste y van Wassenhove (Vanneste y van Wassenhove, 1995) presentan una breve revisión de los desarrollos en la teoría y la práctica del mantenimiento en la tecnología de la información y los modelos de apoyo a las decisiones. El modelo es un enfoque integrado que combina elementos de estos dominios en una poderosa herramienta para tratar los problemas de mantenimiento. También muestran cómo se puede utilizar este marco para establecer un programa de mejora continua para la gestión del mantenimiento y aplicar los conceptos a un caso industrial.

El enfoque tiene ocho fases mediante la mejora del ciclo de Deming, como se observa en la Figura 6 y se definen las fases a seguir:

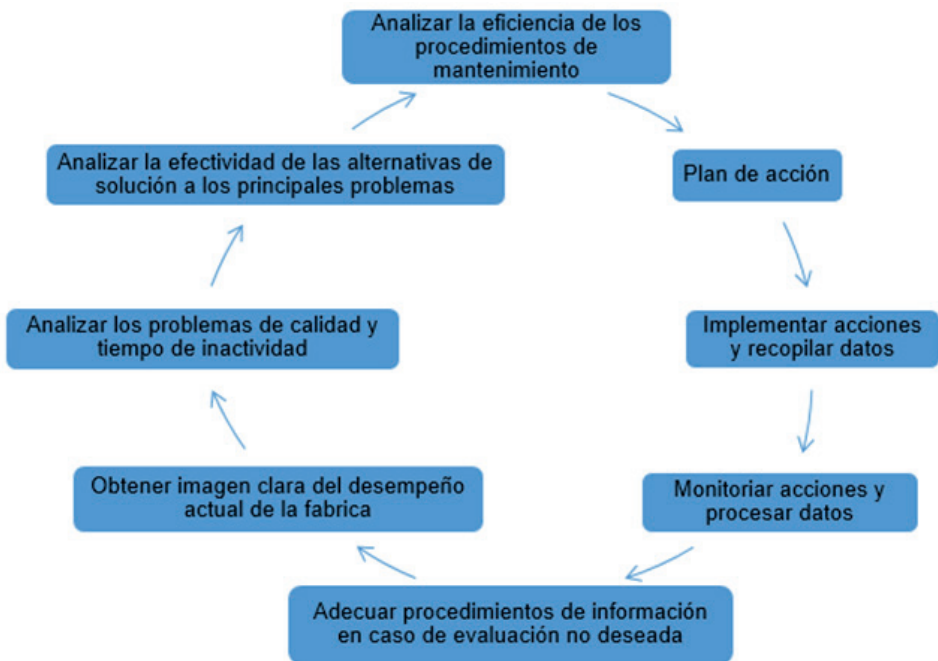


Figura 6. Ciclo Deming para implementar la gestión de mantenimiento

- **Fase 1. Obtener una imagen clara del desempeño de una fábrica actual.** En esta etapa se desarrolla una lista de preguntas para tener una imagen clara de la organización.
- **Fase 2. Analizar los problemas de calidad y tiempo de inactividad.** En esta fase, se ubican la mayoría de los problemas de calidad y tiempo de inactividad, importancia relativa, frecuencia de ocurrencia, causas y consecuencias identificadas mediante el uso de histogramas, análisis de Pareto, gráficos de control de calidad, diagramas de causa y efecto, métodos FMEA.
- **Fase 3. Analizar la efectividad de las alternativas de solución a los principales problemas.** Diferentes soluciones generadas e identificados sus costos ocultos y tangibles. Mencionando que tanto los costos como los beneficios de una solución, especialmente en la parte oculta, son inciertos y es difícil estimar un valor exacto. Por lo tanto, es necesario incluir el análisis de escenarios. Al comparar el análisis de costo-beneficio de una solución con otra solución, se vuelve fácil priorizar las soluciones propuestas. La Fase 3, está conformada por cuatro pasos: 1) obtener una lista de soluciones alternativas para cada problema, 2) estimar el costo y los beneficios de cada solución, 3) hacer una lista de prioridades, y 4) seleccionar una o más soluciones.
- **Fase 4. Analizar la eficiencia de los procedimientos de mantenimiento.** Para identificar cuánto mantenimiento preventivo se debe realizar, cuántos repuestos se deben mantener en *stock*, se utilizan modelos de decisión. La entrada para los modelos, como el costo, la distribución de la vida útil; se obtiene del análisis de efectividad, del análisis de datos adicionales y de la opinión de expertos. En esta fase se seleccionaron tres modelos: 1) modelo de mantenimiento y reemplazo (es un campo de mantenimiento), 2) modelo de aprovisionamiento de repuestos (está bajo gestión de inventario), y 3) modelo de programación (está bajo programación de producción).  
  
De estos se seleccionaron tres modelos bajo el modelo de mantenimiento y reemplazo, estos son: 1) el modelo de reemplazo de edad determinista, 2) el modelo de reemplazo de edad probabilístico, y 3) el modelo de reemplazo de grupo. Un factor común en estos modelos es que la unidad se deteriora a medida que envejece. El modelo de reemplazo de edad determinista se usa para encontrar la edad óptima de reemplazo; además, es para un sistema de una sola unidad. Los otros dos modelos utilizados para encontrar el límite de edad preventivo óptimo se utilizan para un grupo de componentes idénticos.
- **Fase 5. Plan de acción.** La planificación de las acciones y el proceso de información se llevan a cabo para realizar un seguimiento del resultado. Después de definir las medidas de rendimiento y organizar el objetivo del proceso de recopilación de datos, se establecerá.
- **Fase 6. Implementar acciones y recopilar datos.** Se implementarán las acciones planificadas en la Fase 5 y se recopilarán datos.

- **Fase 7. Monitorear acciones y procesar datos.** Se monitorean las acciones ya definidas e implementadas en la Fase 6 y se toman datos con el fin de determinar si dichas acciones reflejaron los resultados esperados o si deben ser ajustadas.
- **Fase 8. Adecuar actuaciones o procedimientos de información en caso de evaluación no deseada.** Los Indicadores de Rendimiento (PI) proporcionan una herramienta para medir ciertas cantidades y verificar si se cumplen los objetivos y en qué medida.

En el enfoque integrado, el análisis de la eficiencia está precedido por el análisis de la eficacia. Para estudiar la eficiencia de mantenimiento se utilizó el análisis de frecuencia de reemplazo óptimo.

Con el fin de iniciar, monitorear y medir los esfuerzos de mejora continua, se desarrolló el Sistema de Información de Gestión de Mantenimiento (MMIS). Este MMIS es fácil de usar y tiene indicadores de rendimiento de los componentes principales, datos y modelos.

El marco implementado en la empresa dedicada a la elaboración de bebidas no alcohólicas seleccionada consiste en tres pasos: 1) el primer paso es obtener una imagen de los problemas de calidad y tiempo de inactividad, 2) el siguiente paso es priorizar las acciones (eficacia), y 3) el último paso es mejorar la eficiencia de los procedimientos de mantenimiento.

Este marco ofrece una guía para desarrollar un concepto de mantenimiento personalizado; en la cual se enfatizó que el concepto de mantenimiento debe ser único para cada empresa debido a dos razones: 1) una es que los factores relevantes son diferentes de una empresa a otra, y 2) la otra razón son las innovaciones tecnológicas de alta velocidad. Debido a esto, se desarrolló un concepto de mantenimiento flexible que permite la retroalimentación y las necesidades de mejora. Hoy en día se pone gran énfasis en la disponibilidad, confiabilidad y seguridad de la producción.

Información utilizada como fuente de conocimiento además de la experiencia y el saber hacer (conocimiento) de los trabajadores considerados. Esto se debe a que antes de la introducción del sistema de información de gestión de mantenimiento, la información se guardaba en papel o en la cabeza de las personas.

## 2.5.2 Diferentes proyectos ejercidos ante el modelo desarrollado

- **Proyecto sobre fabricante de automóviles.** El objetivo era desarrollar un concepto de mantenimiento eficaz y eficiente y establecer un marco general para aplicar el concepto a otros equipos complejos similares en el futuro. Mantenimiento personalizado centrado en la confiabilidad II. Seleccionado.

- **Proyecto en cervecería.** El objetivo principal era mejorar el rendimiento. Comprender la naturaleza y causas de cada tipo de pérdida, datos históricos analizados y mantenimiento productivo total seleccionado para mejorar el rendimiento.
- **Proyecto en la industria de procesos.** Para este proyecto se implementó un concepto de mantenimiento personalizado basado en los principios de mantenimiento centrado en confiabilidad II. Sin embargo, el resultado estuvo lejos de ser el óptimo.

De otros proyectos de estudios de costos del ciclo de vida, en la industria de procesos químicos y la industria farmacéutica; se aprendió la lección de que el uso de conceptos estándar de la literatura no es una respuesta en la mayoría de los casos.

### 2.5.3 Aplicación marco de gestión de mantenimiento

El marco de gestión de mantenimiento se desarrolló para una gran industria de procesos con el objetivo de desarrollar el mantenimiento total de la empresa para todas las diferentes plantas y todas las diferentes instalaciones. El marco propuesto consta de seis pasos:

- **Paso 1. Identificación de objetivos y recursos.** El primer objetivo del mantenimiento es asegurar la confiabilidad y disponibilidad, reducir costos, proteger sus márgenes comerciales, cumplir con las leyes de seguridad y medio ambiente y mejorar la productividad. Además de los objetivos, se deben identificar los requisitos para cumplir el objetivo, como material, dinero, personas y conocimientos.
- **Paso 2. Identificación del sistema más importante.** Dependiendo de los objetivos y la situación, se pueden usar factores de ponderación para subrayar la importancia relativa de cada objetivo con respecto a cuellos de botella, pérdida de producción. En la mayoría de los casos, se deben aplicar varios criterios. Las técnicas de toma de decisiones de criterios múltiples (MCDM) son muy útiles para este paso. Además, el diseño del proceso influye en la selección de la criticidad de un sistema.
- **Paso 3. Análisis de criticidad.** Aquí se identifica el componente más crítico dentro del sistema más importante seleccionado. Un FMECA simplificado utilizado en forma de tabla, aspectos económicos y técnicos y conocimiento en la cabeza humana considerados. La razón de este enfoque es que los sistemas técnicos se ocupan del diseño, el flujo y el equipo. Sus actuaciones visualizadas en términos de averías, pérdidas de puesta a punto, paradas menores y defectos de calidad.

La intención del análisis FMECA es identificar componentes, cuyas consecuencias de falla podrían tener un impacto o poner en peligro el rendimiento de los sistemas (paradas de producción no planificadas) y/o causar situaciones peligrosas para el personal o el medio ambiente dentro del sistema más importante seleccionado.

La mayoría de los problemas se deben a interrupciones entre la producción y los diferentes especialistas de mantenimiento y podrían eliminarse mediante una mayor colaboración entre los diferentes equipos y reuniendo todo el conocimiento tácito y explícito disponible. La ventaja de este método es que es rápido y fácil de usar, mientras que la subjetividad está limitada a través de las fronteras predefinidas.

- **Paso 4. Pasos de decisión de la política de mantenimiento.** Árbol de decisión con la consideración del aspecto técnico y económico seguido.
- **Paso 5. Optimización de la política de mantenimiento preventivo.** Después de seleccionar la política de mantenimiento, se deben optimizar sus parámetros, como la frecuencia de PM. En el mantenimiento hay estrategias básicas en bloques o tiempo y en la edad o vida del equipo. Ambas políticas se soportan en la teoría de la renovación y la diferencia entre el modelo básico y el extendido radica en la duración de las intervenciones de mantenimiento (cero y finito respectivamente).
- **Paso 6. Medición del desempeño y mejora continua.** Dos razones expuestas para la medición limitada del desempeño del mantenimiento. La primera es que la generación de informes sobre el desempeño del mantenimiento es difícil y la otra razón es que el mantenimiento está estrechamente relacionado con otras actividades. La mayoría de los indicadores de rendimiento del mantenimiento son índices que miden la eficacia, la eficiencia y la productividad.

#### 2.5.4 Herramientas y técnicas de gestión de mantenimiento

En el marco de gestión de mantenimiento desarrollado hasta ahora, se han empleado diferentes herramientas y técnicas de mantenimiento, como: cuadro de mando integral, análisis de criticidad, OEE, análisis de causa raíz de fallas, mantenimiento centrado en confiabilidad, análisis de confiabilidad, método de ruta crítica, análisis de costo de ciclo de vida, factor crítico de éxito, árbol de realidad actual, árbol de fallas análisis, 5S, diagrama de bloques de confiabilidad, diagrama de causa y efecto (Crespo *et al.*, 2009; Alzaben, 2015; Naughton y Tiernan 2012).

A continuación, se presentan las más destacadas herramientas y técnicas de gestión de mantenimiento, y que se resumen en la Figura 7.

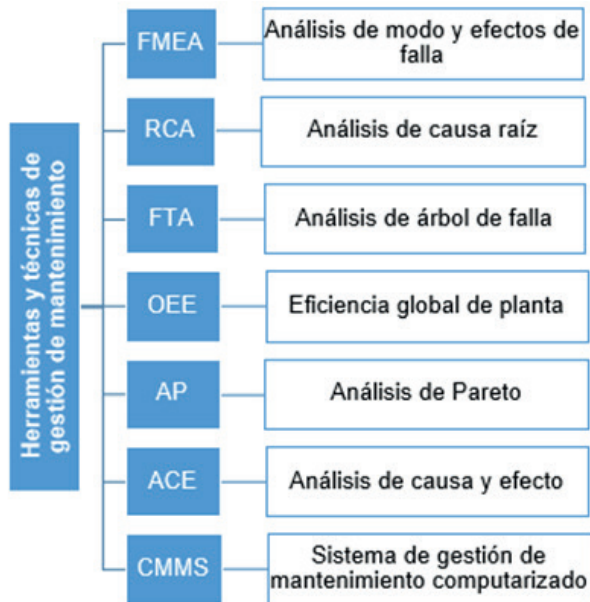


Figura 7. Herramientas y técnica destacadas de gestión de mantenimiento

- **Análisis de modo y efecto de falla (FMEA).** El análisis de modo y efecto de falla (FMEA) es una técnica de ingeniería utilizada para definir, identificar y eliminar problemas, errores, errores conocidos y/o potenciales. y así sucesivamente desde el sistema, diseño, proceso y/o servicio antes de llegar al cliente (Omdahl, 1988; ASQC, 1983; Ben-Daya *et al.*, 2009).

Aunque FMEA comenzó en la industria aeroespacial y automotriz, encontró aplicación en varias áreas. Es una metodología sistémica destinada a realizar las siguientes actividades: 1) identificar y reconocer fallas potenciales, incluidas sus causas y efectos, 2) evaluar y priorizar los modos de falla identificados ya que las fallas no son iguales, y 3) identifica y sugiere acciones que puedan eliminar o reducir la posibilidad de que ocurran fallas potenciales.

Idealmente, los FMEA se llevan a cabo en las etapas de diseño del producto o desarrollo del proceso. Sin embargo, realizarlos en productos y procesos existentes también puede generar beneficios. La identificación de modos de falla conocidos y potenciales es una tarea importante en FMEA.

También es la forma de análisis de confiabilidad y riesgo más ampliamente entendida y aplicada que se encuentra en toda la industria. Dado un proceso específico, FMEA se ocupa de la identificación de sus modos de falla, causas y frecuencias de falla (confiabilidad), y los efectos que podrían resultar si ocurre alguna falla específica durante la operación del proceso (riesgo) (Crespo, 2007).

El FMEA es ampliamente empleado en su marco de gestión de mantenimiento para examinar la forma en que se opera el equipo y las fallas que se producen durante su operación, para encontrar métodos que permitan eliminar o reducir el número de fallas en el futuro (Vanneste y van Wassenhove, 1995; Waeyenbergh y Pintelon, 2002; Naughton y Tiernan, 2012; Alzaben, 2015).

- **Análisis de causa raíz (RCA).** El análisis de causa raíz (RCA) es un proceso reactivo paso a paso que se utiliza para analizar fallas y problemas hasta su causa raíz. Cada falla del equipo ocurre por varias razones. Hay una progresión definida de acciones y consecuencias que conducen a un fracaso. Una investigación de RCA analiza desde la falla final hasta encontrar la causa raíz para determinar qué sucedió, por qué sucedió y, lo que es más importante, averiguar qué hacer para reducir la probabilidad de que vuelva a suceder.

Las causas se pueden clasificar en físicas, humanas o latentes: 1) la causa física es la razón por la que falló el activo, la explicación técnica de por qué las cosas se rompieron o fallaron; 2) la causa humana incluye los errores humanos (omisión o comisión) que resultan en raíces físicas; y 3) finalmente, la causa latente incluye las deficiencias en los sistemas de gestión que permiten que los errores humanos continúen sin control (fallas en los sistemas y procedimientos) (Ben-Daya, 2000; Crespo *et al.*, 2009).

Es la realización de un análisis completo que identifica las causas raíz físicas, humanas y latentes de cómo ocurrió cualquier evento indeseable. Se eliminó la palabra “falla” para ampliar la definición e incluir eventos no mecánicos como incidentes de seguridad, defectos de calidad, quejas de clientes, problemas administrativos (es decir, paradas retrasadas) y eventos similares.

- **Análisis de árbol de fallas (FTA).** Un método lógico simbólico efectivo de análisis de fallas de un sistema complejo, el análisis de árbol de fallas (FTA) se puede usar para identificar las formas mínimas en que los eventos principales están vinculados a los eventos básicos. Tomó un enfoque de análisis deductivo de arriba hacia abajo (desde la falla del producto hasta la falla de la pieza).
- **Eficiencia global de planta (OEE).** OEE es una medida operativa y un indicador de las actividades de mejora de procesos dentro de un entorno de fabricación. Dentro de este contexto, se puede considerar que OEE combina la operación, el mantenimiento y la gestión de equipos y recursos de fabricación. El investigador Nakajima, sitúa la eficacia general del equipo como una medida de rendimiento que identifica el porcentaje del tiempo de fabricación que es realmente productivo (Nakajima, 1988).

Está claro que el mantenimiento no es responsable de todas las pérdidas de producción experimentadas por el equipo; por ejemplo, el tiempo de inactividad o el tiempo de configuración. En algunos casos; por ejemplo, pérdida de velocidad y calidad, el mantenimiento puede ser un factor, pero no es el único contribuyente. Para que la función

de mantenimiento mejore el rendimiento, debe centrarse en la parte de los indicadores sobre los que influyen. Sin embargo, el diagrama OEE es fundamental para identificar las pérdidas relacionadas con la función de mantenimiento. Además de las causas relacionadas con el mantenimiento, la métrica OEE brinda una perspectiva más amplia de las pérdidas experimentadas por los equipos y, por lo tanto, respalda la mejora general de la productividad de los equipos.

Sin embargo, el cálculo del OEE como producto de la disponibilidad, la velocidad y el rendimiento de calidad no es realmente un análisis completo. No se consideran los costos y las ganancias, por lo que no es una medida completa con la que se deben comparar las máquinas o los sistemas de la competencia (Pintelon *et al.*, 2006). Por lo tanto, al tomar OEE como una medida de rendimiento, debe prepararse un análisis adicional que muestre la rentabilidad.

- **Análisis de Pareto (AP).** El diagrama de Pareto es una de las siete herramientas básicas del control de calidad. El gráfico lleva el nombre de Vilfredo Pareto, el economista italiano que señaló que el 80% de los ingresos en Italia iba al 20% de la población. El principio de Pareto ilustra el hecho de que el 80% de los problemas provienen del 20% de las causas.

Un gráfico de Pareto es una representación de barras hecho de una serie de columnas cuyas alturas reflejan la frecuencia de problemas o causas. Las barras están dispuestas en orden descendente de altura de izquierda a derecha. Esto significa que los factores representados por las barras altas de la izquierda son relativamente más significativos que los de la derecha. Esto ayuda a separar los pocos importantes de los triviales, para que los recursos y los esfuerzos se centren donde podamos obtener los máximos rendimientos.

Un gráfico de Pareto es una herramienta útil en cualquier esfuerzo de mejora y en diferentes niveles. Se puede utilizar desde el principio para identificar qué problema se debe estudiar y más adelante para reducir las causas del problema que se deben abordar primero.

- **Análisis de causa y efecto (ACE).** Un diagrama de causa y efecto es una herramienta que ayuda a identificar, clasificar y mostrar las posibles causas de un problema específico o una característica de calidad. Ilustra gráficamente la relación entre un resultado dado y todos los factores que influyen en el resultado. Este tipo de diagrama también se llama diagrama de espina de pescado, ya que se parece al esqueleto de un pez. También se llama diagrama de Ishikawa, ya que fue inventado por Kaoru Ishikawa.

Un diagrama de causa y efecto es una herramienta útil para identificar y organizar las causas de un problema como la falla del equipo. La estructura del diagrama proporciona una forma muy sistemática de pensar sobre las causas de un problema en particular.



Algunos de los beneficios de utilizar esta herramienta son los siguientes:

- Identifica las causas fundamentales de un problema utilizando un enfoque estructurado.
- Promueve la participación grupal y utiliza el conocimiento grupal del proceso;
- Utiliza un formato ordenado y fácil de leer para diagramar las relaciones de causa y efecto.
- Aumenta el conocimiento del proceso al ayudar a todos a aprender más sobre los factores que intervienen y cómo se relacionan con el problema.
- Identifica áreas donde se deben recopilar datos para estudios adicionales, si es necesario; y construye una muestra pictórica de una lista de causas organizadas en diferentes categorías para mostrar su relación con un problema o efecto en particular.

Los pasos para construir y analizar un diagrama de causa y efecto se describen a continuación:

- **Identificar y definir claramente el problema o efecto a analizar.** Es una buena práctica desarrollar una definición operativa del efecto para garantizar que todos los miembros del equipo la entiendan claramente.
- **Dibujar una flecha horizontal que apunte hacia la derecha.** Esta es la columna vertebral. A la derecha de la flecha, escriba una breve descripción del efecto o problema a analizar.
- **Identificar las principales causas que contribuyen al efecto que se estudia.** Estas son las etiquetas para las principales ramas del diagrama y se convierten en categorías bajo las cuales se enumeran las muchas causas relacionadas con esas categorías. Algunas categorías comúnmente utilizadas son las siguientes: métodos, materiales, maquinaria y personas (3Ms y P); políticas, procedimiento, personas y planta (4Ps); y otro posible factor significativo es el medio ambiente.
- **Para cada rama o categoría principal, identificar otros factores específicos que puedan ser las causas del efecto bajo esa categoría.** Identificar tantas causas o factores como sea posible y adjuntar como ramas secundarias de las ramas principales.
- **Identificar niveles más detallados de causas.** Y continuar organizándolos bajo causas o categorías relacionadas.
- **Analizar el diagrama.** El análisis ayuda a identificar las causas que justifican una mayor investigación. Dado que los diagramas de causa y efecto identifican solo las causas posibles, es posible que desee utilizar un diagrama de Pareto para ayudar a determinar las causas en las que debe centrarse primero.

- **Sistema de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS).** Es un *software* de mantenimiento diseñado para ayudar en las funciones de planificación, gestión y administración necesarias para un mantenimiento eficaz. Sistemas de gestión de mantenimiento computarizados (CMMS), también llamados gestión de mantenimiento asistida por computadora (CAMM), sistemas de información de gestión de mantenimiento (MMIS) o incluso sistemas de gestión de activos empresariales (EAM) (Kobbacy y Murthy, 2008).

Estas funciones incluyen la generación, planificación y generación de informes de órdenes de trabajo (WO); el desarrollo de una historia rastreable; y el registro de transacciones de piezas. El CMMS ayuda al mantenimiento de dos maneras: 1) primero, automatiza y facilita los procesos existentes para mejorar la eficiencia, 2) en segundo lugar, la computadora puede agregar valor para producir beneficios que de otro modo no serían alcanzables en la práctica. Los CMMS y su integración en organizaciones preexistentes han demostrado ser una excelente plataforma para promover las comunicaciones y mejorar la coordinación entre las diferentes funciones de la organización (Huber, 1990; Bagadia, 2006; Dhillon, 2002).

Las empresas de todos los tamaños pueden beneficiarse del *software* de mantenimiento, ya sea que tengan quince o quinientos equipos para realizar e implementar el plan de mantenimiento.

Hay dos lugares comunes donde se ejecuta el *software* CMMS: en una computadora en la empresa del cliente o en la *web*. Cuando una empresa es responsable de ejecutar su propio CMMS, se denomina CMMS local basado en la nube y cuando el CMMS se ejecuta en línea, se denomina CMMS basado en la nube.

Beneficios de un CMMS:

- **Menos interrupciones del trabajo.** Es fácil realizar un mantenimiento preventivo, lo que significa que hay menos averías inesperadas.
- **Mejor responsabilidad.** Permite ver rápidamente si un técnico realizó su trabajo a tiempo y reciba alertas cuando una tarea esté completa.
- **Menos horas extra.** Una mejor programación significa que su equipo no está inactivo o trabajando horas extras, lo que significa que el trabajo se puede distribuir de manera uniforme.
- **Captura de información.** Los técnicos pueden registrar problemas y soluciones, por lo que esta información se captura, para que otros la utilicen.
- **Ahorros en compras.** Las funciones de planificación del inventario, dan tiempo para comparar precios de piezas de repuesto, en lugar de tener que comprar con prisa.
- **Certificación y análisis.** Un registro completo de los activos y el rendimiento ayuda a los gerentes a analizar el uso de energía y planificar los gastos de mantenimiento.

Cada industria necesita mantenimiento y el *software* CMMS ayuda a planificar y administrar ese mantenimiento. El mantenimiento de la producción, el mantenimiento de las instalaciones y el mantenimiento de la flota son los principales usuarios de las CMMS.

## 2.6 MANTENIMIENTO Y RENDIMIENTO

Con el fin de lograr un rendimiento de clase mundial, cada vez más empresas están reemplazando sus estrategias reactivas de “combate de incendios”, para el mantenimiento con estrategias proactivas, como el mantenimiento preventivo y predictivo, y estrategias agresivas como el mantenimiento productivo total. Si bien estas nuevas estrategias de mantenimiento requieren mayores compromisos con la capacitación, los recursos y la integración, también prometen mejorar el rendimiento.

El mantenimiento efectivo también es crítico para muchas operaciones. Mantener el rendimiento de la productividad de las plantas y las maquinarias en condiciones de funcionamiento fiables y seguras, se debe a que el rendimiento y la competitividad de las empresas manufactureras dependen de la fiabilidad, disponibilidad y productividad de sus instalaciones de producción.

Existe consenso entre varios investigadores de que el mantenimiento del equipo y la confiabilidad del sistema, son factores importantes que afectan la capacidad de la organización para brindar servicios oportunos y de calidad a los clientes y estar por delante de la competencia. Por lo tanto, la función de mantenimiento es vital para el rendimiento sostenible de cualquier planta de fabricación (Swanson, 2001; Alsyounf 2007; Muchiri *et al.*, 2011; Parida *et al.*, 2015).

El mantenimiento proporciona un apoyo crítico para la competencia de las industrias pesadas y de capital intensivo para optimizar su sistema de producción a fin de cumplir con sus objetivos a largo plazo. En general, un sistema de producción en el que no se presta atención al mantenimiento puede conducir fácilmente a que el sistema produzca un producto defectuoso como resultado de un defecto de la máquina.

Por ello, el mantenimiento contribuye más que nunca a la consecución de estos objetivos. De hecho, el mantenimiento adecuado no solo ayuda a mantener bajo el costo del ciclo de vida; también contribuye positivamente al desempeño general de la empresa (Enofe y Aimienrovbiy, 2010; Pintelon 2002). Además, otra investigación muestra que se encontró un apoyo significativo para la correlación positiva entre TPM y el rendimiento empresarial. El desempeño comercial de las empresas de TPM fue significativamente superior al de las empresas que no implementan el TPM (Brah y Chong, 2004).

Mientras se invierte en mantenimiento, la implementación puede ser un costo considerable en la etapa inicial porque es difícil medir y hacer un seguimiento de su impacto en el negocio de la empresa. Sin embargo, su papel en la mejora de la rentabilidad de la productividad de las empresas es indispensable. Por lo tanto, el mantenimiento es un

centro de ganancias más que un centro de costos (Enofe y Aimienrovbiy, 2010). Al incluir un indicador económico, el personal de mantenimiento se involucra de inmediato en el objetivo general estratégico de la organización y se puede cuantificar su contribución al desempeño de la rentabilidad de la empresa (Naughton y Tiernan, 2012).

Según el investigador Al-Turki, la gestión del mantenimiento son las actividades de planificación, organización, implementación, seguimiento y control con el fin de mantener un cierto nivel de disponibilidad, valor y fiabilidad del sistema y sus componentes (activos) y su capacidad para operar a un cierto nivel estándar de calidad (Al-Turki, 2011). Por lo tanto, la elección de la práctica de gestión del mantenimiento aplicada tiene un gran impacto en el desempeño de la empresa.

Las principales medidas del desempeño operativo de una empresa son la confiabilidad, la mantenibilidad, la productividad, la eficiencia, la disponibilidad y la producción por costo unitario, entre otras. Dado que los costos de mantenimiento de la empresa son normalmente altos (Al-Turki, 2011), la aplicación de las mejores prácticas de gestión del mantenimiento puede impulsar el rendimiento operativo de una empresa (Gupta y Lawsirirat, 2006). Por lo tanto, las prácticas de gestión del mantenimiento que ofrecen un mejor rendimiento operativo deben establecerse en la investigación.

## 2.7 MEDICIÓN DEL DESEMPEÑO DEL MANTENIMIENTO

La eficacia del mantenimiento y su calidad deben medirse para justificar la inversión en mantenimiento. Las averías y el tiempo de inactividad tienen un impacto en la capacidad de la planta, la calidad del producto y el costo de producción; así, como en cuestiones de salud, seguridad y medio ambiente (Parida *et al.*, 2015). El proceso de desarrollo de la medición del desempeño del mantenimiento (MPM) debe guiarse por la integración de los factores críticos de éxito (CSF), que se derivan de la estrategia organizacional general y esto puede realizarse mediante una mejor comprensión del proceso de operación y mantenimiento; a través de la identificación, el desarrollo y la implementación de indicadores de desempeño (KPI) cuantitativos y cualitativos apropiados para el sistema MPM.

Los KPI se utilizan para resaltar las deficiencias en una empresa y analizarla más a fondo para encontrar el problema que está causando que el indicador sea bajo. Si se usan correctamente, los indicadores de desempeño mostrarán un área de mejora de la organización.

Los KPI podrían clasificarse en términos generales como indicadores adelantados o rezagados: 1) un indicador anticipado es aquel que advierte al usuario acerca de los objetivos de antemano, y 2) un indicador rezagado normalmente cambia de dirección después de que lo haya hecho la economía; indican la condición después de que ha tenido lugar la actuación. El establecimiento de un vínculo entre los indicadores rezagados y adelantados ayuda a monitorear y controlar el desempeño del proceso, y los indicadores a vincular se seleccionan de acuerdo con la estrategia de mantenimiento elegida (Wireman, 1998; Kumar *et al.*, 2006).

Los sistemas de medición del desempeño se utilizan de manera diferente según su aplicación, como informes financieros, sistemas de costos, evaluación del desempeño y sistemas de recompensa, satisfacción del cliente, clasificación de la competencia y para medir la mejora de la organización, además de la mejora y optimización de la productividad; la eficiencia y la calidad del mantenimiento deben medirse a través de indicadores de rendimiento de mantenimiento (MPI) e indicadores clave de rendimiento (KPI), para justificar la inversión en mantenimiento (Parida y Chattopadhyay, 2007; Feurer y Chaharbaghi, 1995; Parida *et al.*, 2015).

Se han realizado discusiones sobre los tipos de indicadores, adelantados versus rezagados y duros versus blandos, además de su vinculación con los KPI de manera extensa. Más evidentemente con la función de producción. Sin embargo, los indicadores de desempeño no se definen de forma aislada, sino que deben ser el resultado de un análisis cuidadoso de la interacción de la función de mantenimiento con otras funciones organizacionales (Kumar, 2011; Muchiri *et al.*, 2011).

Diferentes investigadores han modificado, desarrollado y sugerido marcos que consideran medidas no financieras y activos intangibles para lograr ventajas competitivas por parte de las organizaciones. Los MPI están vinculados a la reducción del tiempo de inactividad, los costos y los desechos, y la mejora de la utilización de la capacidad, la productividad, la calidad, la salud y la seguridad (Parida *et al.*, 2015; Parida y Kumar, 2004).

En la revisión de la literatura sobre la gestión del desempeño del mantenimiento, existen alrededor de 26 marcos de medición del desempeño con diferentes medidas, indicadores y criterios. Los indicadores de desempeño del mantenimiento pueden ser indicadores económicos o indicadores técnicos (Parida *et al.*, 2015).

## **2.8 INDICADORES DE RENDIMIENTO**

Los indicadores de desempeño bien definidos pueden potencialmente apoyar la identificación de brechas entre el indicador de rendimiento actual y el indicador de rendimiento deseado, y proporcionar un registro del progreso hacia el cierre de las brechas (Muchiri *et al.*, 2011).

Tres tipos de indicadores de rendimiento se encuentran en la literatura: 1) indicadores principales que miden entradas como un proceso que mide eventos futuros, 2) indicadores coincidentes que muestran el rendimiento mientras ocurre, y 3) indicadores rezagados que miden la salida como un proceso que mide eventos que ya han ocurrido (Parida *et al.*, 2015). Los indicadores adelantados son aún más importantes que los indicadores rezagados porque tienen el potencial de evitar que ocurran situaciones desfavorables. Los reductores del rendimiento son entradas de proceso que conducen a un rendimiento deficiente.

## 2.9 MANTENIMIENTO EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS Y BEBIDAS

El mantenimiento es crucial en cualquier organización. Sin un mantenimiento adecuado, los activos se deterioran con el tiempo y provocan una pérdida en la calidad de la producción. Más importante aún, también puede afectar la seguridad del activo o de las personas que lo operan.

Tradicionalmente, el mantenimiento ha sido visto como un centro de costos en una organización; cuesta dinero contratar técnicos de mantenimiento y comprar las piezas de repuesto para mantener los sistemas funcionando sin problemas. Con demasiada frecuencia, los altos ejecutivos ignoran el valor agregado que el mantenimiento puede aportar a una organización como:

- Una reducción de los costos de mantenimiento reactivo.
- Reducción de costos para reiniciar la producción después de una avería.
- Limitar la chatarra de producción.
- Costos del tiempo de inactividad, como pedidos perdidos y pérdida de ingresos.
- Percepción/satisfacción del cliente.
- Mejora de la calidad de los productos.
- Impacto ambiental reducido.

No es sorprendente que el mantenimiento pueda agregar valor económico a una empresa al brindar la máxima disponibilidad al menor costo posible. Para ver el mantenimiento como un impulsor de valor, los altos ejecutivos deben pasar de un pensamiento basado en costos a un pensamiento basado en valor. Estas presiones han dado a las empresas de todo el mundo, la motivación para explorar y adoptar estrategias de mantenimiento proactivo sobre los métodos tradicionales de extinción de incendios reactivos (Ahuja y Khamba, 2007; Sharma *et al.*, 2005).

Las industrias de alimentos y bebidas están produciendo productos perecederos. Cuando el equipo está bien mantenido, los estándares de seguridad de los alimentos que se procesan serán altos. Por el contrario, los equipos mal mantenidos se averiarán con mayor frecuencia durante la fabricación y el procesamiento, lo que comprometerá la integridad de los procesos de producción y de los alimentos que se producen. Por este motivo, contar con un sistema de mantenimiento adecuado es fundamental.

## 2.10 DESAFÍO DE MANTENIMIENTO EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS Y BEBIDAS

La industria por sí misma tiene su propio conjunto de problemas y cuestiones. Pero los fabricantes de alimentos y bebidas probablemente enfrentan más obstáculos que los de la industria en general, ya que están produciendo algo que los humanos van a consumir. Hay un mayor nivel de escrutinio en esta industria.

Por lo tanto, los fabricantes de productos comestibles enfrentan un mundo diverso de desafíos significativos, que incluyen regulaciones gubernamentales estrictas, condiciones de trabajo difíciles y equipos complejos que pueden ser difíciles de mantener. Existen diferentes desafíos para implementar un mantenimiento efectivo en una organización. (Phogat y Gupta, 2017), en la Tabla 2 se identifica los principales problemas en la operación de mantenimiento.

Tabla 2. Problemas en la operación de mantenimiento

S. No.	Problemas en las operaciones de mantenimiento	Referencias
1	Falta de evaluación comparativa	(Adebanjo <i>et al.</i> , 2010; Singh <i>et al.</i> , 2015; Shaaban y Awni, 2014)
2	Falta de comunicación e información	(Mohamed <i>et al.</i> , 2009)
3	Falta de empoderamiento	(Poduval <i>et al.</i> , 2015)
4	Falta de trabajo en equipo	(Rolfen y Langeland, 2012)
5	Falta de compromiso de los empleados con el mantenimiento	(Singh <i>et al.</i> , 2015; Mosadeghrad, 2015)
6	Falta de entrenamiento	(Singh <i>et al.</i> , 2015; Mosadeghrad, 2015)
7	Falta de una adecuada planificación e implementación estratégica	(Singh <i>et al.</i> , 2015; Mosadeghrad, 2015)
8	Falta de apoyo de la alta dirección	(Kodali , 2001; Singh <i>et al.</i> , 2015; Kumar <i>et al.</i> , 2013)
9	Falta de conciencia sobre seguridad y salud	(Grusenmeyer, 2011; Singh <i>et al.</i> , 2015)
10	Falta de medición efectiva del desempeño	(Parida y Kumar, 2009; Lad y Kulkarni, 2010)
11	Falta de medición de OEE	(Pophaley y Vyas, 2010; Lad y Kulkarni, 2010)

Las normas de seguridad alimentaria afectan a cada fabricante de forma diferente. Uno es el Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (APPCC). Este requisito mínimo ayuda al fabricante a proporcionar al consumidor productos seguros y libres de riesgos. Los peligros pueden ser agentes físicos, biológicos y químicos.

Cada fabricante es responsable de crear su propio conjunto inclusivo de pautas, incluido un buen sistema de mantenimiento para proteger la contaminación no intencional del producto. Los fabricantes de alimentos también deberán considerar la posibilidad de actualizar los equipos para eliminar las superficies propensas a la oxidación y la corrosión, puntos de reproducción de bacterias y patógenos (ISO22000:2005). Por lo tanto, es obligatorio contar con un sistema de gestión de mantenimiento eficaz y eficiente para cumplir con los requisitos de gestión de seguridad alimentaria.

# RECOLECCIÓN Y EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Se identifica que existe en la empresa un plan básico de mantenimiento centrado en actividades reactivas y correctivas; además de algunas actividades preventivas pensadas para prevenir las fallas en los equipos de mayor importancia dentro del proceso o cuya parada genera un costo de reparación elevado o un lucro cesante significativo para la empresa; a razón de esto se establece la necesidad de evaluar dichas condiciones y establecer un plan de mantenimiento integral que permita atender las necesidades de la empresa para seguir garantizando su competitividad y crecimiento económico adquirido recientemente.

Para poder conocer el estado actual del mantenimiento y la lubricación de la empresa, se comenzó realizando un recorrido por la planta de producción, identificando un total de cinco líneas de producción, cada una con sus características y productos específicos; además de sistemas periféricos que complementan el ciclo de producción de las bebidas. Dichas líneas de producción y sistemas se pueden evidenciar en Tabla 3.

Tabla 3. Activos de la empresa

<b>Planta de producción</b>	<b>Periféricos</b>
Línea de producción N°1	Planta de Tratamiento de Agua Potable N°1 (PTAP 1)
Línea de producción N°2	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales N°1 (PTAR 1)
Línea de producción N°3	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales N°2 (PTAR 2)
Línea de producción N°4	Sistema Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )
Línea de producción N°5	Sistema amoniaco
Planta de Tratamiento de Agua Potable N°2 (PTAP 2)	Sistema nitrógeno
Cuarto de jarabe	Sistema aire acondicionado
Cuarto de limpieza interna	Despacho
Materias primas	Taller

Una vez se establecen los activos que posee la empresa a los cuales se le deben implementar actividades de mantenimiento; se identifica la función y las partes de cada activo con el fin de conocer su aporte al proceso productivo y permitir definir posteriormente su criticidad y necesidades en cuanto a operación e intervenciones de mantenimiento.

## 3.1 ACTIVOS PERIFÉRICOS

Los activos periféricos son aquellos que hacen parte del proceso productivo, pero no se encuentran dentro de estructura física denominada “planta de producción”; si no que están, bien sea contenidos en otra edificación o en los alrededores de la planta. A continuación, se presentan los activos periféricos:



### 3.1.1 Planta de Tratamiento de Agua Potable N°1 (PTAP 1)

Se encarga de captar el agua que llega desde el nacimiento y realizar el primer proceso de potabilización. Está compuesta por un tanque de almacenamiento de agua cruda, dos filtros de arena, tres floculadores, los cuales son unos dispositivos que permiten facilitar la formación de flóculos o agregados de partículas suspendidas en el agua que se unen entre sí para formar partículas más grandes y más pesadas que pueden sedimentar o ser filtradas más fácilmente, ver Figura 8. Para esto, cada uno de ellos está compuesto por los siguientes componentes:

- Bombas dosificadoras de cloro.
- Mangueras.
- Agitador (motorreductor, eje y aspas).
- Mallas tipo panal.
- Estructura.

Estos equipos están conectados entre sí en un proceso en serie para garantizar que el agua se encuentre más clara y con menos sedimentos tras cada paso. Luego de esto, el agua pasa por unas lámparas UV y se almacena en un tanque para que finalmente, un sistema de dos bombas (*hydroflow*) se encargue de llevar el agua clarificada hacia la Planta de Tratamiento de Agua Potable N°2 (PTAP 2).



Figura 8. Planta de Tratamiento de Agua Potable N°1 (PTAP 1)

### 3.1.2 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales N°1 (PTAR 1)

Es la planta de tratamiento de agua industrial, cuyo propósito es poder eliminar contaminantes como sólidos suspendidos, materia orgánica, nutrientes, patógenos y sustancias químicas peligrosas de los líquidos desechados dentro del proceso productivo; asegurando que el agua tratada cumpla con los estándares ambientales antes de ser liberada en el cuerpo de agua adyacente a la empresa.

Está compuesta por un tanque de almacenamiento de las aguas residuales, dotado con un filtro o trampa de grasa; un tanque homogeneizador que se encarga de mezclar de manera uniforme los fluidos que ingresan al sistema de tratamiento, lo que genera que las sustancias presentes en el agua residual se distribuyan de manera equitativa facilitando los demás procesos del tratamiento; un tanque de calcificación en el cual se dosifica la cantidad de cal que requiere el proceso para lograr neutralizar el PH y precipitar los metales de la mezcla; un reactor anaerobio de flujo ascendente que utiliza un ambiente sin oxígeno para descomponer la materia orgánica, en el cual, el agua contaminada fluye hacia arriba a través del reactor permitiendo que los sólidos suspendidos se separen del agua tratada y formando una especie de lodo que contiene microorganismos activos responsables de la descomposición de la materia orgánica; un reactor de lodos activados en el cual se introducen microorganismos activos en el agua residual para descomponer la materia orgánica restante para luego separar los lodos del agua tratada y ser recirculados al reactor; finalmente, un tanque de agua tratada con filtros multimedia para eliminar partículas sólidas y otras impurezas suspendidas presentes en el agua para finalizar el proceso.

### 3.1.3 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales N°2 (PTAR 2)

El objetivo principal de la planta de tratamiento de agua doméstica o sanitaria, es reducir la carga de contaminantes en las aguas residuales antes de su descarga al medio ambiente, al igual que la PTAR 1. Ésta planta está compuesta por un pozo séptico y un tanque que internamente se divide en tres etapas, una de filtración, otra de procesos biológicos para la descomposición y una última de desinfección y filtrado final del agua tratada.

### 3.1.4 Sistema de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)

Compuesto por un tanque recargable de CO<sub>2</sub> y un conjunto de válvulas encargado de la distribución de dicho gas hacia las líneas para la producción de las bebidas carbonatadas.

### 3.1.5 Sistema de Amoníaco

El sistema de amoníaco o de refrigeración es el que se encarga de enfriar la bebida previo al proceso de carbonatación para poder realizar la mezcla del jarabe con el CO<sub>2</sub> en las líneas de producción. Este sistema está compuesto por las cuatro etapas de un ciclo de refrigeración:

- **Compresión.** Se cuenta con cuatro compresores, tres en funcionamiento y un compresor auxiliar, los cuales se encargan de la compresión del refrigerante gaseoso, aumentando su presión y temperatura, generando que este se caliente.

- **Condensación.** En las torres de condensación, el refrigerante comprimido y caliente fluye cede calor al entorno circundante, en este caso agua, y durante este proceso el refrigerante se convierte de gas a líquido.
- **Expansión.** Después de salir de las torres de condensación, el refrigerante líquido se almacena en un tanque desde el cual se regula su flujo de acuerdo a la necesidad del proceso, puesto que luego pasa a través de una válvula de expansión que reduce su presión y temperatura; y así el refrigerante, en estado líquido y a una temperatura que oscila entre los  $-36^{\circ}\text{C}$  y los  $-40^{\circ}\text{C}$  llega a un nuevo recipiente o tanque en cada línea de producción.
- **Evaporación.** Una vez el refrigerante se encuentra en el tanque ubicado en cada línea, se hace pasar por un intercambiador de calor, donde absorbe calor de la bebida para lograr una temperatura entre  $2^{\circ}\text{C}$  y  $6^{\circ}\text{C}$ . Durante este proceso, el refrigerante se evapora y vuelve a su estado gaseoso.

Este último proceso hace parte de uno de los 12 sistemas principales dentro de cada línea de producción, llamado el sistema de refrigeración.

### 3.1.6 Sistema de Nitrógeno Líquido ( $\text{N}_2$ )

Al igual que el Sistema de  $\text{CO}_2$ , Está compuesto por un tanque de  $\text{N}_2$  recargable y un conjunto de válvulas que permiten la distribución del líquido hacia las líneas de producción de agua plana o sin gas. Allí se emplea este gas para causar una expansión dentro de la botella y darle estabilidad para el almacenamiento de las pacas en estibas; el cual, una vez sea abierta la botella y liberada la presión, el  $\text{N}_2$ , se liberará en estado gaseoso al ambiente sin afectar el sabor o la composición del agua producida.

### 3.1.7 Sistema de aire acondicionado

Es el sistema encargado de regular y ajustar los niveles de temperatura, humedad y circulación de aire para las oficinas de producción y el edificio administrativo. Tiene una composición similar al sistema de amoniaco en cuanto a las etapas de refrigeración, contando además con sistemas como un termostato de operación manual para modificar las condiciones deseadas, ductos de transporte, filtros de aire y desagüe de agua condensada para evacuarla del sistema.

### 3.1.8 Despacho y logística (*Picking*)

Son las bodegas de almacenamiento de producto terminado y donde se realiza el cargue de las estibas a los camiones para su distribución a nivel nacional e internacional. En este lugar las principales máquinas son: 1) dos montacargas a gas, 2) siete montacargas a combustión, y 3) una estibadora; las cuales cuentan con un programa de mantenimiento tercerizado con las empresas proveedoras de los equipos; las únicas intervenciones que se realizan son reparaciones simples que se llevan a cabo por el personal de mantenimiento.

### **3.1.9 Taller de manufactura**

El taller de manufactura de la empresa es utilizado por el personal de mantenimiento para la fabricación de partes y repuestos que no requieren de procesos muy elaborados de manufactura. En él se encuentran dos tornos, una fresadora, un esmeril y un taladro de banco como equipos fijos; además, de otra clase de herramienta o equipos móviles como lo son taladros, pulidoras y equipos de soldadura.

Sí bien se espera que con la implementación de un plan de mantenimiento, las intervenciones de emergencia y las acciones de mantenimiento correctivo y reactivo innecesarias se vean reducidas, es importante mantener este espacio en óptimas condiciones, puesto que, en ocasiones, se pueden optimizar costos al fabricar las piezas dentro de la misma empresa.

## **3.2 ACTIVOS PLANTA DE PRODUCCIÓN**

Una vez analizados los equipos periféricos, se procede a verificar los sistemas y funcionamiento de los activos al interior del espacio físico de la planta de producción y donde se lleva a cabo la preparación de cada bebida desde el ingreso del agua clarificada y demás materias primas, hasta el embalaje y almacenamiento del producto final.

### **3.2.1 Planta de Tratamiento de Agua Potable N°2 (PTAP 2)**

Es la planta encargada de recibir el agua clarificada proveniente de la PTAP 1 para continuar con el proceso de potabilización, permitiendo dejar el agua sin coloraciones, olores, sabores, partículas y microorganismos extraños.

Esta planta cuenta con: 1) un tanque de agua clarificada para almacenar el agua que llega desde la PTAP1, 2) tres filtros de arena, 3) dos filtros de carbón activado; componentes empleados para eliminar partículas sólidas y materia suspendida en el agua, 4) un sistema de filtración compuesto por tres filtros intercambiables de 10, 5 y 1 micra, 5) un sistema de lámparas UV para eliminar microorganismos, 6) cinco tanques de almacenamiento del agua tratada con sus respectivas bombas para el transporte de esta a cada línea de producción y al cuarto de jarabe, 7) dos equipos de ósmosis inversa, los cuales cuentan con una membrana semipermeable para eliminar impurezas, permitiendo el paso de moléculas de agua mientras retiene contaminantes más grandes, como sales y minerales, para finalmente eliminar el agua de rechazo que contiene las impurezas, garantizando la calidad del agua que continúa su proceso; se cuenta también con 8) tres torres de ozonización, una directamente en la PTAP 2 y las demás ubicadas a un lado de las llenadoras de las líneas 2 y 4; este proceso se encarga de agregar ozono al agua producida con el fin de mitigar o disminuir al máximo la aparición de microorganismos en el producto.

Además, la planta de tratamiento también cuenta con equipos para agua recuperada que puede emplearse dentro de la empresa y los cuales constan de un tanque de agua recuperada y un floculador para tratarla nuevamente.

### **3.2.2 Zona de materias primas**

Es el sector de la planta de producción donde se almacena el azúcar, los saborizantes, las tapas, las preformas, los rollos de termo encogible y de etiquetas; elementos adquiridos externamente y que son requeridos en los determinados sistemas del proceso productivo para la elaboración de las bebidas terminadas. Allí, en cuanto a activos, sólo se cuenta con un montacarga de combustión y una estibadora, las cuales, al igual que en el *picking*, se les realiza un mantenimiento tercerizado con los proveedores de los equipos, a menos de que sean intervenciones menores que puedan ser llevadas a cabo sin inconveniente por el equipo de mantenimiento.

### **3.2.3 Preparación de jarabe simple**

Es un cuarto adyacente a la zona de materias primas, el cual cuenta con: 1) dos tanques de 20.000 L de capacidad con su respectivo agitador cada uno, los cuales se encargan de mezclar el agua con el azúcar para lograr una mezcla homogénea denominada "jarabe simple". A este proceso lo complementan, 2) dos bombas que se encargan de impulsar la mezcla hacia los tanques del cuarto de jarabe terminado.

### **3.2.4 Preparación de jarabe terminado**

El cuarto de jarabe terminado se encuentra al lado del cuarto de preparación de jarabe simple, y es operado por el mismo personal técnico; dicho cuarto cuenta con un tanque de preparación de ingredientes equipado con un agitador a 1.000 RPM, en el cual se depositan los ingredientes que dan sabor a la bebida y se mezclan hasta lograr una sustancia homogénea, la cual, al igual que el jarabe simple, se envía hacia ocho tanques de 20.000 L y dos tanques de 10.000 L. Estos tanques cuentan también con un agitador que permite mezclar el jarabe simple con los demás ingredientes hasta obtener como producto el "jarabe terminado", denominado así, puesto que en ese punto de preparación ya se encuentra listo para ingresar a las líneas de producción, sin ser aún la bebida final. La ocupación de dichos tanques, así como el sabor de jarabe que en ellos se prepara depende de la programación de la planta. Finalmente, el proceso termina con el sistema de bombas y tuberías que se encargan de llevar el jarabe terminado a cada línea de producción a excepción de la línea de producción N°4 que sólo produce agua plana o sin gas.

### **3.2.5 Cuarto de limpieza interna o *Clean In Place* (CIP)**

El CIP es un método utilizado en la industria para limpiar y desinfectar internamente equipos y tuberías, sin tener que ser desmontados. Para ello se utilizan diferentes sustancias químicas con el fin de asegurar una limpieza eficiente y eliminar cualquier residuo o contaminante; lo que hace del CIP un proceso de vital importancia en la industria alimenticia. El cuarto de CIP se encarga de contener en ocho tanques las sustancias de limpieza y desinfección como lo son: 1) el detergente alcalino (hidróxido de sodio), para eliminar grasas, aceites y proteínas; 2) ácido cítrico, para eliminar depósitos minerales, incrustaciones, residuos de sabor y olor del proceso anterior; 3) detergente (ácido peracético) empleado como desinfectante para eliminar microorganismos patógenos; y 4) agua, para el enjuague de cada sustancia, luego, durante, y después del proceso de limpieza.

### **3.2.6 Línea de producción N°1**

Es la línea de producción encargada de producir las referencias de tamaño familiar dentro de la empresa y la única con la capacidad para manejar estos grandes formatos de: 1 L; 1,4 L; 1,7 L y 3,020 L. En esta línea de producción sólo se producen bebidas carbonatadas a una velocidad máxima de 18.000 botellas/hora para la referencia más pequeña y de aproximadamente 6.000 botellas/hora para el formato de mayor tamaño; opera de manera continua durante toda la semana con un día de parada programado para el procedimiento CIP, inspecciones generales e intervenciones de mantenimiento a elementos que han comenzado a presentar una operación en falla.

### **3.2.7 Línea de producción N°2**

En esta línea de producción se generan las referencias de: 400 ml de bebidas carbonatas, 500 ml de bebida hidratante, 300 ml y 600 ml de agua plana o sin gas; dentro de la empresa es la única línea adaptada para la producción del formato 500 ml. Con una velocidad de producción que varía entre las 14.000 y las 16.000 botellas/hora de acuerdo al formato a producir; esta línea tiene establecido un funcionamiento continuo durante la semana y, al igual que la línea de producción N°1, se suele realizar una parada semanal programada para el procedimiento CIP y realizar inspecciones generales e intervenciones de mantenimiento.

### **3.2.8 Línea de producción N°3**

Esta línea de producción se caracteriza por ser la de mayor cantidad de producción de bebidas carbonatadas y la segunda teniendo en cuenta todas las referencias y sabores dentro de la planta con una velocidad de 23.000 botellas/hora, aunque sólo es posible desarrollar en ella los formatos de 400 ml para bebidas carbonatadas y 400 ml para refrescos. Al igual que las líneas de producción anteriores, su producción es continua, pero con una parada semanal para limpieza, inspecciones e intervenciones necesarias de mantenimiento.

### 3.2.9 Línea de producción N°4

Es la línea de producción más moderna y actualizada que tiene la empresa, adquirida y puesta en marcha en el año 2021; además de ser una de las líneas de producción de embotellado en Tereftalato de Polietileno (PET) de mayor producción en Latinoamérica, con una velocidad de 55.000 botellas/hora para el embotellado de las referencias 300 ml y 600 ml de agua plana o sin gas. Esta línea está programada para un funcionamiento de 18 horas diarias durante seis días a la semana, contando con tiempos de parada e intervenciones o inspecciones definidas dentro del plan de mantenimiento compartido por el proveedor de la línea de producción.

### 3.2.10 Línea de producción N°5

Fue la primera línea de producción adquirida por la empresa cuando comenzó operaciones; la cual posteriormente, fue trasladada y remodelada en el año 2022. Esta línea de producción genera las referencias de: 250 ml y 400 ml de bebidas carbonatadas, 250 ml de refrescos y 300 ml del energizante, con una velocidad de producción de entre 12.000 y 15.000 botellas/hora, su funcionamiento es continuo durante la semana, pero comparte su parada programada semanal para CIP y mantenimiento con la línea de producción N°2.

Todas las líneas de producción de la planta; las cuales, se encuentran compuestas por las mismas máquinas o “pasos” de producción y cuya función es equivalente en cada una de ellas; están distribuidos tal como se muestra en la Figura 9.

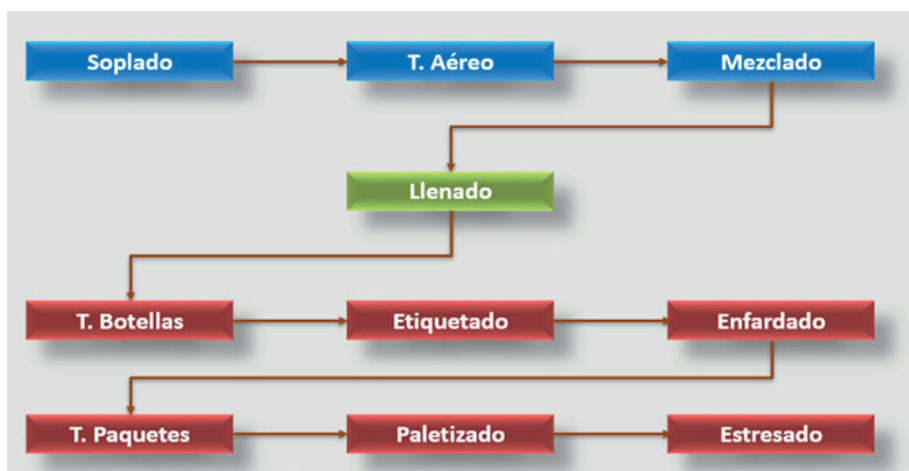


Figura 9. Distribución típica de una línea de producción de embotellado

Dentro de la empresa, y en la mayoría de procesos productivos en plantas de embotellado, se trabaja con un modelo de producción en el cual, la máquina o proceso que marca el ritmo de producción es el llenado; por lo tanto, todo lo que se encuentre previo a la llenadora se le conoce como “procesos aguas arriba”, y los pasos posteriores se les denomina “procesos aguas abajo”; en ambos casos la velocidad del proceso debe ser superior a medida de que se encuentre más alejado del proceso de llenado, con el fin de reducir la acumulación en los transportes y permitir un proceso fluido, tal como se muestra en la Figura 10.

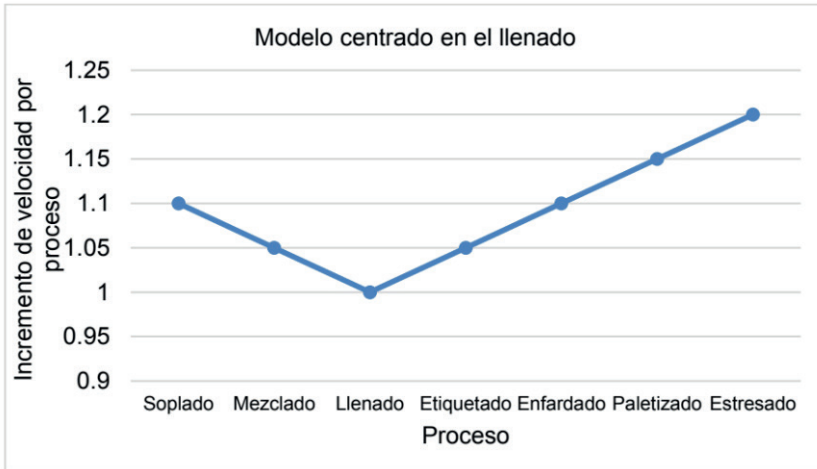


Figura 10. Modelo de producción centrado en el llenado

Sin embargo, existe otro modelo en el cual se establece que el proceso principal de producción es el soplado, tomando a los demás procesos como “aguas abajo” y generando un aumento lineal de la velocidad de producción para evitar también la acumulación en los transportes, como se evidencia en la Figura 11.

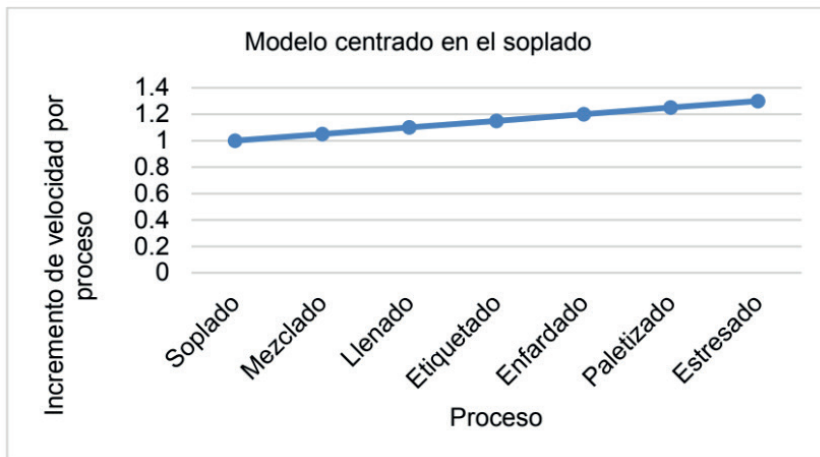


Figura 11. Modelo de producción centrado en el soplado



Independientemente del modelo de producción que se emplee, las funciones de cada proceso no varían y son equivalentes en todas las líneas de producción, a excepción de la línea de producción N°4, la cual no cuenta con transporte aéreo puesto que el proceso de soplado se encuentra enlazado directamente a los procesos de etiquetado y llenado.

### 3.2.11 Soplado

El proceso de soplado que se puede observar en la Figura 12, es el primero de las líneas de producción, en el cual se genera la fabricación de las botellas plásticas que se utilizarán para contener las bebidas, a partir de preformas con un gramaje y tamaño específico. Estas preformas ingresan a una tolva de almacenamiento y dosificación, para luego pasar por un sistema de acomodación que las organiza en una posición específica previo al ingreso a la sopladora; una vez allí, las preformas son recogidas por un sistema de transferencia o transporte que las hace pasar por un horno de inducción a una temperatura entre los 90°C y los 110°C durante un tiempo aproximado de dos minutos.

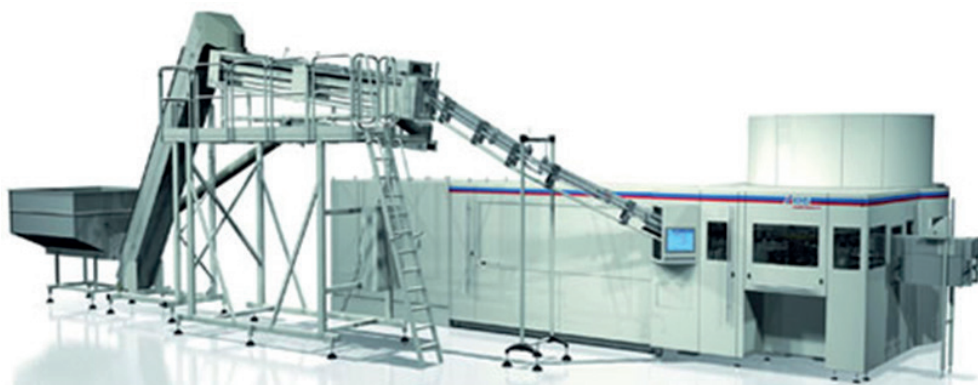


Figura 12. Sopladora

Una vez que las preformas salen calientes del horno, el sistema de transporte las dirige hacia los moldes de la rueda de soplado; donde, una vez cerrados se le inyectará aire a la preforma al mismo tiempo que una varilla la va estirando hasta tomar la forma del molde. Una vez que las botellas salen de la rueda de soplado, otro sistema de transferencia se encarga de posicionar las botellas nuevamente para ingresar al sistema de transporte aéreo.

### 3.2.12 Transporte aéreo

EL transporte aéreo como se muestra en la Figura 13, desempeña un papel crucial al conectar la sopladora con la llenadora, facilitando el transporte eficiente de las botellas de un proceso a otro mediante la utilización de “*blowers*” o ventiladores de aire. Estos generan un impulso que propulsa las botellas a lo largo de las guías que sostienen el labio de cada una de ellas. Para garantizar una trayectoria precisa, el sistema incorpora guías laterales que evitan posibles desviaciones y atascos durante el traslado. Además de esta función de transporte aéreo, el sistema ofrece la capacidad de almacenar el producto, lo que resulta especialmente valioso en situaciones donde el proceso de llenado se detiene. Este almacenamiento temporal permite un margen de tiempo para reaccionar y resolver cualquier posible problema que se presente, sin necesidad de interrumpir el proceso de soplado, optimizando así los tiempos de producción.



Figura 13. Transportador aéreo

### 3.2.13 Mezclado

El proceso de mezclado como se observa en la Figura 14, se encarga de dosificar la cantidad requerida de jarabe, agua y  $\text{CO}_2$  para obtener la composición final de la bebida. El *mixer* cuenta con: 1) un tanque de almacenamiento de jarabe, 2) uno de agua y 3) otro denominado tanque pre-carbonatador; este último cuenta con unos agitadores internos ya que es en el que se mezclan el jarabe y el agua según la receta de la bebida a producir. Una vez ocurrido esto, la mezcla se pasa por un intercambiador de calor o sistema de refrigerado y volverá al *mixer* para adicionar la cantidad de  $\text{CO}_2$  a la bebida en el tanque carbonatador y posteriormente finalizar el proceso al dirigir el producto con las condiciones adecuadas hacia la llenadora.



Figura 14. Mixer

### 3.2.14 Refrigerado

Si bien, es un proceso que se comparte con el sistema de amoníaco, es de vital importancia mencionarlo dentro de la línea de producción, puesto que se encuentra en la trayectoria del proceso productivo cumpliendo con la necesidad de reducir la temperatura de la mezcla de jarabe y agua, mediante un intercambiador de calor de placas cerradas, por el cual se hace pasar el amoníaco, generando así la refrigeración del líquido que sale de este proceso a una temperatura entre los 2°C y los 6°C, ideal para que el proceso de carbonatación sea óptimo y el CO<sub>2</sub> quede adherido a la bebida, en la Figura 15 se puede observar el proceso de refrigeración.



Figura 15. Intercambiador de calor

### 3.2.15 Llenado

El proceso de llenado que se observa en la Figura 16, comienza cuando las botellas que llegan del transporte aéreo son recibidas por las estrellas de transferencia al interior de la llenadora, con el fin de dirigir las en una posición específica hacia un sistema denominado “*rinser*” o enjuagador, en el cual las botellas son ubicadas por una pinza sobre un pequeño tubo, del cual sale un chorro de agua para limpiar el interior de la botella y posteriormente entregar las botellas al tazón, el cual almacena la bebida que llega del *mixer* y la distribuye a cada una de las válvulas de llenado.

Una vez la botella se encuentre en posición y comience el recorrido en el tazón, se acciona el pistón que lleva la boca de la botella hacia la válvula y se genera un sello para igualar las presiones, permitiendo la apertura de la válvula y dando comienzo a un proceso de llenado isobárico; una vez el líquido alcanza el nivel requerido en la botella, se libera la presión dentro de la misma para poder separarla de la válvula y pasar al proceso de sellado con la tapa. El sistema de tapas se compone de una tolva de almacenamiento y dosificación que entrega las tapas a un elevador de cangilones encargado de llevarlas hacia un acomodador que se encarga de asegurar que la tapa salga hacia el sistema de transferencia o “*pick and place*” y se ubique sobre la botella en la posición adecuada para sellarla; una vez que esto sucede, la botella con la tapa encima pasa por el conjunto roscador; el cual, ajusta la tapa con un torque en un rango de 12-18 libras por pulgada. Finalmente, la botella sale llena y tapada hacia el transporte de botellas.

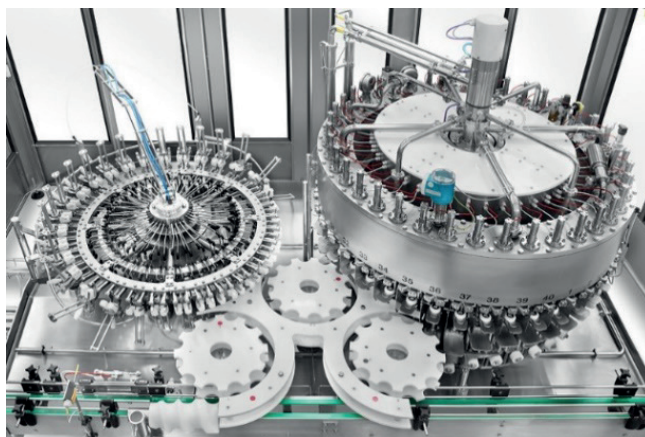


Figura 16. Llenadora

### 3.2.16 Transporte de botellas

El sistema de transporte de botellas que se observa en la Figura 17, es el encargado de conectar el proceso de llenado con el proceso de etiquetado y luego con el proceso de enfardado. Está compuesto por un conjunto de cadenas modulares individuales movilizadas por motorreductores, las cuales se encargan de transportar las botellas de manera individual entre los procesos; además, de brindar también la capacidad de almacenar el producto; beneficiando al proceso productivo en caso tal de presentarse una parada en la etiquetadora, enfardadora o procesos siguientes, tratando de evitar o disminuir las paradas de la llenadora ante este tipo de problemas, garantizando así que el equipo de referencia del proceso continúe produciendo, optimizando así los tiempos de producción.



Figura 17. Transporte de botellas

### 3.2.17 Marcado

El proceso se lleva a cabo durante el transporte de las botellas, donde un marcador láser denominado “*videojet*”, que se puede observar en la Figura 18, se encarga de estampar en cada botella los datos como: 1) fecha de fabricación, 2) fecha de vencimiento, 3) lote de producción, y 4) línea de producción en la que fue generada la bebida.



Figura 18. Marcador láser videojet

### 3.2.18 Etiquetado

En el proceso de etiquetado que se observa en la Figura 19, las botellas que ingresan a la etiquetadora pasan por un separador que permite ubicar cada botella en una posición específica dentro del carrusel, una plataforma giratoria encargada de trasladarla desde el transporte de entrada hacia la salida de la máquina etiquetadora, haciéndola girar para adherir la etiqueta a su cuerpo. Al mismo tiempo, la etiquetadora se compone del sistema distribuidor del rollo de etiquetas que permite un flujo constante de estas al proceso, con un estabilizador para garantizar que la etiqueta quede a la altura y en la posición adecuada, un sistema de corte que secciona el rollo en una medida precisa para obtener las etiquetas individuales; un sistema de vacío que se encarga de mantener la etiqueta adherida al tambor mediante presión negativa mientras se le aplica el pegamento caliente proveniente de un sistema de encolado a una temperatura de 160°C-180°C, para finalmente llevar la etiqueta terminada hacia el carrusel donde se encuentra con la botella para ser adherida a esta y continuar su recorrido por el transporte de botellas hasta el enfardado.



Figura 19. Etiquetadora

### 3.2.19 Enfardado

El proceso de enfardado que se observa en la Figura 20, comienza con una entrada masiva de botellas a la máquina, las cuales, mediante un separador automático, se agrupan de acuerdo a la cantidad de unidades y la distribución de cada paca de productos; una vez esto ocurre, un empujador se encarga de llevar el grupo de botellas hacia un mecanismo envolvente, al mismo tiempo que el sistema de corte se encarga de seccionar el plástico termo-encogible que se empleará para cubrir el grupo de botellas. Una vez las botellas llegan al envolvente, este toma la sección de termo-encogible aplicando el corte requerido y cubre a las botellas agrupadas para posteriormente pasar al horno de termo-encogido, el cual, empleando una temperatura que oscila entre los 180°C y 200°C, se encarga de que el plástico se adhiera al grupo de botellas, dándole una forma definida a la paca; finalmente, a la salida del horno se encuentra un ventilador, encargado de enfriar el producto y darle firmeza al plástico previo a pasar al transporte de paquetes.



Figura 20. Enfardadora

### 3.2.20 Transporte de paquetes

El sistema de transporte de paquetes que se muestra en la Figura 21, es el encargado de conectar el proceso de enfardado con el proceso de paletizado. Este sistema se encuentra compuesto por un bandas modulares y conjuntos de rodillos movilizadas por motorreductores, las cuales se encargan de transportar las pacas o paquetes entre los procesos; además, de brindar también la capacidad de almacenar el producto; beneficiando al proceso productivo en caso tal de presentarse una parada en los procesos posteriores como, tratando de evitar o disminuir las paradas de la línea, optimizando así los tiempos de producción.



Figura 21. Transporte de paquetes

### 3.2.21 Paletizado

El proceso productivo de paletizado que se observa en la Figura 22, se encarga de agrupar las pacas en una distribución y cantidad específica, con la finalidad de almacenarlas piso por piso sobre una estiba. El proceso inicia con la entrada de las pacas a una mesa compuesta por rodillos, sobre la cual se comenzará a formar la agrupación de las mismas con la ayuda de un empujador automático; el cual, al finalizar la formación y distribución del grupo completo de pacas, lo llevará hacia el plano móvil encargado de ubicar dicho conjunto sobre la estiba, formando así lo que se le llama como “piso”.

Las estibas suelen tener entre tres y seis pisos dependiendo de la referencia producida; así como cada piso puede contener entre 12 y 42 pacas. Finalmente, la estiba es colocada sobre un transporte de rodillos y sale de la paletizadora hacia la estresadora.



Figura 22. Paletizadora

### 3.2.22 Estresado

El proceso final de estresado que se muestra en la Figura 23, en el cual, las estibas ya cargadas del producto ingresan a la zona de estresado donde serán envueltas por varias capas de papel auto-adherente transparente, mediante un brazo giratorio o una mesa de rodillos giratoria y un brazo estático; esto con la finalidad de darle firmeza a la estiba con el producto y facilitar su almacenamiento. Al salir de la zona de estresado, la estiba es transportada sobre una mesa de rodillos hasta la zona de salida de la línea de producción donde la recogen con un montacarga y es dirigida al almacén.



Figura 23. Estresadora



### 3.3 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

A raíz de la cantidad de sistemas presentes en la empresa, se comienza a analizar uno a uno, con el fin de conocer las máquinas y equipos que los componen y el funcionamiento de cada uno de ellos; esto con el fin de identificar el sistema de mayor criticidad. Esto permitió identificar que, en todos los sistemas diferentes a las líneas de producción existen equipos similares a los presentes en las líneas de producción o que directamente estaban relacionados con las máquinas o equipos de las mismas, generando que puedan ser analizados y considerados dentro de las actividades de mantenimiento de las líneas de producción; y plantear estas actividades de mantenimiento para replicarlas en los componentes similares de los sistemas mencionados.

Lo que permite centrar la atención de la implementación del programa de mantenimiento y lubricación directamente en las cinco líneas de producción. Sin embargo, la función que cumplen estos dentro del proceso, es la misma sin importar la línea de producción. Por lo tanto, los factores a evaluar para determinar la línea de producción de mayor criticidad no están ligados directamente al tipo de máquinas y equipos que la componen, si no al impacto en la producción, seguridad del personal, riesgos ambientales y la frecuencia de paradas inesperadas evidenciadas en las líneas de producción. La valoración de cada una de estas variables se expresa en la Tabla 4.

Tabla 4. Parámetros a evaluar para la criticidad de las líneas de producción

<b>Paradas inesperadas</b>				
<b>Puntaje</b>	<b>Descripción</b>		<b>Parámetro</b>	
4	Frecuente		1 falla en una semana	
3	Ocasional		1 falla en un mes	
2	Remota		1 falla en un semestre	
1	Poco probable		1 falla en un año	
<b>Valor</b>	<b>Referencias producidas (Rp)</b>	<b>Seguridad (S)</b>	<b>Medioambiente (E=Environment)</b>	<b>Operacional (O)</b>
32	5 referencias o más	Muerte	Daño de alcance departamental/nacional	Entre el 35% y el 45% del total de unidades producidas
16	4 referencias	Incapacidad permanente	Daño de alcance municipal	Entre el 25% y el 35% del total de unidades producidas
8	3 referencias	Incapacidad temporal	Daño por fuera de la instalación	Entre el 15% y el 25% del total de unidades producidas
4	2 referencias	Primeros auxilios	Daño contenido en la instalación	Entre el 5% y el 15% del total de unidades producidas
2	1 referencia	Sin lesión	Daño confinado en equipo o ningún daño	Inferior al 5% del total de unidades producidas
<b>Otras consecuencias (Oc)</b>				
<b>Clientes</b>	<b>Legales</b>	<b>Regulatorias</b>	<b>Reputación</b>	
Pérdida de clientes equivalentes a más del 50% del consumo	Demanda	Multa y suspensión de actividad principal de la empresa	El evento genera difusión en medios de comunicación o redes sociales a nivel nacional e internacional	
Pérdida de clientes equivalentes hasta 50% del consumo	Requerimientos que requieren compensación	Multa y suspensión de actividad secundaria o complementaria	El evento genera difusión en medios de comunicación o redes sociales a nivel departamental	
Pérdida de clientes equivalentes hasta 25% del consumo	Requerimientos que requieren respuesta	Multa	El evento genera difusión en medios de comunicación o redes sociales a nivel municipal	
Pérdida de clientes equivalentes hasta 10% del consumo	Requerimientos que no requieren respuesta	Llamados de atención	El evento genera difusión al interior de la empresa	
Pérdida de clientes equivalentes hasta 2% del consumo	Ningún requerimiento	Ninguna consecuencia	El evento no genera ninguna difusión	

Una vez definidos los parámetros mencionados anteriormente, se evalúan dentro de una matriz de criticidad, obteniendo como resultado que el sistema más crítico de la planta de producción es la línea de producción N°1, como se expresa en la Tabla 5.

Tabla 5. Matriz de criticidad de las líneas de producción

Línea de producción	Paradas inesperadas	RP		S		E		O		OC		Suma de pesos K	RPN = FO x S/5
		0,2		0,2		0,2		0,2		0,2		1	
		Rp	Krp x Rp	S	Ks x S	E	Ke x E	O	Ko x O	OC	Koc x OC	Severidad ponderada S	
1	4	32	6,4	16	3,2	4	0,8	4	0,8	16	3,2	14,4	57,6
2	3	16	3,2	8	1,6	4	0,8	4	0,8	8	1,6	8	24
3	3	8	1,6	8	1,6	4	0,8	8	1,6	16	3,2	8,8	26,4
4	1	2	0,4	4	0,8	4	0,8	32	6,4	16	3,2	11,6	11,6
5	4	8	1,6	16	3,2	4	0,8	4	0,8	8	1,6	8	32

Este resultado se sustenta en el hecho de que la línea de producción N°1 suele tener al menos una parada inesperada por semana, produce cerca de 18.000 botellas por hora, equivalentes al 14,4% de la producción total de la planta, con un Número de Prioridad de Riesgo (RPN) de 57,6; al ser una máquina con más de dos décadas de uso, no cuenta con un sistema de seguridad sofisticado y moderno para ayudar a los operadores; en ocasiones se presentan fugas del producto en las áreas de mezclado y llenado, y es la única línea de producción que genera las referencias familiares de bebidas carbonatadas, lo que produce un impacto de gran magnitud en el mercado cada vez que se detiene. Todas estas razones sirvieron como justificación para considerar y seleccionar a la línea de producción N°1 como objeto principal de análisis en el desarrollo del plan integral de mantenimiento.

Una vez tomada esta decisión, se comenzó a recolectar información de manera más detallada, analizando cada una de las máquinas y procesos de la línea de producción N°1; para lo cual se realizó una búsqueda sobre la información técnica y de funcionamiento de cada una de ellas tanto para los equipos principales como para los subsistemas que los componen, obteniendo y generando de manera sistemática datos de archivos organizados en la empresa, además de obtener algunos manuales que debieron ser consultados en *internet* e incluso basarse en equipos similares, para poder conocer el funcionamiento de cada proceso.

Adicionalmente, se encuestó al personal operativo y administrativo de mantenimiento y de producción sobre su experiencia con cada máquina, frecuencias de fallas, tipos de fallas y capacidad para intervenir y/o operar los diferentes equipos; datos que fueron utilizados para definir el nivel de criticidad de cada proceso dentro de la línea de producción, como se evidencia en la Tabla 6.

Tabla 6. Parámetros a evaluar para la criticidad de máquinas en la línea de producción N°1

Fallas				
Puntaje	Descripción		Parámetro	
4	Frecuente		1 falla en una semana	
3	Ocasional		1 falla en un mes	
2	Remota		1 falla en un semestre	
1	Poco probable		1 falla en un año	
Valor	Falla oculta (H=Hidden)	Seguridad (S)	Medioambiente (E=Environment)	Operacional (O)
32	La falla no es detectada	Muerte	Daño de alcance departamental/nacional	Costo o pérdida mayor o igual al 50% de la producción
16	La falla es detectada en un mantenimiento anual	Incapacidad permanente	Daño de alcance municipal	Costo o pérdida entre el 25% y el 50% de la producción
8	La falla es detectada durante un mantenimiento mensual	Incapacidad temporal	Daño por fuera de la instalación	Costo o pérdida entre el 10% y el 25% de la producción
4	La falla es detectada en una ronda de operación diaria	Primeros auxilios	Daño contenido en la instalación	Costo o pérdida inferior al 10% de la producción
2	La falla es detectada inmediatamente por el sistema de control	Sin lesión	Daño confinado en equipo o ningún daño	Costo o pérdida inferior al 2% de la producción
Otras consecuencias (Oc)				
Cientes	Legales	Regulatorias	Reputación	
Pérdida de clientes equivalentes a más del 50% del consumo	Demanda	Multa y suspensión de actividad principal de la empresa	El evento genera difusión en medios de comunicación o redes sociales a nivel nacional e internacional	
Pérdida de clientes equivalentes hasta 50% del consumo	Requerimientos que requieren compensación	Multa y suspensión de actividad secundaria o complementaria	El evento genera difusión en medios de comunicación o redes sociales a nivel departamental	
Pérdida de clientes equivalentes hasta 25% del consumo	Requerimientos que requieren respuesta	Multa	El evento genera difusión en medios de comunicación o redes sociales a nivel municipal	
Pérdida de clientes equivalentes hasta 10% del consumo	Requerimientos que no requieren respuesta	Llamados de atención	El evento genera difusión al interior de la empresa	
Pérdida de clientes equivalentes hasta 2% del consumo	Ningún requerimiento	Ninguna consecuencia	El evento no genera ninguna difusión	

Con la información recolectada se evidenció avances en la creación de actividades de mantenimiento definidas y con datos históricos, principalmente en la sopladora, la etiquetadora y el sistema de válvulas de la llenadora; las cuales han sido administradas desde el *software* de mantenimiento *Mántum*, en el cual se ha generado la creación de los demás equipos como se evidencia en la Figura 24.

ÁRBOL JERÁRQUICO

EQUIPOS > VER FICHA TÉCNICA DE EQUIPO > EQ-001 | SOPLADORA BLOMAX 16 KHS LINEA 1

1-01-01 | LINEA 1

EQ-001 | SOPLADORA BLOMAX 16 KHS LINEA 1

EQ-001-01 | ALIMENTADOR DE PREFORMAS SOPLADORA BLOMAX 16 KHS LINEA 1

EQ-001-02 | RUEDAS DE TRANSFERENCIA SOPLADORA BLOMAX 16 KHS LINEA 1

EQ-001-03 | MANDRILES DE TRANSPORTE SOPLADORA BLOMAX 16 KHS LINEA 1

EQ-001-04 | HORNO SOPLADORA BLOMAX 16 KHS LINEA 1

EQ-001-05 | RUEDA SOPLADO SOPLADORA BLOMAX 16 KHS LINEA 1

EQ-001-06 | RUEDA INVERSORA DE BOTELLAS SOPLADORA BLOMAX 16 KHS LINEA 1

EQ-001-07 | CONTROLADOR DE SOPLADORA SOPLADORA BLOMAX 16 KHS LINEA 1

EQ-001-08 | GABINETE ELECTRICO SOPLADORA SOPLADORA BLOMAX 16 KHS LINEA 1

EQ-001-09 | CHILLER ALFRIJO SOPLADORA BLOMAX 16 KHS LINEA 1

EQ-002 | TRANSPORTADOR AEREO KHS LINEA 1

EQ-003 | MIXER KRONES LINEA 1

EQ-004 | EQUIPO DE REFRIGERACION SONDEX LINEA 1

EQ-005 | LLENADORA KHS LINEA 1

EQ-006 | TRANSPORTADOR BOTELLAS KHS LINEA 1

Costos Admin. Comp. y Pizarras A.M. Variables Eq. Stand By Instructivos Calendario Activos

Actividades de Mantenimiento (A.M.) Asignadas al Equipo

Página 1 de 2 Registros 1-10 de 12

Código	Nombre	Tipo	Especialidad	Frecuencia
EQ-001-A-001	Lubricación Semanal	Autónoma	Lubricación	Cada 1 Semanal(s)
EQ-001-A-002	Lubricación Trimestral	Autónoma	Lubricación	Cada 3 Mes(es)
EQ-001-C-001	Reparación General	Correctiva	Mecánica	-
EQ-001-S-001	Verificación Semestral	Sistemática	Técnico de Soplado	Cada 1 Mes(es)
EQ-001-S-002	Verificación Trimestral	Sistemática	Técnico de Soplado	Cada 3 Mes(es)
EQ-001-S-003	Verificación Mensual	Sistemática	Técnico de Soplado	Cada 1 Mes(es)
EQ-001-S-004	Lubricación Mensual Sopladora Blomax16	Sistemática	Lubricación	Cada 1 Mes(es)
EQ-001-S-005	Actividades Semanales Sopladora Blomax	Sistemática	Técnico de Soplado	Cada 1 Semanal(s)
EQ-001-S-006	Lubricación Semestral	Sistemática	Técnico de Soplado	Cada 6 Mes(es)
EQ-001-S-007	Lubricación Anual	Sistemática	Técnico de Soplado	Cada 1 Año(s)

Figura 24. Actividades de mantenimiento de la sopladora en la línea de producción N°1

Sin embargo, a pesar de estos avances se considera importante analizar cada máquina y emplear los parámetros de evaluación descritos anteriormente para definir el proceso más crítico dentro de la línea de producción N°1, teniendo en cuenta como factores diferenciadores: 1) la facilidad de detectar la ocurrencia de una falla, y 2) el porcentaje que puede significar la falla de estos procesos en cuanto a costos o pérdidas; obteniendo los siguientes resultados evidenciados en la Tabla 7.

Tabla 7. Matriz de criticidad de la línea de producción N°1

Máquina	Ocurrencia	H S E O OC										Suma de pesos K	RPN = FO x S/5
		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	1	
		Kh	S	Ke	O	OC	Ko	OC	Koc	OC	Severidad Ponderada S		
Sopladora	2	2	0,4	2	0,4	2	0,4	32	6,4	32	6,4	14	28
T.A.	2	2	0,4	2	0,4	2	0,4	8	1,6	8	1,6	4,4	8,8
Mixer	2	4	0,8	4	0,8	4	0,8	32	6,4	32	6,4	15,2	30,4
Llenadora	3	2	0,4	16	3,2	4	0,8	32	6,4	32	6,4	17,2	51,6
T.B.	2	2	0,4	4	0,8	4	0,8	4	0,8	4	0,8	3,6	7,2
Videojet	2	4	0,8	2	0,4	2	0,4	8	1,6	8	1,6	4,8	9,6
Etiquetadora	3	2	0,4	8	1,6	2	0,4	8	1,6	8	1,6	5,6	16,8
Enfardadora	3	2	0,4	8	1,6	4	0,8	8	1,6	8	1,6	6	18
T.P.	2	2	0,4	4	0,8	2	0,4	4	0,8	4	0,8	3,2	6,4
Paletizadora	4	2	0,4	16	3,2	2	0,4	2	0,4	2	0,4	4,8	19,2
Estresadora	2	2	0,4	8	1,6	2	0,4	2	0,4	2	0,4	3,2	6,4

Los resultados indican que, si bien la sopladora y la etiquetadora tienen un RPN alto, el equipo con mayor criticidad es la llenadora, la cual, es el equipo que marca la velocidad de producción de toda la línea de producción N°1; además, de llegar a presentarse en la llenadora entre una y tres fallas al mes; la condición de operación de la máquina permite realizar labores de lubricación y mantenimiento con los componentes en movimiento, lo que expone a los operarios de mantenimiento a posibles lesiones permanentes, así los manuales de seguridad de la empresa indiquen que esto no debe hacerse; se pueden presentar fugas en las tuberías y uniones, ocasionando derrames que se suelen contener dentro de la planta y es el equipo madre de la línea de producción N°1, puesto que si el equipo falla, la producción y el proceso en sí se detiene en un 100%.

### **3.4 ANÁLISIS DE CONDICIONES DE LUBRICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS**

Finalmente, se analizó la condición de lubricación de la línea de producción N°1 dentro de la cual se evidencia que no existe una capacitación directa y formal en el tema para el personal de mantenimiento; además, el uso de los lubricantes no se encuentra bien definido para cada componente y la realización de dichas actividades se centran en los conocimientos empíricos adquiridos principalmente por la experiencia en planta del lubricador asignado a dichas labores.

No existen en la empresa frecuencias de lubricación establecidas para los equipos bajo un concepto técnico y profesional, por lo que fue común evidenciar componentes con lubricación escasa y otros con exceso de lubricantes. Sin embargo, se tienen identificados correctamente los componentes que se deben lubricar con grasa tipo H1 y 3H para evitar la contaminación de las botellas al interior y de la bebida. Se evidencia la necesidad de crear las cartas de lubricación de cada proceso; y es por esto que se realizó el proceso de identificación de los puntos de lubricación de los equipos: 1) sopladora *Blomax* 16 KHS, 2) transportador aéreo KHS, 3) *mixer Krones*, 4) llenadora KHS, 5) transportador botellas KHS, 6) etiquetadora SACMI *Labelling* L1, 7) enfardadora SMI SK600P L1, 8) transportador de paquetes L1, 9) paletizadora OCME, y 10) estresadora *Techno Wrapp*; como se evidencia en la Tabla 8.

Tabla 8. Cartas de lubricación de cada proceso e identificación de puntos de lubricación

Código de equipo	Componente	Código de componente	Mecanismo
<b>Equipo 1. Sopladora Blomax 16 KHS</b>			
EQ-001	Rueda sopladora	EQ-001-03	Pasador cierre molde N°1
EQ-001	Rueda sopladora	EQ-001-03	Pasador cierre molde N°2
EQ-001	Rueda sopladora	EQ-001-03	Pasador cierre molde N°3
EQ-001	Rueda sopladora	EQ-001-03	Pasador cierre molde N°4
EQ-001	Rueda sopladora	EQ-001-03	Pasador cierre molde N°5
EQ-001	Rueda sopladora	EQ-001-03	Pasador cierre molde N°6
EQ-001	Rueda sopladora	EQ-001-03	Pasador cierre molde N°7
EQ-001	Rueda sopladora	EQ-001-03	Pasador cierre molde N°8
EQ-001	Rueda sopladora	EQ-001-03	Pasador cierre molde N°9
EQ-001	Rueda sopladora	EQ-001-03	Pasador cierre molde N°10
EQ-001	Rueda sopladora	EQ-001-03	Pasador cierre molde N°11
EQ-001	Rueda sopladora	EQ-001-03	Pasador cierre molde N°12
EQ-001	Rueda sopladora	EQ-001-03	Pasador cierre molde N°13
EQ-001	Rueda sopladora	EQ-001-03	Pasador cierre molde N°14
EQ-001	Rueda sopladora	EQ-001-03	Pasador cierre molde N°15
EQ-001	Rueda sopladora	EQ-001-03	Pasador cierre molde N°16
<b>Equipo 2. Transportador aéreo KHS</b>			
EQ-002	Guías	EQ-002-02	Superficie de deslizamiento
<b>Equipo 3. Mixer Krones</b>			
EQ-003	Tanque de agua	EQ-003-01	Válvulas
EQ-003	Tanque de jarabe	EQ-003-02	Válvulas
EQ-003	Tanque pre-carbonatado	EQ-003-03	Válvulas
EQ-003	Tanque carbonatado	EQ-003-04	Válvulas
<b>Equipo 4. Llenadora KHS</b>			
EQ-005	Suministro de tapas	EQ-005-01	Reductor distribuidor de tapas
EQ-005	Suministro de tapas	EQ-005-01	Reductor elevador de tapas
EQ-005	Estrellas de transferencia	EQ-005-02	Reductor estrellas de transferencia
EQ-005	Estrellas de transferencia	EQ-005-02	Chumacera N°1
EQ-005	Estrellas de transferencia	EQ-005-02	Chumacera N°2
EQ-005	Estrellas de transferencia	EQ-005-02	Chumacera N°3
EQ-005	Estrellas de transferencia	EQ-005-02	Chumacera N°4
EQ-005	Estrellas de transferencia	EQ-005-02	Chumacera N°5
EQ-005	Estrellas de transferencia	EQ-005-02	Chumacera N°6
EQ-005	Estrellas de transferencia	EQ-005-02	Chumacera N°7
EQ-005	<i>Rinser</i>	EQ-005-03	Reductor sistema <i>Rinseador</i>
EQ-005	<i>Rinser</i>	EQ-005-03	Chumacera rodamiento N°1
EQ-005	<i>Rinser</i>	EQ-005-03	Chumacera rodamiento N°2

EQ-005	<i>Rinser</i>	EQ-005-03	Chumacera rodamiento N°3
EQ-005	<i>Rinser</i>	EQ-005-03	Chumacera rodamiento N°4
EQ-005	<i>Rinser</i>	EQ-005-03	Guías del <i>rinser</i>
EQ-005	Tazón	EQ-005-04	Reductor del tazón
EQ-005	Tazón	EQ-005-04	Piñón de transmisión
EQ-005	Tazón	EQ-005-04	Corona del tazón
EQ-005	Tazón	EQ-005-04	Junta rotativa superior
EQ-005	Tazón	EQ-005-04	Junta rotativa inferior
EQ-005	Tazón	EQ-005-04	Depósito de aceite pistones
EQ-005	Roscador	EQ-005-05	Rodamiento inferior
EQ-005	Roscador	EQ-005-05	Rodamiento superior
EQ-005	Roscador	EQ-005-05	Roscador N°1
EQ-005	Roscador	EQ-005-05	Roscador N°2
EQ-005	Roscador	EQ-005-05	Roscador N°3
EQ-005	Roscador	EQ-005-05	Roscador N°4
EQ-005	Roscador	EQ-005-05	Roscador N°5
EQ-005	Roscador	EQ-005-05	Roscador N°6
EQ-005	Roscador	EQ-005-05	Roscador N°7
EQ-005	Roscador	EQ-005-05	Roscador N°8
EQ-005	Roscador	EQ-005-05	Roscador N°9
EQ-005	Roscador	EQ-005-05	Roscador N°10
EQ-005	Roscador	EQ-005-05	Roscador N°11
EQ-005	Roscador	EQ-005-05	Roscador N°12
EQ-005	Roscador	EQ-005-05	Roscador N°13
EQ-005	Roscador	EQ-005-05	Roscador N°14
EQ-005	Roscador	EQ-005-05	Roscador N°15
EQ-005	Roscador	EQ-005-05	Roscador N°16

#### **Equipo 5. Transportador botellas KHS**

EQ-006	Motorreductor N°1	EQ-006-01	Reductor N°1
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Cadena modular de transporte
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°1
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°2
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°3
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°4
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°5
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°6
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°7
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°8
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N° 9
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°10
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°11



EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°12
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°13
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°14
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°15
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°16
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°17
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°18
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°19
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°20
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°21
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°22
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°23
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°24
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°25
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°26
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°27
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°28
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°29
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°30
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°31
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°32
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°33
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°34
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°35
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°36
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°37
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°38
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°39
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°40
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°41
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°42
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°43
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°44
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°45
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°46
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°47
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°48
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°49
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°50
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°51
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°52

EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°53
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°54
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°55
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°56
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°57
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°58
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°59
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°60
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°61
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°62
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°63
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°64
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°65
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°66
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°67
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°68
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°69
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°70
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°71
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°72
EQ-006	Bandas modulares	EQ-006-02	Rodamiento N°73
EQ-006	Sistema de transmisión	EQ-006-03	Cadena de transmisión N°1
EQ-006	Sistema de transmisión	EQ-006-03	Cadena de transmisión N°2
EQ-006	Sistema de transmisión	EQ-006-03	Cadena de transmisión N°3
EQ-006	Sistema de transmisión	EQ-006-03	Cadena de transmisión N°4
EQ-006	Sistema de transmisión	EQ-006-03	Cadena de transmisión N°5
EQ-006	Sistema de transmisión	EQ-006-03	Cadena de transmisión N°6
EQ-006	Sistema de transmisión	EQ-006-03	Cadena de transmisión N°7
EQ-006	Sistema de transmisión	EQ-006-03	Cadena de transmisión N°8
EQ-006	Sistema de transmisión	EQ-006-03	Cadena de transmisión N°9
EQ-006	Sistema de transmisión	EQ-006-03	Cadena de transmisión N°10
EQ-006	Sistema de transmisión	EQ-006-03	Cadena de transmisión N°11
EQ-006	Sistema de transmisión	EQ-006-03	Cadena de transmisión N°12
EQ-006	Sistema de transmisión	EQ-006-03	Cadena de transmisión N°13
EQ-006	Sistema de transmisión	EQ-006-03	Cadena de transmisión N°14
EQ-006	Sistema de transmisión	EQ-006-03	Cadena de transmisión N°15
EQ-006	Motorreductor N°2	EQ-006-04	Reductor N°2
EQ-006	Motorreductor N°3	EQ-006-05	Reductor N°3
EQ-006	Motorreductor N°4	EQ-006-06	Reductor N°4
EQ-006	Motorreductor N°5	EQ-006-07	Reductor N°5
EQ-006	Motorreductor N°6	EQ-006-08	Reductor N°6

EQ-006	Motorreductor N°7	EQ-006-09	Reductor N°7
EQ-006	Motorreductor N°8	EQ-006-10	Reductor N°8
EQ-006	Motorreductor N°9	EQ-006-11	Reductor N°9
EQ-006	Motorreductor N°10	EQ-006-12	Reductor N°10
EQ-006	Motorreductor N°11	EQ-006-13	Reductor N°11
EQ-006	Motorreductor N°12	EQ-006-14	Reductor N°12
EQ-006	Motorreductor N°13	EQ-006-15	Reductor N°13
EQ-006	Motorreductor N°14	EQ-006-16	Reductor N°14
EQ-006	Motorreductor N°15	EQ-006-17	Reductor N°15
EQ-006	Motorreductor N°16	EQ-006-18	Reductor N°16
EQ-006	Motorreductor N°17	EQ-006-19	Reductor N°17
EQ-006	Motorreductor N°18	EQ-006-20	Reductor N°18
EQ-006	Motorreductor N°19	EQ-006-21	Reductor N°19
EQ-006	Motorreductor N°20	EQ-006-22	Reductor N°20
EQ-006	Motorreductor N°21	EQ-006-23	Reductor N°21

#### **Equipo 6. Etiquetadora SACMI Labelling L1**

EQ-008	Sistema de transmisión	EQ-008-03	Reductor principal de transmisión
EQ-008	Sistema de transmisión	EQ-008-03	Reductor auxiliar de transmisión
EQ-008	Sistema de transmisión	EQ-008-03	Crucetas del cardán
EQ-008	Sistema de transmisión	EQ-008-03	Eje del cardán
EQ-008	Sistema de transmisión	EQ-008-03	Bomba de lubricación
EQ-008	Sistema de encolado	EQ-008-04	Rodamiento superior
EQ-008	Sistema de encolado	EQ-008-04	Rodamiento inferior
EQ-008	Sistema de encolado	EQ-008-04	Reductor agitador de pega
EQ-008	Sistema de corte	EQ-008-05	Rodamiento tambor de corte
EQ-008	Sistema de corte	EQ-008-05	Lubricador automático de corte
EQ-008	Sistema carrusel	EQ-008-06	Vástago pistón carrusel
EQ-008	Sistema carrusel	EQ-008-06	Guías del pistón
EQ-008	Sistema carrusel	EQ-008-06	Amortiguadores del pistón
EQ-008	Sistema carrusel	EQ-008-06	Rodamientos de los platillos
EQ-008	Sistema carrusel	EQ-008-06	Reductor del carrusel
EQ-008	Sistema estructural	EQ-008-07	Reductor de ajuste de altura

#### **Equipo 7. Enfardadora SMI SK600P L1**

EQ-009	Sistema de transmisión	EQ-009-01	Rodamientos de transporte
EQ-009	Sistema de transmisión	EQ-009-01	Eje del cardán
EQ-009	Sistema de transmisión	EQ-009-01	Crucetas del cardán
EQ-009	Sistema de transmisión	EQ-009-01	Reductores
EQ-009	Sistema de cadenas	EQ-009-02	Cadenas del separador
EQ-009	Sistema de cadenas	EQ-009-02	Cadenas del empujador
EQ-009	Sistema de cadenas	EQ-009-02	Cadenas del envolvedor
EQ-009	Sistema de cadenas	EQ-009-02	Cadenas del horno

**Equipo 8. Transportador de paquetes L1**

EQ-010	Banda curva	EQ-010-02	Rodamiento banda curva
EQ-010	Banda paquete	EQ-010-03	Rodamientos
EQ-010	Banda paquete	EQ-010-03	Cadenas de transmisión
EQ-010	Motorreductor N°22	EQ-010-04	Reductor N°22
EQ-010	Motorreductor N°23	EQ-010-05	Reductor N°23
EQ-010	Motorreductor N°24	EQ-010-06	Reductor N°24
EQ-010	Motorreductor N°25	EQ-010-07	Reductor N°25
EQ-010	Motorreductor N°26	EQ-010-08	Reductor N°26
EQ-010	Motorreductor N°27	EQ-010-09	Reductor N°27
EQ-010	Motorreductor N°28	EQ-010-10	Reductor N°28
EQ-010	Motorreductor N°29	EQ-010-11	Reductor N°29
EQ-010	Motorreductor N°30	EQ-010-12	Reductor N°30
EQ-010	Motorreductor N°31	EQ-010-13	Reductor N°31
EQ-010	Motorreductor N°32	EQ-010-14	Reductor N°32
EQ-010	Motorreductor N°33	EQ-010-15	Reductor N°33
EQ-010	Motorreductor N°34	EQ-010-16	Reductor N°34
EQ-010	Motorreductor N°35	EQ-010-17	Reductor N°35
EQ-010	Motorreductor N°36	EQ-010-18	Reductor N°36
EQ-010	Motorreductor N°37	EQ-010-19	Reductor N°37
EQ-010	Motorreductor N°38	EQ-010-20	Reductor N°38
EQ-010	Motorreductor N°39	EQ-010-21	Reductor N°39
EQ-010	Motorreductor N°40	EQ-010-22	Reductor N°40

**Equipo 9. Paletizadora OCM**

EQ-011	Entrada de paquetes	EQ-011-03	Vástago volteador de paquetes
EQ-011	Entrada de paquetes	EQ-011-03	Reductor de traslación empujador
EQ-011	Entrada de paquetes	EQ-011-03	Reductor de elevación empujador
EQ-011	Entrada de paquetes	EQ-011-03	Guías de elevación empujador
EQ-011	Entrada de paquetes	EQ-011-03	Patines de elevación empujador
EQ-011	Entrada de paquetes	EQ-011-03	Guías de traslación del empujador
EQ-011	Entrada de paquetes	EQ-011-03	Patines de traslación empujador
EQ-011	Entrada de paquetes	EQ-011-03	Reductores mesa de rodillos
EQ-011	Plano móvil	EQ-011-04	Cadena empujador plano móvil
EQ-011	Plano móvil	EQ-011-04	Cadena de traslación plano móvil
EQ-011	Plano móvil	EQ-011-04	Reductor empujador plano móvil
EQ-011	Plano móvil	EQ-011-04	Reductor traslación plano móvil
EQ-011	Plano móvil	EQ-011-04	Cadenas dobles de elevación
EQ-011	Plano móvil	EQ-011-04	Guías de elevación plano móvil
EQ-011	Plano móvil	EQ-011-04	Reductores ajuste de paquetes
EQ-011	Plano móvil	EQ-011-04	Reductor elevación plano móvil
EQ-011	Acumulador de estibas	EQ-011-05	Reductor elevación estibas

EQ-011	Acumulador de estibas	EQ-011-05	Reductor traslación horquillas
EQ-011	Acumulador de estibas	EQ-011-05	Guías traslación horquillas
EQ-011	Acumulador de estibas	EQ-011-05	Cadena traslación horquillas
EQ-011	Elevador de cartón	EQ-011-06	Rodamientos elevador de cartón
EQ-011	Elevador de cartón	EQ-011-06	Guías de elevación cartón
EQ-011	Elevador de cartón	EQ-011-06	Patines de elevación cartón
EQ-011	Elevador de cartón	EQ-011-06	Rodamientos de traslación cartón
EQ-011	Elevador de cartón	EQ-011-06	Reductor de traslación cartón
EQ-011	Elevador de cartón	EQ-011-06	Reductor de elevación cartón
EQ-011	Transporte de estibas	EQ-011-07	Cadenas de transmisión rodillos
EQ-011	Transporte de estibas	EQ-011-07	Reductor rodillos

**Equipo 10. Estresadora *Techno Wrapp***

EQ-012	Mesa de estresado	EQ-012-02	Cadena mesa giratoria
EQ-012	Mesa de estresado	EQ-012-02	Reductor rodillos mesa giratoria
EQ-012	Mesa de estresado	EQ-012-02	Reductor de giro de la mesa
EQ-012	Mesa de estresado	EQ-012-02	Cadenillas centrales transmisión
EQ-012	Envolvedor	EQ-012-03	Reductor del envolvedor
EQ-012	Envolvedor	EQ-012-03	Cadenilla del envolvedor
EQ-012	Envolvedor	EQ-012-03	Piñones del envolvedor
EQ-012	Envolvedor	EQ-012-03	Rodamientos rodillos envolvedor
EQ-012	Brazo del envolvedor	EQ-012-04	Engranajes transmisión del brazo
EQ-012	Brazo del envolvedor	EQ-012-04	Reductor giro del brazo
EQ-012	Brazo del envolvedor	EQ-012-04	Rodamiento presor de estiba
EQ-012	Brazo del envolvedor	EQ-012-04	Rodamientos elevación envolvedor
EQ-012	Brazo del envolvedor	EQ-012-04	Cadena doble de elevación
EQ-012	Brazo del envolvedor	EQ-012-04	Reductor elevación envolvedor
EQ-012	Brazo de corte	EQ-012-05	Rodamiento base cilindro
EQ-012	Brazo de corte	EQ-012-05	Rodamiento biela cilindro
EQ-012	Transporte de estibas	EQ-012-06	Cadenas de transmisión rodillos
EQ-012	Transporte de estibas	EQ-012-06	Reductor rodillos

Obteniéndose así un panorama más amplio, con una adecuada identificación, selección y un registro de cada punto a tener en cuenta, a la hora de definir las actividades de mantenimiento y rutas de lubricación, así como el lubricante a utilizar, la cantidad y la frecuencia de intervenciones.

# ESTRUCTURACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

Una vez recolectada y analizada toda la información acerca de los activos de la empresa, su funcionamiento, las condiciones de mantenimiento y lubricación, a la que se veían sometidos cada uno de ellos, se procede a estandarizar esta información con la construcción de un Análisis de Modos y Efectos de Falla. En el cual se puede evidenciar de una forma más clara y concisa la función de cada componente, la identificación de sus posibles fallas funcionales, el modo de falla y los efectos que puede generar la falla de los componentes.

## 4.1 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (FMEA)

El primer paso para la construcción del FMEA es definir cuáles serán las máquinas, equipos y componentes a evaluar dentro de dicho análisis; por lo tanto, tomando en cuenta el análisis de criticidad realizado tanto para las líneas de producción como para las máquinas y subsistemas que las componen, se decidió comenzar con la llenadora de la línea de producción N°1; iniciando con la identificación de los equipos que la componen y cada uno de los subsistemas y componentes de estos equipos, con la finalidad de identificar y definir, inicialmente, cual es la función que cumple cada uno dentro del proceso productivo, como se puede evidenciar en la Tabla 9. La función de los demás componentes y equipos de la línea de producción N°1 se podrán consultar en el Anexo 2 de la investigación de Díaz (Díaz, 2024).

Tabla 9. Funciones de los componentes de la máquina llenadora línea de producción N°1

Equipo	Código	Componente	C.F	Función
Suministro de tapas	EQ-005-01-01	Tolva de tapas	1	Dosificar la entrada de tapas al empujador
			2	Dosificar la entrada de tapas al empujador transportar las tapas de la tolva a la banda transportadora
	EQ-005-01-02	Elevador de empujadores	1	Transportar las tapas de la tolva a la banda transportadora. Transmitir movimiento a la banda de empujadores
	EQ-005-01-03	Motorreductor del elevador	1	Transmitir movimiento a la banda de empujadores. Transportar las tapas hasta el volteador de tapas
	EQ-005-01-04	Banda transportadora de tapas	1	Transportar las tapas hasta el volteador de tapas. Transmitir movimiento a la banda transportadora
	EQ-005-01-05	Motorreductor banda de tapas	1	Transmitir movimiento a la banda transportadora. Acomodar las tapas en la posición de aplicación
	EQ-005-01-06	Volteador de tapas	1	Acomodar las tapas en la posición de aplicación. Permitir que las tapas se deslicen desde el volteador hasta el <i>pick and place</i>
	EQ-005-01-07	Guía de tapas	1	Garantizar la posición de las tapas en su desplazamiento hasta el <i>pick and place</i>
2			Recoger las tapas y llevarlas hasta el lugar de aplicación	
EQ-005-01-08	Pick and place	1	Recoger las tapas y llevarlas hasta el lugar de aplicación. Transportar las botellas desde el transporte aéreo hasta el <i>rinser</i>	
Estrellas de transferencia	EQ-005-02-01	Estrellas	1	Transportar las botellas desde el transporte aéreo hasta el <i>rinser</i> . Mantener la posición vertical de las botellas durante todo su recorrido
	EQ-005-02-02	Guías de botellas	1	Garantizar la estabilidad de las estrellas
	EQ-005-02-03	Soporte de las estrellas	1	Garantizar la posición de las estrellas respecto al <i>rinser</i>
			2	Transmitir movimiento a las estrella principal
	EQ-005-02-04	Motorreductor de estrellas	1	Transmitir movimiento a la estrella principal. Transmitir el movimiento de la estrella principal a las demás estrellas.
EQ-005-02-05	Sistema de transmisión	1	Transmitir el movimiento de la estrella principal a las demás estrellas. Sujetar la botella en su traslado desde las estrellas hasta el tazón	

<i>Rinser</i>	EQ-005-03-01	Pinzas de sujeción	1	Sujetar la botella en su traslado desde las estrellas hasta el tazón. Mantener la posición de las pinzas durante todo el recorrido
	EQ-005-03-02	Guía de las pinzas	1	Mantener la posición de las pinzas durante todo el recorrido. Garantizar la estabilidad del <i>rinser</i>
	EQ-005-03-03	Plataforma rotativa	1	Garantizar la alineación del <i>rinser</i> con las estructuras de los pistones
			2	Garantizar el movimiento del <i>rinser</i>
EQ-005-03-04	Motorreductor del <i>rinser</i>	1	Garantizar el movimiento del <i>rinser</i> . Llenar las botellas a la altura del tubo de venteo	
Sistema tazón	EQ-005-04-01	Válvulas de llenado	1	Llenar las botellas a la altura del tubo de venteo. Liberar la presión al interior de las botellas posterior al llenado
	EQ-005-04-02	<i>Sniff</i> de las válvulas	1	Liberar la presión al interior de las botellas posterior al llenado. Mantener la presión en la botella durante el llenado Mantener la presión en la botella durante el llenado. Llevar las botellas desde la base hasta la posición de llenado
	EQ-005-04-03	Pistones de elevación de las válvulas	1	Llevar las botellas desde la base hasta la posición de llenado. Mantener las botellas en la posición de llenado
			2	Mantener las botellas en la posición de llenado. Impulsar la bebida del <i>mixer</i> al tazón
	EQ-005-04-04	Bomba	1	Impulsar la bebida del <i>mixer</i> al tazón. Almacenar la bebida
	EQ-005-04-05	Tazón	1	Distribuir la bebida a cada válvula
			2	Transportar la bebida del <i>mixer</i> a la llenadora
	EQ-005-04-06	Tuberías	1	Unir los tramos de tuberías
	EQ-005-04-07	Uniones	1	Unir los tramos de tuberías. Garantizar la estabilidad del tazón
	EQ-005-04-08	Soporte central	1	Llevar aire comprimido para el funcionamiento de los pistones y actuadores
	EQ-005-04-09	Sistema neumático	1	Llevar aire comprimido para el funcionamiento de los pistones y actuadores Abrir las válvulas de llenado
EQ-005-04-10	Abridor de válvulas	1	Abrir las válvulas de llenado. Cerrar las válvulas de llenado	
EQ-005-04-11	Cerrador de válvulas	1	Cerrar las válvulas de llenado. Garantizar que el <i>sniff</i> sea presionado completamente	



	EQ-005-04-12	Guías del <i>sniff</i>	1	Garantizar que el <i>sniff</i> sea presionado completamente. Transmitir movimiento al piñón del sistema de transmisión
	EQ-005-04-13	Servomotor principal	1	Transmitir movimiento al piñón del sistema de transmisión. Transmitir movimiento del servomotor al tazón
	EQ-005-04-14	Sistema de transmisión	1	Aplicar la tapa en la botella con un torque entre x y z
Conjunto roscador	EQ-005-05-01	Roscadores	1	Aplicar la tapa en la botella con un torque entre x y z Transmitir movimiento al conjunto de engranaje central del conjunto roscador
	EQ-005-05-02	Motorreductor central	1	Transmitir movimiento al conjunto de engranaje central del conjunto roscador. Transmitir el movimiento a cada uno de los roscadores
	EQ-005-05-03	Sistema de transmisión	1	Transmitir el movimiento a cada uno de los roscadores Sostener la botella para evitar el giro de la misma al aplicar la tapa
	EQ-005-05-04	Antigiros	1	

Una vez definidos los componentes y cada una de sus funciones, se procede a analizar cuál sería la falla funcional de cada uno de ellos; es decir, la situación que permite identificar y hace constar que el componente ha dejado de cumplir con el propósito que tiene asignado dentro del proceso; esto se expone en la Tabla 10.

Tabla 10. Fallas funcionales de los componentes de la llenadora línea de producción N°1

Código	Componente	C.F	C.F.F	Falla funcional
<b>Equipo: Suministro de tapas</b>				
EQ-005-01-01	Tolva de tapas	1	1A	Las tapas que ingresan al proceso no quedan almacenadas en la tolva
		2	2A	Las tapas no ingresan al empujador
			2B	No se regula el ingreso de tapas al empujador
EQ-005-01-02	Elevador de empujadores	1	1A	Las tapas no llegan a la banda transportadora
EQ-005-01-03	Motorreductor del elevador	1	1A	No se transmite el movimiento a la banda de empujadores
EQ-005-01-04	Banda transportadora de tapas	1	1A	Las tapas no llegan al volteador
EQ-005-01-05	Motorreductor banda de tapas	1	1A	No se transmite el movimiento a la banda
EQ-005-01-06	Volteador de tapas	1	1A	Las tapas salen del volteador en posición contraria a la de aplicación
EQ-005-01-07	Guía de tapas	1	1A	Las tapas no llegan al <i>pick and place</i>
		2	2A	Las tapas llegan en una posición diferente al <i>pick and place</i>
EQ-005-01-08	<i>Pick and place</i>	1	1A	No recoge las tapas para transportarlas
			1B	No lleva las tapas hasta su lugar de aplicación
<b>Equipo: Estrellas de transferencia</b>				
EQ-005-02-01	Estrellas	1	1A	Las botellas que ingresan no llegan al <i>rinser</i>
EQ-005-02-02	Guías de botellas	1	1A	Las botellas pierden su posición vertical
EQ-005-02-03	Soporte de las estrellas	1	1A	El giro de las estrellas no es uniforme y presenta oscilaciones
		2	2A	Las estrellas se encuentran en un nivel diferente a la posición que presentan las pinzas de recepción de botellas del <i>rinser</i>
EQ-005-02-04	Motorreductor de estrellas	1	1A	No transmite el movimiento a la estrella principal
EQ-005-02-05	Sistema de transmisión	1	1A	No transmite el movimiento de la estrella principal a las demás estrellas o lo hace parcialmente
<b>Equipo: Rinser</b>				
EQ-005-03-01	Pinzas de sujeción	1	1A	La botella se suelta y no llega al tazón
EQ-005-03-02	Guía de las pinzas	1	1A	Las pinzas pierden su trayectoria durante el recorrido
EQ-005-03-03	Plataforma rotativa	1	1A	El giro del <i>rinser</i> no es uniforme y presenta oscilaciones
		2	2A	El <i>rinser</i> se encuentran en un nivel diferente a la posición que presentan las estructuras de los pistones en la recepción de botellas al tazón

EQ-005-03-04	Motorreductor del <i>rinser</i>	1	1A	No transmite el movimiento al <i>rinser</i>
<b>Equipo: Sistema tazón</b>				
EQ-005-04-01	Válvulas de llenado	1	1A	Las botellas se llenan a un nivel superior del tubo de venteo
			1B	Las botellas se llenan a un nivel inferior del tubo de venteo
EQ-005-04-02	<i>Sniff</i> de las válvulas	1	1A	La presión al interior de la botella no se libera
			1B1	Se presentan diferencias de presión dentro de la botella
EQ-005-04-03	Pistones de elevación de las válvulas	1	1A	La botella no llega hasta la válvula para su llenado
			2	2A
EQ-005-04-04	Bomba	1	1A	El fluido no tiene el impulso suficiente para llegar al tazón
EQ-005-04-05	Tazón	1	1A	La bebida no queda contenida en el tazón
			2	2A
EQ-005-04-06	Tuberías	1	1A	La bebida no llega o llega parcialmente al tazón
EQ-005-04-07	Uniones	1	1A	Los tramos de las tuberías no se encuentran unidos
EQ-005-04-08	Soporte central	1	1A	El giro del tazón no es uniforme y presenta oscilaciones
EQ-005-04-09	Sistema neumático	1	1A	El aire comprimido no llega a los pistones o no es suficiente para accionarlos
EQ-005-04-10	Abridor de válvulas	1	1A	La válvula de llenado permanece cerrada o se abre parcialmente
EQ-005-04-11	Cerrador de válvulas	1	1A	La válvula de llenado no se cierra completamente
EQ-005-04-12	Guías del <i>sniff</i>	1	1A	El <i>sniff</i> no es presionado o se presiona parcialmente
EQ-005-04-13	Servomotor principal	1	1A	No transmite el movimiento al piñón conductor
EQ-005-04-14	Sistema de transmisión	1	1A	El movimiento del servomotor no es transmitido al tazón
<b>Equipo: Conjunto roscador</b>				
EQ-005-05-01	Roscadores	1	1A	No aplica la tapa en la botella
			1B	Aplica torques por fuera del rango establecido
EQ-005-05-02	Motorreductor central	1	1A	No transmite el movimiento al conjunto de engranaje central
EQ-005-05-03	Sistema de transmisión	1	1A	No transmite movimiento a los roscadores
			1B	Transmite movimiento a algunos roscadores
EQ-005-05-04	Antigiros	1	1A	La botella se desliza y gira al aplicar la tapa

Conocida e identificada la falla funcional de cada componente, se prosigue con la identificación, evaluación de los modos de falla asociados a cada falla funcional, mejor definido como la manera en que un componente, equipo o sistema puede dejar de funcionar o cumplir con su función prevista; es decir, la forma específica en que ocurre una falla. Estos modos de falla se encuentran asociados en la Tabla 11.

Tabla 11. Modos de falla

Código	Componente	C.F	C.F.F	C.M.F.	Modo de falla
<b>Equipo: Suministro de tapas</b>					
EQ-005-01-01	Tolva de tapas	1	1A	1A1	Juntas y soldadura defectuosas
				1A2	Problemas estructurales que general una inclinación o desplazamiento de la tolva
		2	2A	2A1	La compuerta de salida que regula el paso de las tapas al empujador se encuentra bloqueada o atascada
				2B	2B1
EQ-005-01-02	Elevador de empujadores	1	1A	1A1	Atascos en el transporte del material
				1A2	Desgaste o ruptura de la banda
				1A3	Desgaste o ruptura de los empujadores
EQ-005-01-03	Motorreductor del elevador	1	1A	1A1	Desgaste excesivo en los engranajes del motorreductor
				1A2	Desgaste y agarrotamiento de los rodamientos del motor
				1A3	Cortocircuito del devanado del motor eléctrico
EQ-005-01-04	Banda transportadora de tapas	1	1A	1A1	Atascos en el transporte del material
				1A2	Desgaste o ruptura de la banda
				1A3	Mal posicionamiento y desajuste de las guías de la banda
EQ-005-01-05	Motorreductor banda de tapas	1	1A	1A1	Desgaste excesivo en los engranajes del motorreductor
				1A2	Desgaste y agarrotamiento de los rodamientos del motor
				1A3	Cortocircuito del devanado del motor eléctrico
EQ-005-01-06	Volteador de tapas	1	1A	1A1	Atascos al interior del volteador
				1A2	Mal posicionamiento de las guías de salida
EQ-005-01-07	Guía de tapas	1	1A	1A1	Mal posicionamiento de las guías de traslado al <i>pick and place</i>
		2	2A	2A1	Mal posicionamiento del <i>checkmate</i>

EQ-005-01-08	<i>Pick and place</i>	1	1A	1A1	Guías de entrada desajustadas
				1A2	El <i>pick and place</i> no está sincronizado con el ingreso de tapas
			1B	1B1	Guías del plato desajustadas o mal posicionadas
				1B2	Desgaste excesivo en el plato
<b>Equipo: Estrellas de transferencia</b>					
EQ-005-02-01	Estrellas	1	1A	1A1	Mal posicionamiento de las guías de las estrellas
				1A2	Atasco de botellas en las ranuras de las estrellas
				1A3	Estrellas desincronizadas
EQ-005-02-02	Guías de botellas	1	1A	1A1	Desajuste y mal posicionamiento de las guías de las botellas
EQ-005-02-03	Soporte de las estrellas	1	1A	1A1	Desbalanceo del soporte de las estrellas
				2	2A
EQ-005-02-04	Motorreductor de estrellas	1	1A	1A1	Desgaste excesivo en los engranajes del motorreductor
				1A2	Desgaste y agarrotamiento de los rodamientos del motor
				1A3	Cortocircuito del devanado del motor eléctrico
EQ-005-02-05	Sistema de transmisión	1	1A	1A1	Desgaste o ruptura de la correa de transmisión
				1A2	Desgaste excesivo o fractura de las poleas
<b>Equipo: Rinser</b>					
EQ-005-03-01	Pinzas de sujeción	1	1A	1A1	Desgaste de las gomas de las pinzas
				1A2	Desajuste estructural de las pinzas
EQ-005-03-02	Guía de las pinzas	1	1A	1A1	Desajuste y mal posicionamiento de las guías de las botellas
				1A2	Desgaste de las guías de las pinzas
EQ-005-03-03	Plataforma rotativa	1	1A	1A1	Desbalanceo del soporte del <i>rinser</i>
				2	2A
EQ-005-03-04	Motorreductor del <i>rinser</i>	1	1A	1A1	Desgaste excesivo en los engranajes del motorreductor
				1A2	Desgaste y agarrotamiento de los rodamientos del motor
				1A3	Cortocircuito del devanado del motor eléctrico
<b>Equipo: Sistema tazón</b>					
EQ-005-04-01	Válvulas de llenado	1	1A	1A1	Problemas de sellado del sistema de venteo
				1A2	Problemas de sellado de la válvula

				1A3	Ausencia del tubo de venteo o sus boquillas
			1B	1B1	Desgaste de los componentes internos de las válvulas
				1B2	Obstrucción del sistema de venteo y de llenado
EQ-005-04-02	Sniff de las válvulas	1	1A	1A1	Obstrucción en los ductos del <i>sniff</i>
				1A2	Bloqueo del accionador en la posición de cerrado
			1B1	1B1	Fractura o desgaste excesivo del resorte de posicionamiento del actuador
				2B2	Bloqueo del accionador en la posición de abierto
EQ-005-04-03	Pistones de elevación de las válvulas	1	1A	1A1	Fugas en los sellos del pistón
				1A2	Atascamiento del vástago del pistón
		2	2A	2A1	Pérdidas de presión durante el recorrido
				2A2	Desajuste y mal posicionamiento de las guías de elevación y desplazamiento
EQ-005-04-04	Bomba	1	1A	1A1	Desgaste del impulsor
				1A2	Desgaste y agarrotamiento de los rodamientos del motor
				1A3	Cortocircuito del devanado del motor eléctrico
EQ-005-04-05	Tazón	1	1A	1A1	Juntas, sellos y conexiones defectuosas
		2	2A	1A1	Presencia de materiales y agentes extraños
EQ-005-04-06	Tuberías	1	1A	1A1	Juntas, sellos y conexiones defectuosas
EQ-005-04-07	Uniones	1	1A	1A1	Desalineación de las tuberías
				1A2	Daños mecánicos en las uniones
EQ-005-04-08	Soporte central	1	1A	1A1	Desbalanceo del soporte del tazón
EQ-005-04-09	Sistema neumático	1	1A	1A1	Ductos o mangueras porosas o con orificios
				1A2	Obstrucciones en la distribución del aire
				1A3	Problemas de funcionamiento de los compresores
EQ-005-04-10	Abridor de válvulas	1	1A	1A1	Mal posicionamiento horizontal del actuador del abridor de válvulas
				1A2	Mal posicionamiento vertical del actuador del abridor de válvulas
				1A3	Desgaste del patín del abridor
EQ-005-04-11	Cerrador de válvulas	1	1A	1A1	Mal posicionamiento horizontal del actuador del cerrador de válvulas
				1A2	Mal posicionamiento vertical del actuador del cerrador de válvulas
				1A3	Desgaste del patín del cerrador

EQ-005-04-12	Guías del <i>sniff</i>	1	1A	1A1	Desgaste de las guías del <i>sniff</i>	
				1A2	Desajuste y mal posicionamiento de las guías	
EQ-005-04-13	Servomotor principal	1	1A	1A1	Desgaste excesivo en los engranajes del servomotor	
				1A2	Desgaste y agarrotamiento de los rodamientos del motor	
				1A3	Cortocircuito del devanado del motor eléctrico	
EQ-005-04-14	Sistema de transmisión	1	1A	1A1	Desgaste excesivo en los engranajes del sistema de transmisión	
<b>Equipo: Conjunto roscador</b>						
EQ-005-05-01	Roscadores	1	1A	1A1	Perdida de agarre del <i>chuck</i> del roscador	
				1A2	Inclinación del <i>chuck</i> del roscador	
				1A3	La tapa no se encuentra en posición de aplicación	
				1B	1B1	Desgaste y pérdida de atracción en los imanes del roscador
				1B2	Desajuste en la separación de los imanes del roscador	
EQ-005-05-02	Motorreductor central	1	1A	1A1	Desgaste excesivo en los engranajes del motorreductor	
				1A2	Desgaste y agarrotamiento de los rodamientos del motor	
				1A3	Cortocircuito del devanado del motor eléctrico	
EQ-005-05-03	Sistema de transmisión	1	1A	1A1	Desgaste excesivo del engranaje central del sistema de transmisión	
				1B	1B1	Desgaste excesivo de los engranajes individuales de cada roscador
EQ-005-05-04	Antigiros	1	1A	1A1	Las puntas de los antigiros ya se encuentran limadas y desgastadas	

Una vez identificados los modos de fallas, también es importante conocer cuáles son los efectos que pueden provocar las fallas de los componentes, con el fin de definir la criticidad de cada falla de ser necesario, además de brindar un contexto al equipo técnico y operativo sobre la importancia de prevenir estos eventos y brindar una guía para definir el tipo de actividad de mantenimiento que se realizarán en el equipo para lograr anticiparse y reducir al máximo la ocurrencia y los efectos de las fallas, tal y como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Efectos de falla

Código	Componente	C.F	C.F.F	C.M.F	Efectos de los modos de falla ¿Qué sucede cuando falla?
<b>Equipo: Suministro de tapas</b>					
EQ-005-01-01	Tolva de tapas	1	1A	1A1	Contaminación de las tapas y pérdidas de producto; si la fuga es excesiva se puede generar una parada del proceso
				1A2	Reducción en la producción por pérdida de producto
		2		2A	Se genera la detención del proceso, haciendo necesaria una intervención para corregir el problema y poder reanudar la producción
				2B	El exceso de tapas genera una obstrucción y atascamiento en el sistema, lo que hace necesario intervenir manualmente para reanudar producción
EQ-005-01-02	Elevador de empujadores	1	1A	1A1	Se podría detener el funcionamiento de la banda de empujadores, dejando al procesos sin tapas, necesitando la intervención del sistema para solucionar el problema
				1A2	El desgaste de la banda potenciaría el atascamiento de las tapas, además de generar deslizamiento de la banda respecto a la polea o rodillo conductor. Una ruptura de la banda detendría el proceso inmediatamente
				1A3	Al desgastarse los empujadores pueden perder firmeza y no realizar el transporte uniforme de las tapas. Una ruptura de estos generaría retrasos en la producción y sobrecargas al siguiente empujador
EQ-005-01-03	Motorreductor del elevador	1	1A	1A1	Se afecta la capacidad de transmitir movimiento de manera eficiente entre los engranajes, incluso llegando hasta el punto de no transmitirlo, generando una parada inesperada y de larga duración para el proceso
				1A2	Generaría vibraciones y sobrecargas que afectan los demás componentes del motor, así como mayor consumo energético y una posible parada del proceso
				1A3	Provoca la detención inmediata del proceso, haciendo necesario el reemplazo del motor eléctrico para retomar la producción
EQ-005-01-04	Banda transportadora de tapas	1	1A	1A1	Se podría detener el funcionamiento de la banda de empujadores transportadora, dejando al procesos sin tapas, necesitando la intervención del sistema para solucionar el problema



				1A2	El desgaste de la banda potenciaría el atascamiento de las tapas, además de generar deslizamiento de la banda respecto a la polea o rodillo conductor. Una ruptura de la banda detendría el proceso inmediatamente
				1A3	Ocasionaría la pérdida de tapas en el proceso, reduciendo su eficiencia y, dada la ubicación de este componente, las tapas podrían interferir en el funcionamiento de otros subsistemas
EQ-005-01-05	Motorreductor banda de tapas	1	1A	1A1	Se afecta la capacidad de transmitir movimiento de manera eficiente entre los engranajes, incluso llegando hasta el punto de no transmitirlo, generando una parada inesperada y de larga duración para el proceso
				1A2	Generaría vibraciones y sobrecargas que afectan los demás componentes del motor, así como mayor consumo energético y una posible parada del proceso
				1A3	Provoca la detención inmediata del proceso, haciendo necesario el reemplazo del motor eléctrico para retomar la producción
EQ-005-01-06	Volteador de tapas	1	1A	1A1	Se bloquea el sistema y se obstruye la salida del volteador generando la detención del proceso y siendo necesaria una intervención directa
				1A2	Generaría que las tapas puedan salir del sistema en posición opuesta a la de aplicación, causando atascos de las tapas dentro de las guías, o en el peor de los casos, llegando a zona de aplicación y causando que la máquina pierda sincronismo y posibles fallas en otros componentes
EQ-005-01-07	Guía de tapas	1	1A	1A1	Las tapas podrían salirse de las guías o quedar atascadas dentro de las mismas, interrumpiendo así el proceso productivo
		2	2A	2A1	El <i>checkmate</i> se encarga de bloquear el sistema si llega hasta él una tapa en posición contraria de aplicación, si este se encuentra en un posicionamiento errado, la tapa volteada podría llegar a los roscadores causando la desincronización de la máquina y posibles choques y fallas en el conjunto roscador
EQ-005-01-08	<i>Pick and place</i>	1	1A	1A1	Las tapas no tendrían una posición fija y ese grado de libertad podría generar que algunas de ellas sean expulsadas del <i>pick and place</i> , generando que no lleguen a la zona de aplicación y las botellas salgan sin tapa del proceso

	1A2	Las tapas no ingresarían al <i>pick and place</i> para ser llevadas a la zona de aplicación generando que la llenadora en general deba ser reiniciada y sincronizada desde cero, generando retrasos en producción
1B	1B1	Puede generar que las tapas queden atascadas bajo las guías ocasionando que salgan botellas sin tapa o, en el peor de los casos, generar la desincronización del <i>pick and place</i> y golpes entre los componentes del <i>pick and place</i>
	1B2	Generaría cortes o deformaciones en las tapas, afectando su calidad y, de acuerdo a su severidad, generando la detención del proceso

#### Equipo: Estrellas de transferencia

EQ-005-02-01	Estrellas	1	1A	1A1	Si la distancia de separación de las guías con las estrellas es muy amplia las botellas podrían soltarse y caerse; si, por el contrario, la separación es muy corta, las botellas se podrían atascar o sufrir daños en el proceso, lo que generaría pérdidas en el proceso productivo, ya que las botellas se contaminan y no llegan a zona de llenado
				1A2	El atasco generaría un daño y acumulación de botellas en una zona crítica que llevaría a la desincronización de la máquina y posibles fallas directamente en la estrella y su sistema de transmisión por sobrecargas
				1A3	No se realiza la entrega de las botellas entre las estrellas y el <i>rinser</i> , generando que se pare el proceso y se deba reiniciar la máquina para volverla a sincronizar
EQ-005-02-02	Guías de botellas	1	1A	1A1	Las botellas ingresan en una posición inadecuada al <i>rinser</i> , generando que al ingresar a la zona de llenado la botella caiga o, al no estar vertical, no se realice el llenado de la misma
EQ-005-02-03	Soporte de las estrellas	1	1A	1A1	Genera vibraciones excesivas y posible desgaste a las estrellas y sus demás componentes; además de presentarse el riesgo de choque entre las estrellas y es <i>rinser</i> , generando daños de gran magnitud para la máquina
		2	2A	2A1	Al presentarse una desalineación respecto al <i>rinser</i> se podría presentar irregularidades en la recepción de las botellas, como cambios en su posición y daños a botella, principalmente en la rosca de la boquilla, dañando la botella y generando pérdidas

EQ-005-02-04	Motorreductor de estrellas	1	1A	1A1	Se afecta la capacidad de transmitir movimiento de manera eficiente entre los engranajes, incluso llegando hasta el punto de no transmitirlo, generando una parada inesperada y de larga duración para el proceso
				1A2	Generaría vibraciones y sobrecargas que afectan los demás componentes del motor, así como mayor consumo energético y una posible parada del proceso
				1A3	Provoca la detención inmediata del proceso, haciendo necesario el reemplazo del motor eléctrico para retomar la producción
EQ-005-02-05	Sistema de transmisión	1	1A	1A1	El desgaste de la correa generaría una transmisión irregular del movimiento, pudiendo afectar el sincronismo de la máquina. Mientras que la ruptura generaría una parada inmediata del proceso productivo
				1A2	El desgaste de las poleas puede generar un deslizamiento de la correa, afectando el sincronismo de la máquina, mientras que una fractura de estas generaría una parada inesperada del proceso
<b>Equipo: Rinser</b>					
EQ-005-03-01	Pinzas de sujeción	1	1A	1A1	Al estar desgastadas la botella se puede soltar y no llegar hasta el tazón para su llenado, generando pérdidas de producción
				1A2	Esto puede ocasionar u agarre irregular de la botella, afectando su posición y generando que esta no sea llenada en el tazón
EQ-005-03-02	Guía de las pinzas	1	1A	1A1	Se perderían los tiempos y la posición de entrega de las botellas al tazón, pudiendo generar un atascamiento que detendría el proceso
				1A2	El juego que se presenta entre la guía y las pinzas podría modificar la posición de las botellas además de afectar la entrega de estas al tazón
EQ-005-03-03	Plataforma rotativa	1	1A	1A1	Genera vibraciones excesivas y posible desgaste al <i>rinser</i> y sus demás componentes; además de presentarse el riesgo de choque entre el <i>rinser</i> y el tazón, generando daños de gran magnitud para la máquina
		2	2A	1A1	Al presentarse una desalineación respecto a la estructura de recepción y posicionamiento de botellas en el tazón, se podría presentar irregularidades en el ingreso de las botellas, como cambios en su posición y daños a la botella generando pérdidas

EQ-005-03-04	Motorreductor del <i>rinser</i>	1	1A	1A1	Se afecta la capacidad de transmitir movimiento de manera eficiente entre los engranajes, incluso llegando hasta el punto de no transmitirlo, generando una parada inesperada y de larga duración para el proceso
				1A2	Generaría vibraciones y sobrecargas que afectan los demás componentes del motor, así como mayor consumo energético y una posible parada del proceso
				1A3	Provoca la detención inmediata del proceso, haciendo necesario el reemplazo del motor eléctrico para retomar la producción

**Equipo: Sistema tazón**

EQ-005-04-01	Válvulas de llenado	1	1A	1A1	Al romperse o estar desgastados los sellos del venteo de la válvula, la botella se continuará llenando generando fugas de líquido por el venteo
				1A2	Al fallar estos sellos, el tazón seguiría enviando bebida al interior de la botella así está ya haya alcanzado el nivel esperado, generando un sobrellenado
				1A3	La botella se llena hasta hacer sello con el sistema de venteo, la ausencia del tubo indicaría un nivel de llenado superior
			1B	1B1	Se genera un llenado irregular en el que el nivel de líquido es insuficiente para que la bebida salga al mercado
				1B2	Al generarse esta obstrucción, el aire dentro de la botella no puede salir correctamente generando un efecto llamado rebote, en el cual la bebida se agita y se expulsa de la botella debido a dicha presión
EQ-005-04-02	<i>Sniff</i> de las válvulas	1	1A	1A1	Al generarse esta obstrucción, CO <sub>2</sub> dentro de la botella intenta expandirse generando un efecto llamado rebote, en el cual la bebida se agita y se expulsa de la botella debido a dicha presión
				1A2	El sistema de <i>sniff</i> no se activa, por lo que el proceso de llenado no se detendría correctamente y generaría pérdidas por rebote de la bebida
			1B1	1B1	Generaría que el sistema no regrese a su posición normalmente cerrada, generando fugas de bebidas por el <i>sniff</i> durante el llenado
				2B2	Si el accionador queda abierto, la botella nunca alcanzará la condición isobárica de llenado por lo que está saldrá vacía del proceso

EQ-005-04-03	Pistones de elevación de las válvulas	1	1A	1A1	Las botellas no podrían ser llenadas o presentar demoras al llegar al punto de llenado, por lo que, al no sincronizarse con los tiempos de la máquina, su llenado sería incompleto
				1A2	La botella no llega a su posición de llenado generando un lucro cesante y la pérdida de la botella
		2	2A	2A1	Al finalizar el llenado, la botella no tendría el soporte para mantener su posición y generar una salida suave del proceso de llenado, generando que la botella se suelte y se pierda el producto con el que había sido llenada
				2A2	Las botellas pueden llegar al punto de llenado con la válvula pero en una posición irregular, afectando su llenado o impidiendo que este se lleve a cabo
EQ-005-04-04	Bomba	1	1A	1A1	Se afecta el caudal del líquido requerido para satisfacer la demanda del tazón, reduciendo la eficiencia del proceso o deteniéndolo de acuerdo a la severidad del daño
				1A2	Generaría vibraciones y sobrecargas que afectan los demás componentes del motor, así como mayor consumo energético y una posible parada del proceso
				1A3	Provoca la detención inmediata del proceso, haciendo necesario el reemplazo del motor eléctrico para retomar la producción
EQ-005-04-05	Tazón	1	1A	1A1	Se genera fugas de bebida a través de los sellos, juntas y conexiones del tazón, afectando la producción y generando un lucro cesante y pérdidas para la empresa
				2	2A
EQ-005-04-06	Tuberías	1	1A	1A1	Se genera fugas de bebida a través de los sellos, juntas y conexiones de la tuberías, afectando la producción y generando un lucro cesante y pérdidas para la empresa
EQ-005-04-07	Uniones	1	1A	1A1	Puede generar el daño de los sellos de las uniones y, a su vez, la fuga de bebida por el espacio entre tuberías que se generaría por dicha desalineación
				1A2	Los daños mecánicos pueden ocasionar fracturas o pérdida de sellado en las uniones provocando una pérdida masiva de bebida

EQ-005-04-08	Soporte central	1	1A	1A1	Genera vibraciones excesivas y posible desgaste al tazón y sus demás componentes; además de presentarse el riesgo de choque entre el tazón, generando daños de gran magnitud para la máquina
EQ-005-04-09	Sistema neumático	1	1A	1A1	Se genera la fuga del aire comprimido generando pérdidas a su vez de presión, afectando el funcionamiento de pistones y actuadores dentro de la llenadora
				1A2	Se puede generar la detención total del proceso si la obstrucción impide que el aire comprimido accione los pistones y actuadores
				1A3	Si existe una falla en los compresores, se detiene todo el proceso productivo y se debe comunicar con el proveedor puesto que la intervención de estos equipos se encuentra tercerizada
EQ-005-04-10	Abridor de válvulas	1	1A	1A1	Generaría un inicio tardío del llenado lo que se traduce en un llenado incompleto de las botellas
				1A2	Podría generar una apertura parcial de la válvula retrasando el llenado de la botella y generando un llenado incompleto; si la posición está más abajo de lo estipulado puede generar un choque entre el abridor y las válvulas
				1A3	A medida que aumenta el desgaste, la apertura de la válvula se reduce generando el llenado incompleto de todas las botellas que ingresan al tazón
EQ-005-04-11	Cerrador de válvulas	1	1A	1A1	Generaría un cerrado prematuro de las válvulas generando un llenado incompleto, o, por el contrario, un cerrado tardío generando un sobrellenado o fugas de bebida
				1A2	Las válvulas no se cerrarían completamente, generando un sobrellenado, efecto rebote o fugas de bebida; si la posición está más abajo de lo estipulado puede generar un choque entre el abridor y las válvulas
				1A3	A medida que aumenta el desgaste, el cierre de la válvula se reduce generando un sobrellenado o efecto rebote en todas las botellas que han sido llenadas en el tazón
EQ-005-04-12	Guías del <i>sniff</i>	1	1A	1A1	A medida que aumenta el desgaste, el accionador del <i>sniff</i> se presiona menos, generando que cada vez menos presión sea liberada de dentro de las botellas aumentando la posibilidad del efecto rebote y pérdidas de producción

				1A2	Si las guías se encuentran muy alejadas se afectará el accionamiento del <i>sniff</i> generando el efecto rebote en la bebida, si por el contrario se encuentran muy cerca, las válvulas podrían chocar contra las guías
EQ-005-04-13	Servomotor principal	1	1A	1A1	Se afecta la capacidad de transmitir movimiento de manera eficiente entre los engranajes, incluso llegando hasta el punto de no transmitirlo, generando una parada inesperada y de larga duración para el proceso
				1A2	Generaría vibraciones y sobrecargas que afectan los demás componentes del motor, así como mayor consumo energético y una posible parada del proceso
				1A3	Provoca la detención inmediata del proceso, haciendo necesario el reemplazo del motor eléctrico para retomar la producción
EQ-005-04-14	Sistema de transmisión	1	1A	1A1	Se afecta la capacidad de transmitir movimiento de manera eficiente entre los engranajes, incluso llegando hasta el punto de no transmitirlo, generando una parada inesperada y de larga duración para el proceso
<b>Equipo: Conjunto roscador</b>					
EQ-005-05-01	Roscaidores	1	1A	1A1	El <i>chuck</i> es el encargado de sostener la tapa durante el proceso de roscado; si este pierde la capacidad de agarre la tapa podría caerse y no ser aplicada en la botella; o lograr llegar al punto de aplicación, pero no tener la tracción necesaria para aplicarle el torque requerido
				1A2	Al suceder esto, la tapa se intentaría aplicar con un ángulo de inclinación ocasionando que no sea puesta correctamente en la botella o quede atascada, generando que las botellas que se sincronicen con ese roscador no sean tapadas o, en su defecto, se estrellen contra el roscador atascado
				1A3	Al ocurrir esto, la tapa se quedaría atascada en el <i>chuck</i> generando que todas las botellas sincronizadas con ese roscador salgan del proceso sin tapa aplicada
			1B	1B1	Al perderse la atracción de los imanes, el torque aplicado a la tapa será menos, generando que algunas tapas salgan con muy poco torque generando pérdidas de CO <sub>2</sub> dentro de la bebida y afectando su sabor

				1B2	Si la separación entre los imanes es muy alta el torque se reduce generando una botella con la tapa suelta, posibles pérdidas de contenido y de CO <sub>2</sub> cambiando el sabor de la bebida; por el contrario, si se acercan más, el torque aumentará haciendo que no todo el público pueda destapar su bebida
EQ-005-05-02	Motorreductor central	1	1A	1A1	Se afecta la capacidad de transmitir movimiento de manera eficiente entre los engranajes, incluso llegando hasta el punto de no transmitirlo, generando una parada inesperada y de larga duración para el proceso
				1A2	Generaría vibraciones y sobrecargas que afectan los demás componentes del motor, así como mayor consumo energético y una posible parada del proceso
				1A3	Provoca la detención inmediata del proceso, haciendo necesario el reemplazo del motor eléctrico para retomar la producción
EQ-005-05-03	Sistema de transmisión	1	1A	1A1	Se afecta la capacidad de transmitir movimiento de manera eficiente entre el motorreductor del sistema y los engranajes de los roscadores, incluso llegando hasta el punto de no transmitirlo, generando una parada inesperada y de larga duración para el proceso
				1B	1B1
EQ-005-05-04	Antigiros	1	1A	1A1	Las puntas no se incrustan en el cuello de la botella para sostenerla y evitar que gire, lo que ocasiona un tapado deficiente o nulo, provocando posibles pérdidas en la cantidad y la calidad del producto por el cambio de sabor debido a las fugas del CO <sub>2</sub>

## 4.2 DIAGRAMA DE DECISIÓN DE ACTIVIDADES

Una vez finalizado el análisis de modos y efectos de falla, se tienen las bases necesarias para adentrarse en el diagrama de decisión del RCM, con el fin de establecer las actividades de mantenimiento adecuadas para cada prevenir o anticiparse a las fallas descritas para cada componente; los criterios de evaluación de este diagrama se pueden evidenciar en la Figura 25, los cuales están encaminados al desarrollo de un mantenimiento proactivo dentro la planta.





Tabla 13. Evaluación de las consecuencias según el modo de falla

Componente	Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				Decisión			Tareas "a falta de"			
	C.F	C.F.F	C.M.F	H	S	E	O	H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	H4	H5	S4	
Tolva de tapas	1	1A	1A1				X	X						
			1A2				X	X						
	2	2A	2A1				X	X						
			2B	2B1				X	X					
Elevador de empujadores	1	1A	1A1				X							
			1A2	X			X	X						
			1A3				X	X						
Motorreductor del elevador	1	1A	1A1	X			X	X						
			1A2	X			X			X				
			1A3				X	X						
Banda transportadora de tapas	1	1A	1A1				X							
			1A2	X			X	X						
			1A3				X		X					
Motorreductor banda de tapas	1	1A	1A1	X			X	X						
			1A2	X			X			X				
			1A3				X	X						
Volteador de tapas	1	1A	1A1				X		X					
			1A2				X		X					
Guía de tapas	1	1A	1A1				X		X					
	2	2A	2A1				X	X						
<i>Pick and place</i>	1	1A	1A1				X		X					
			1A2				X	X						
	1B	1B1				X		X						
		1B2				X	X							
Estrellas	1	1A	1A1				X		X					
			1A2				X							
			1A3				X	X						
Guías de botellas	1	1A	1A1				X		X					
Soporte de las estrellas	1	1A	1A1				X	X						
	2	2A	2A1				X	X						
Motorreductor de estrellas	1	1A	1A1	X			X	X						
			1A2	X			X			X				
			1A3				X	X						
Sistema de transmisión	1	1A	1A1	X			X	X						
			1A2				X	X						

Pinzas de sujeción	1	1A	1A1		X		X
			1A2		X		X
Guía de las pinzas	1	1A	1A1		X		X
			1A2		X	X	
Plataforma rotativa	1	1A	1A1		X	X	
	2	2A	1A1		X	X	
Motorreductor del <i>rinser</i>	1	1A	1A1	X	X	X	
			1A2	X	X		X
			1A3		X	X	
Válvulas de llenado	1	1A	1A1		X		X
			1A2		X		X
			1A3	X		X	
	1B	1B1		X	X		
		1B2	X		X		
<i>Sniff</i> de las válvulas	1	1A	1A1		X		X
			1A2		X	X	
	1B1	1B1		X		X	
		2B2		X		X	
Pistones de elevación de las válvulas	1	1A	1A1		X		X
	2	2A	1A2		X	X	
			2A1		X	X	
			2A2		X	X	
Bomba	1	1A	1A1	X	X	X	
			1A2	X	X		X
			1A3		X	X	
Tazón	1	1A	1A1		X	X	
	2	2A	1A1	X			X
Tuberías	1	1A	1A1		X	X	
Uniones	1	1A	1A1		X	X	
			1A2		X	X	
Soporte central	1	1A	1A1		X	X	
Sistema neumático	1	1A	1A1		X	X	
			1A2		X	X	
			1A3		X		X
Abridor de válvulas	1	1A	1A1		X		X
			1A2		X		X
			1A3		X	X	
Cerrador de válvulas	1	1A	1A1		X		X
			1A2		X		X
			1A3		X	X	

Guías del <i>sniff</i>	1	1A	1A1		X	X
			1A2		X	X
Servomotor principal	1	1A	1A1	X	X	X
			1A2	X	X	X
			1A3		X	X
Sistema de transmisión	1	1A	1A1	X	X	X
Roscadores	1	1A	1A1		X	X
			1A2		X	X
			1A3		X	
		1B	1B1		X	X
			1B2		X	X
Motorreductor central	1	1A	1A1	X	X	X
			1A2	X	X	X
			1A3		X	X
Sistema de transmisión	1	1A	1A1	X	X	X
		1B	1B1	X	X	X
Antigros	1	1A	1A1		X	X

Tabla 14. Decisión de actividades de mantenimiento propuestas

Componente	Referencia de información			Tareas propuestas	Frecuencia inicial / Responsable
	C.F	C.F.F	C.M.F		
Tolva de tapas	1	1A	1A1	Realizar una inspección visual de las juntas y soldaduras de la tolva, reportar y describir anomalías	Mensual / Operador llenadora
			1A2	Realizar una inspección visual de la estructura de la tolva, verificando que no existan golpes o deformaciones significativas	Mensual / Operador llenadora
	2	2A	2A1	Realizar inspección y pruebas de funcionamiento de apertura y regulación de la compuerta	Mensual / Electrónico, mecánico
		2B	2B1	Realizar inspección y pruebas de funcionamiento de al cierre y sellado de la compuerta	Mensual / Electrónico, mecánico
Elevador de empujadores	1	1A	1A1	Corregir el atascamiento y evaluar las posibles causas del mismo	N.A. / Operador Llenadora, mecánico
			1A2	Realizar verificación de espesores y condiciones de desgaste de la banda de empujadores	Semestral / Mecánico
			1A3	Realizar verificación de espesores y condiciones de desgaste de los empujadores, reforzarlos si se evidencia la necesidad o programar una intervención de mantenimiento	Semestral / Mecánico

Motorreductor del elevador	1	1A	1A1	Realizar una inspección y verificación del reductor mediante mediciones de vibraciones, ruido y temperatura	Trimestral / Mecánico
			1A2	Reemplazar los rodamientos del motor	Anual / Mecánico
			1A3	Realizar una inspección de la condición del aislamiento eléctrico, las terminales y conexiones eléctricas del motor (revisar el devanado anualmente)	Trimestral / Electricista
Banda transportadora de tapas	1	1A	1A1	Corregir el atascamiento y evaluar las posibles causas del mismo	N.A. / Operador llenadora, mecánico
			1A2	Realizar verificación de espesores y condiciones de desgaste de la banda de empujadores	Semestral / Mecánico
			1A3	Verificar la posición de las guías y ajustar tornillería y demás elementos mecánicos (reemplazar los que se encuentren defectuosos)	Trimestral / Operador llenadora, mecánico
Motorreductor banda de tapas	1	1A	1A1	Realizar una inspección y verificación del reductor mediante mediciones de vibraciones, ruido y temperatura	Trimestral / Mecánico
			1A2	Reemplazar los rodamientos del motor	Anual / Mecánico
			1A3	Realizar una inspección de la condición del aislamiento eléctrico, las terminales y conexiones eléctricas del motor (revisar el devanado anualmente)	Trimestral / Electricista
Volteador de tapas	1	1A	1A1	Realizar limpieza del volteador de tapas verificando que no existan cuerpos extraños que puedan causar el atasco de las tapas en su interior	Diaria / Operador de llenadora
			1A2	Verificar la posición de las guías de salida del volteador y ajustar tornillería y demás elementos mecánicos (reemplazar los que se encuentren defectuosos)	Mensual / Operador llenadora, mecánico
Guía de tapas	1	1A	1A1	Verificar la posición de las guías de traslado al <i>pick and place</i> y ajustar tornillería y demás elementos mecánicos (reemplazar los que se encuentren defectuosos)	Mensual / Operador llenadora, mecánico
	2	2A	2A1	Realizar una inspección visual y de funcionamiento del <i>checkmate</i> , garantizando el bloqueo del sistema ante una tapa en posición errónea	Diaria / Operador de llenadora

<i>Pick and place</i>	1	1A	1A1	Verificar la posición de las guías de entrada al <i>pick and place</i> y ajustar tornillería y demás elementos mecánicos (reemplazar los que se encuentren defectuosos)	Semanal / Operador llenadora, mecánico
			1A2	Verificar el sincronismo del sistema de <i>pick and place</i> con la entrada de tapas	Durante arranque y cambios de formato / Electrónico
		1B	1B1	Verificar la posición de las guías del plato del <i>pick and place</i> y ajustar tornillería y demás elementos mecánicos (reemplazar los que se encuentren defectuosos)	Semanal / Operador llenadora, mecánico
			1B2	Verificar el estado del plato y su condición de desgaste, medir espesores y eliminar aristas vivas de ser necesario	Anual / Mecánico
Estrellas	1	1A	1A1	Verificar la posición de las guías de las estrellas, medir distancias, hacer pruebas y ajustar tornillería y demás elementos mecánicos (reemplazar los que se encuentren defectuosos)	Durante arranque y cambios de formato / Operador llenadora, mecánico
			1A2	Corregir el atascamiento y evaluar las posibles causas del mismo	N.A. / Operador llenadora, mecánico
			1A3	Verificar el sincronismo de las estrellas con el <i>rinser</i> en la zona de entrega de las botellas	Durante arranque y cambios de formato / Electrónico
Guías de botellas	1	1A	1A1	Verificar la posición de las guías de las botellas, medir distancias, hacer pruebas y ajustar tornillería y demás elementos mecánicos (reemplazar los que se encuentren defectuosos)	Durante arranque y cambios de formato / Operador llenadora, mecánico
Soporte de las estrellas	1	1A	1A1	Verificar que el soporte no presente un desbalanceo superior a 1°, de ser así, informar y programar una intervención para corregir su funcionamiento	Cada cuatro meses / Mecánico
		2	2A	2A1	Verificar el nivel del soporte de las estrellas y su estructura, apretar los pernos y reemplazar los elementos en mal estado de ser necesario
Motorreductor de estrellas	1	1A	1A1	Realizar una inspección y verificación del reductor mediante mediciones de vibraciones, ruido y temperatura	Trimestral / Mecánico
			1A2	Reemplazar los rodamientos del motor	Anual / Mecánico
			1A3	Realizar una inspección de la condición del aislamiento eléctrico, las terminales y conexiones eléctricas del motor (revisar el devanado anualmente)	Trimestral / Electricista

Sistema de transmisión	1	1A	1A1	Realizar una inspección visual del estado de desgaste de la correa, verificar su tensión y su longitud	Semestral / Mecánico
			1A2	Realizar una medición de vibraciones y una verificación de la alineación entre las poleas conductora y conducida	Mensual / Mecánico
Pinzas de sujeción	1	1A	1A1	Reemplazar las gomas de las pinzas del <i>rinser</i>	Semestral / Operador de llenadora
			1A2	Realizar una verificación y ajuste mecánico de las pinzas y sus piezas	Cada dos meses / Mecánico
Guía de las pinzas	1	1A	1A1	Verificar la posición de las guías del <i>rinser</i> , que no se encuentren sueltas o flojas, hacer pruebas y ajustar tornillería y demás elementos mecánicos (reemplazar los que se encuentren defectuosos)	Cada 4 meses / Mecánico
			1A2	Verificar que el diámetro de las guías no haya perdido dimensiones y que el juego entre la guía y las pinzas no genere vibraciones ni modificación de la posición de las botellas en su trayectoria	Semestral / Mecánico
Plataforma rotativa	1	1A	1A1	Verificar que la plataforma no presente un desbalanceo superior a 1°, de ser así, informar y programar una intervención para corregir su funcionamiento	Semestral / Mecánico
	2	2A	1A1	Verificar el nivel de la plataforma rotativa y su estructura, apretar los pernos y reemplazar los elementos en mal estado de ser necesario	Semestral / Mecánico
Motorreductor del <i>rinser</i>	1	1A	1A1	Realizar una inspección y verificación del reductor mediante mediciones de vibraciones, ruido y temperatura	Trimestral / Mecánico
			1A2	Reemplazar los rodamientos del motor	Anual / Mecánico
			1A3	Realizar una inspección de la condición del aislamiento eléctrico, las terminales y conexiones eléctricas del motor (revisar el devanado anualmente)	Trimestral / Electricista

Válvulas de llenado	1	1A	1A1	Reemplazar los sellos del sistema de venteo y realizar una inspección de los demás componentes	Anual / Mecánico
			1A2	Reemplazar los sellos de las válvulas y realizar una inspección de los demás componentes	Anual / Mecánico
			1A3	Verificar ajuste y condición de los tubos de venteo y sus boquillas, verificar que se encuentren completas	Cada 8 horas en cambio de turno / Operador de llenadora
	1B	1B1	Realizar una inspección visual y una limpieza de los componentes de las válvulas de llenado; reemplazar aquellos que se encuentren defectuosos	Cada cuatro meses / Mecánico	
		1B2	Realizar la limpieza general de las válvulas y verificar que en el interior del tazón y las válvulas de llenado no se encuentren agentes extraños	Semanal / Operador de llenadora	
<i>Sniff</i> de las válvulas	1	1A	1A1	Realizar limpieza de los <i>sniff</i> y verificar que en el interior de este sistema no se encuentren agentes extraños	Semanal / Operador de llenadora
			1A2	Hacer una inspección visual y una limpieza de los componentes del sistema de <i>sniff</i> para las válvulas; reemplazar aquellos que se encuentren defectuosos	Cada cuatro meses / Mecánico
			1B1	1B1	Realizar el reemplazo de los resortes del <i>sniff</i>
	2B2	Realizar limpieza del accionador del <i>sniff</i> y verificar posible agarrotamiento por acumulación de sedimentos de la bebida azucarada		Semanal / Operador de llenadora	
	Pistones de elevación de las válvulas	1	1A	1A1	Reemplazar sellos del cilindro del pistón neumático
1A2				Realizar inspección visual del funcionamiento de los pistones, analizar empaques y estado del vástago	Cada 4 meses / Mecánico
2		2A	2A1	Realizar inspección de fugas en el sistema neumático y en el cuerpo del pistón, en caso de detectar alguna, reportar para programar intervención	Semanal / Operador de llenadora
			2A2	Verificar la posición de las guías de elevación, revisar concentricidad con las válvulas, verificar estado de los rodillos de desplazamiento, que no presenten caras planas ni desgaste, hacer pruebas y ajustar tornillería y demás elementos mecánicos (reemplazar los que se encuentren defectuosos)	Quincenal / Operador llenadora, mecánico



Bomba	1	1A	1A1	Realizar una inspección y verificación del estado de la bomba y el impulsor mediante mediciones de vibraciones y ruido	Trimestral / Mecánico
			1A2	Reemplazar los rodamientos del motor	Anual / Mecánico
			1A3	Realizar una inspección de la condición del aislamiento eléctrico, las terminales y conexiones eléctricas del motor (revisar el devanado anualmente)	Trimestral / Electricista
Tazón	1	1A	1A1	Realizar inspección visual identificando posibles fugas presentes en el tazón, reportar en caso de identificar alguna para programar intervención	Semanal / Operador de llenadora
			2	2A	1A1
Tuberías	1	1A	1A1	Realizar inspección visual identificando posibles fugas presentes en las tuberías que transportan la bebida, reportar en caso de identificar alguna para programar intervención	Semanal / Operador de llenadora
Uniones	1	1A	1A1	Realizar inspección visual identificando posibles fugas presentes en las uniones de las tuberías y analizar la alineación de las mismas, reportar en caso de identificar alguna anormalidad para programar intervención	Mensual / Mecánico
			1A2	Hacer una inspección visual del estado de las uniones de tuberías, verificando también sus sellos al interior	Trimestral / Mecánico
Soporte central	1	1A	1A1	Verificar que la soporte central no presente un desbalanceo superior a 1°, de ser así, informar y programar una intervención para corregir su funcionamiento	Anual / Mecánico
Sistema neumático	1	1A	1A1	Realizar una inspección del estado de las mangueras, racores y uniones del sistema neumático; si se evidencian fugas y desgaste en los componentes, reemplazar de ser posible o programar intervención	Quincenal / Mecánico
			1A2	Realizar una medición del caudal y la presión del aire comprimido para identificar posibles obstrucciones	Trimestral / Mecánico
			1A3	Ejecutar el plan de mantenimiento de los compresores descrito por el proveedor	Semestral / Contratista, proveedor

Abridor de válvulas	1	1A	1A1	Verificar la posición horizontal del abridor de válvulas, medir distancias, hacer pruebas de llenado y ajustar tornillería y demás elementos mecánicos (reemplazar los que se encuentren defectuosos)	Semanal / Operador llenadora, mecánico
			1A2	Ajustar la posición vertical del abridor de válvulas, de acuerdo al desgaste del patín, medir distancias, hacer pruebas de llenado y ajustar tornillería y demás elementos mecánicos (reemplazar los que se encuentren defectuosos)	Semanal / Operador llenadora, mecánico
			1A3	Realizar inspección de la condición de desgaste del patín, reemplazar cuando la pérdida de material genere una ranura de 5 mm de profundidad	Mensual / Mecánico
Cerrador de válvulas	1	1A	1A1	Verificar la posición horizontal del cerrador de válvulas, medir distancias, hacer pruebas de llenado y ajustar tornillería y demás elementos mecánicos (reemplazar los que se encuentren defectuosos)	Semanal / Operador llenadora, mecánico
			1A2	Ajustar la posición vertical del cerrador de válvulas, de acuerdo al desgaste del patín, medir distancias, hacer pruebas de llenado y ajustar tornillería y demás elementos mecánicos (reemplazar los que se encuentren defectuosos)	Semanal / Operador llenadora, mecánico
			1A3	Realizar inspección de la condición de desgaste del patín, reemplazar cuando la pérdida de material genere una ranura de 5 mm de profundidad	Mensual / Mecánico
Guías del <i>sniff</i>	1	1A	1A1	Verificar la posición las guías del <i>sniff</i> , medir distancias, hacer pruebas de accionamiento del <i>sniff</i> y ajustar tornillería y demás elementos mecánicos (reemplazar los que se encuentren defectuosos)	Semanal / Operador llenadora, mecánico
			1A2	Realizar inspección de la condición de desgaste de las guías, reemplazar cuando la pérdida de material genere una ranura de 5 mm de profundidad	Mensual / Mecánico
Servomotor principal	1	1A	1A1	Realizar una inspección y verificación del reductor mediante mediciones de vibraciones, ruido y temperatura	Trimestral / Mecánico
			1A2	Reemplazar los rodamientos del motor	Anual / Mecánico
			1A3	Realizar una inspección de la condición del aislamiento eléctrico, las terminales y conexiones eléctricas del motor (revisar el devanado anualmente)	Trimestral / Electricista

Sistema de transmisión	1	1A	1A1	Realizar una inspección visual y verificación del funcionamiento de los engranajes mediante mediciones de vibraciones, ruido y temperatura	Semestral / Mecánico	
Roscadores	1	1A	1A1	Reemplazar el elástico que ejerce presión a los elementos rodantes del <i>chuck</i> que generan el agarre de la tapa	Semestral / Mecánico	
			1A2	Realizar mediciones de nivel y alineación de los <i>chuck</i> con la boquilla de las botellas, corregir de ser posible o informar para programar intervención	Quincenal / Mecánico	
			1A3	Desatascar las tapas atoradas y verificar fallas en procesos anteriores que permitieron que la tapa llegara fuera de posición	N.A. / Operador llenadora, mecánico	
			1B	1B1	Verificación de los imanes y demás elementos internos del roscador, limpieza interna y pruebas de funcionamiento	Anual / Mecánico
			1B2	Verificación y ajuste de la distancia de separación de los imanes respecto al torque solicitado	Diaria / Operador de llenadora	
Motorreductor central	1	1A	1A1	Realizar una inspección y verificación del reductor mediante mediciones de vibraciones, ruido y temperatura	Trimestral / Mecánico	
			1A2	Reemplazar los rodamientos del motor	Anual / Mecánico	
			1A3	Realizar una inspección de la condición del aislamiento eléctrico, las terminales y conexiones eléctricas del motor (revisar el devanado anualmente)	Trimestral / Electricista	
Sistema de transmisión	1	1A	1A1	Realizar una inspección visual y verificación del funcionamiento del engranaje central mediante mediciones de vibraciones, ruido y temperatura	Semestral / Mecánico	
		1B	1B1	Realizar una inspección visual y verificación del funcionamiento de los engranajes de cada roscador mediante mediciones de vibraciones, ruido y temperatura	Semestral / Mecánico	
Antigiros	1	1A	1A1	Verificar condición de las puntas de agarre del anti giro y realizar pruebas con las botellas; reemplazar de ser necesario	Cada 4 meses / Mecánico	

Las actividades de mantenimiento descritas anteriormente se comenzaron a ejecutar en la planta, como un mantenimiento planeado, generando que la eficiencia del proceso de llenado, en un rango de ocho meses, incrementara del 58% al 79%, respecto a las unidades producidas de buena calidad con respecto al máximo de unidades que puede ofrecer la máquina; generando una reducción de cerca del 50% en las paradas inesperadas de producción y un aprovechamiento al máximo del tiempo durante las intervenciones programadas de mantenimiento durante la ejecución del CIP de la línea de producción. Además, con la implementación del *software* de mantenimiento *Mántum*, se han comenzado a generar órdenes de trabajo OT's y un registro de bitácora al atender cada una de ellas, permitiendo construir una base de datos históricos con información acerca de cada intervención realizada, para la futura construcción de indicadores de mantenimiento (KPI's) más específicos. Lo anterior se puede evidenciar en las Figuras 26 y 27.

Información Registro	
Fecha Registro:	2021-11-18 10:35
Responsable:	Juan Daniel Diaz Marin
Fecha Edición:	
Responsable:	
Información General	
Equipo:	EQ-005   LLENADORA KHS LINEA 1
Código:	EQ-005-S-007
Prioridad:	Alta
Especialidad:	Mecánica
Tipo de Disparo:	Tiempo
Nombre:	Inspección cuatrimestral conjunto de válvulas de llenado
Req. Operacional:	Parado por Mantenimiento
Estado:	Activa
<b>Descripción:</b> Seleccionar 20 válvulas con 9 posiciones de diferencia y realizar lo siguiente - Inspección resorte de venteo, que no se encuentre deformado, fracturado o con desgaste interno - Revisar junta de venteo cónica, que no se encuentre rasgada o deformada - Inspección del casquillo cuerpo de válvula, que no se encuentre fracturado o deformado - Verificar estado de la camisa de la válvula, que no se encuentre golpeada, fracturada y que ingrese con facilidad - Inspección de la canastilla, que las ranuras no se encuentren obstruidas por partículas extrañas, que no presente dientes fracturados ni deformados - Revisar estado de la junta de venteo de válvula, que no se encuentre deformada o rasgada - Inspección del resorte principal de la válvula, que no presente desgaste interno, fractura o deformaciones - Inspección de o-ring porta tubos (Referencia), que no se encuentre deformado o rasgado - Inspección de empaque cono de líquido (Referencia), que no se encuentre deformado o rasgado - Inspección del sello base de válvula, que no se encuentre deformado o rasgado - Verificar que la aguja de la válvula no se encuentre fracturada o torcida - Cambio de tulpas a todas las válvulas	

Figura 26. Actividad de mantenimiento empleadas en la llenadora de la línea de producción N°1

Datos Generales de la O.T. ▾

O.T. Número:	000506	Estado Actual:	Cerrada	100%
Prioridad:	Media	Seguimiento:	<input type="checkbox"/>	
		Retrabaja:	<input type="checkbox"/>	

Descripción / Reafirmación ▾

Descripción de los Trabajos: Inspeccionar todos los rodillos seguidores de leva del pistón y del elevador de porta talpa, verificar que no estén pegados ni rotos (cambiar de ser necesario, de no contar con algún repuesto por favor reportar para gestionar el recurso necesario). Entidad a intervenir: LLENADORA RIS Actividad de mantenimiento incluida: Inspección cuatrimestral conjunto de válvulas de llenado. Seleccionar 20 válvulas con 9 posiciones de diferencia y realizar lo siguiente: Inspección resorte de ventee, que no se encuentre deformado, fracturado o con desgaste interno - Revisar junta de ventee cónica, que no se encuentre rasgada o deformada - Inspección del casquillo cuerpo de válvula, que no se encuentre fracturado o deformado - Verificar estado de la camisa de la válvula, que no se encuentre golpeada, fracturada y que ingrese con facilidad - Inspección de la canastilla, que las ranuras no se encuentren obstruidas por partículas extrañas, que no presente dientes fracturados ni deformados - Revisar estado de la junta de ventee de válvula, que no se encuentre deformada o rasgada - Inspección del resorte principal de la válvula, que no presente desgaste interno, fractura o deformaciones - Inspección de o-ring porta tubos (referencia), que no se encuentre deformado o rasgado - Inspección de empaque cono de líquido (referencia), que no se encuentre deformado o rasgado - Inspección del sello base de válvula, que no se encuentre deformado o rasgado - Verificar que la aguja de la válvula no se encuentre fracturada o torcida - Cambio de talpas a todas las válvulas

Diagnóstico:

Reafirmación Técnica: se revisan todos los rodillos y se cambian 3 pegados y 5 con cara plana, el tendido queda en buen estado.

Datos del Usuario:

Solicitudes de Servicio Asociadas ▾

Actividades de Mantenimiento (A.M.) Asignadas a la O.T. ▾

Orden	Pre-Requisito	Actividad	Entidad	Duración Estimada	Duración Real	Ejecutada
2		Inspección cuatrimestral conjunto de válvulas de llenado	EQ-005   LLENADORA RIS LINEA 1	7 Hora(s) 0 Min.	7 Hora(s) 0 Min.	<input checked="" type="checkbox"/>

Entidades (Equipos y/o Locaciones) Asignadas a la O.T. ▾

Entidad	Estado Inicial	Fecha Inicio Paro	Estado Final	Fecha Fin Paro	Overhaul
EQ-005   LLENADORA RIS LINEA 1	Parado por Mantenimiento	2023-01-28	En Operación	2023-01-28	<input type="checkbox"/>

Figura 27. OT ejecutada en la llenadora de la línea de producción N°1

## 4.3 CARTAS DE LUBRICACIÓN

Paralelamente al desarrollo de los planes de mantenimiento de la planta, se realizó todo el análisis de la lubricación de la línea de producción N°1, comenzando inicialmente por conocer los lubricantes empleados hasta el momento en la planta, la frecuencia con la que se lubricaba y la cantidad de cada referencia empleada, obteniendo los resultados que se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15. Identificación de lubricantes

Aplicación	Referencia de Lubricante	Tipo / Categoría	Clase	Visc 40 CST	Presentación de producto	Unidad
Sistemas neumáticos	<i>Mobil excel 10 M 15</i>	Aceite / H2	Semi-sintético	15	Balde 20 L	20
Cadenas	<i>Bechem CU 250</i>	Aceite / H2	Ester	250	Balde 20 L	3
Transportador aéreo de botellas	<i>Anderol DDO</i>	Aceite / 3H	Vegetal	68	Balde 20 L	3
Engranajes abiertos	<i>Bechem GA 2500</i>	Grasa / H2	Sintético	2500	Balde 25 Kg	3
Interior de llenadoras	<i>Berulub FG H 2 EP</i>	Grasa / H1	Sintético	150	Balde 25 Kg	2
Bandas de transportadores de botellas	<i>Berulub fluid W+B</i>	Aceite / H1	Sintético	70	Tambor 200 L	3
Rodamientos motores eléctricos	<i>Berutox FE 18 EP</i>	Grasa / H2	Mineral	100	Balde 25 Kg	1
Rodamientos alta temperatura	<i>Berutox FH 28 KN</i>	Grasa / H2	Sintético	400	Balde 25 Kg	2
Compresores de amoníaco	CPI 1009 68	Aceite / H2	Mineral	68	Balde 20 L	3
Reductor de velocidad	CPI 4620 220	Aceite / H2	Sintético	220	Balde 20 L	4
Reductor de velocidad	CPI 4620 460	Aceite / H2	Sintético	460	Balde 20 L	2
Variador mecánico: <i>Dexron III</i>	Mobil ATF DM	Aceite / H2	Sintético	32	Balde 20 L	1
Cerrador de moldes sopladora	<i>Berulub 932 antiseize paste</i>	Grasa / H1	Mineral	70	Caja 10 Pote 1 Kg	1
Multipropósito	<i>High-lub LFB 2000</i>	Grasa / H2	Mineral	180	Balde 10 Kg	4
Productos						14

Una vez identificados los lubricantes empleados, se comenzó con el cálculo de la cantidad de lubricante empleado en cada punto de lubricación y la frecuencia con la cual se debía aplicar dicho lubricante, la cual se comenzó a ejecutar con la frecuencia inicial que manejaba el lubricador de manera empírica, pero una vez cumplido dicho plazo se realizaba un análisis de condición del lubricante en compañía con el ingeniero de lubricación de la empresa proveedora, con el fin de identificar si dicha frecuencia era la correcta, si la frecuencia se podía extender o por el contrario se debía reducir; logrando con esto construir una base de datos inicial denominada como “cartas de lubricación”, como se puede evidenciar en la Tabla 16. Las tablas de lubricación completas de la línea de producción N°1 se pueden consultar en el Anexo 3 de la investigación de Díaz (Díaz, 2024).

Tabla 16. Cartas de lubricación de la llenadora línea de producción N° 1

Equipo/ Código de equipo	Componente/ Código de componente	Mecanismo/ Código de mecanismo	Aplicación	Tipo de lubricante/ Nombre del lubricante	Cantidad total de lubricación/ Cantidad de lubricante por tarea/ Unidad	Puntos a lubricar/ Minutos de ejec. de tarea	Método de lubricación/ Tarea de lubricación	Tipo frecuencia/ Frecuencia/ Frecuencia predictiva
Llenadora KHS/ EQ-005	Suministro de tapas/ EQ-005-01	Reductor, distribuidor de tapas/ EQ-005- 01-01	Engranajes	Aceite/ CPI 4620 - 220	500/ 500/ ml	1/ 15 min	Inmersión/ Cambio de aceite	Calendario/ Anual/ 365 días
Llenadora KHS/ EQ-005	Suministro de tapas/ EQ-005-01	Reductor, elevador de tapas/ EQ-005- 01-02	Engranajes	Aceite/ CPI 4620 - 220	500/ 500/ ml	1/ 15 min	Inmersión/ Cambio de aceite	Calendario/ Anual/ 365 días
Llenadora KHS/ EQ-005	Estrellas de transferencia/ EQ-005-02	Reductor, estrellas de transferencia/ EQ-005- 02-01	Engranajes	Aceite/ CPI 4620 - 220	500/ 500/ ml	1/ 15 min	Inmersión/ Cambio de aceite	Calendario/ Anual/ 365 días
Llenadora KHS/ EQ-005	Estrellas de transferencia/ EQ-005-02	Chumacera N°1/ EQ-005- 02-02	Complejo de calcio	Grasa/ Bechem Berulub FG-H 2 EP	2/ 2/ g	1/ 5 min	Grasera/ Aplicar grasa	Calendario/ Semanal/ 8 días
Llenadora KHS/ EQ-005	Estrellas de transferencia/ EQ-005-02	Chumacera N°2/ EQ-005- 02-03	Complejo de calcio	Grasa/ Bechem Berulub FG-H 2 EP	2/ 2/ g	1/ 5 min	Grasera/ Aplicar grasa	Calendario/ Semanal/ 8 días
Llenadora KHS/ EQ-005	Estrellas de transferencia/ EQ-005-02	Chumacera N°3/ EQ-005- 02-04	Complejo de calcio	Grasa/ Bechem Berulub FG-H 2 EP	2/ 2/ g	1/ 5 min	Grasera/ Aplicar grasa	Calendario/ Semanal/ 8 días
Llenadora KHS/ EQ-005	Estrellas de transferencia/ EQ-005-02	Chumacera N°4/ EQ-005- 02-05	Complejo de calcio	Grasa/ Bechem Berulub FG-H 2 EP	2/ 2/ g	1/ 5 min	Grasera/ Aplicar grasa	Calendario/ Semanal/ 8 días
Llenadora KHS/ EQ-005	Estrellas de transferencia/ EQ-005-02	Chumacera N°5/ EQ-005- 02-06	Complejo de calcio	Grasa/ Bechem Berulub FG-H 2 EP	2/ 2/ g	1/ 5 min	Grasera/ Aplicar grasa	Calendario/ Semanal/ 8 días
Llenadora KHS/ EQ-005	Estrellas de transferencia/ EQ-005-02	Chumacera N°6/ EQ-005- 02-07	Complejo de calcio	Grasa/ Bechem Berulub FG-H 2 EP	2/ 2/ g	1/ 5 min	Grasera/ Aplicar grasa	Calendario/ Semanal/ 8 días
Llenadora KHS/ EQ-005	Estrellas de transferencia/ EQ-005-02	Chumacera N°7/ EQ-005- 02-08	Complejo de calcio	Grasa/ Bechem Berulub FG-H 2 EP	2/ 2/ g	1/ 5 min	Grasera/ Aplicar grasa	Calendario/ Semanal/ 8 días
Llenadora KHS/ EQ-005	Rinser/ EQ-005-03	Reductor, sistema rinseador/ EQ-005- 03-01	Engranajes	Aceite/ CPI 4620 - 220	800/ 800/ ml	1/ 15 min	Inmersión/ Cambio de aceite	Calendario/ Anual/ 365 días
Llenadora KHS/ EQ-005	Rinser/ EQ-005-03	Chumacera, rodamiento N°1/ EQ-005- 03-02	Complejo de calcio	Grasa/ Bechem Berulub FG-H 2 EP	2/ 2/ g	1/ 5 min	Grasera/ Aplicar grasa	Calendario/ Semanal/ 8 días
Llenadora KHS/ EQ-005	Rinser/ EQ-005-03	Chumacera, rodamiento N°2/ EQ-005- 03-03	Complejo de calcio	Grasa/ Bechem Berulub FG-H 2 EP	2/ 2/ g	1/ 5 min	Grasera/ Aplicar grasa	Calendario/ Semanal/ 8 días

Llenadora KHS/ EQ-005	<i>Rinser/</i> EQ-005-03	Chumacera, rodamiento N°3/ EQ-005- 03-04	Complejo de calcio	Grasa/ <i>Bechem</i> <i>Berulub</i> FG-H 2 EP	2/ 2/ g	1/ 5 min	Grasera/ Aplicar grasa	Calendario/ Semanal/ 8 días
Llenadora KHS/ EQ-005	<i>Rinser/</i> EQ-005-03	Chumacera, rodamiento N°4/ EQ-005- 03-05	Complejo de calcio	Grasa/ <i>Bechem</i> <i>Berulub</i> FG-H 2 EP	2/ 2/ g	1/ 5 min	Grasera/ Aplicar grasa	Calendario/ Semanal/ 8 días
Llenadora KHS/ EQ-005	<i>Rinser/</i> EQ-005-03	Guías del rinsler/ EQ-005- 03-06	Complejo de calcio	Grasa/ <i>Bechem</i> <i>Berulub</i> FG-H 2 EP	2/ 2/ g	1/ 5 min	Manual/ Aplicar grasa	Calendario/ Semanal/ 8 días
Llenadora KHS/ EQ-005	Tazón/ EQ-005-04	Reductor del tazón/ EQ-005- 04-01	Engranajes	Aceite/ CPI 4620 - 460	1500/ 1500/ ml	1/ 20 min	Inmersión/ Cambio de aceite	Calendario/ Anual/ 365 días
Llenadora KHS/ EQ-005	Tazón/ EQ-005-04	Piñón de transmisión/ EQ-005- 04-02	Complejo de aluminio	Grasa/ <i>Bechem</i> <i>Berulit</i> GA 2500	100/ 100/ ml	1/ 15 min	Manual/ <i>Spray</i> Ggrasa	Calendario/ Mensual/ 30 días
Llenadora KHS/ EQ-005	Tazón/ EQ-005-04	Corona del tazón/ EQ-005- 04-03	Complejo de aluminio	Grasa/ <i>Bechem</i> <i>Berulit</i> GA 2500	100/ 100/ ml	1/ 10 min	Manual/ <i>Spray</i> grasa	Calendario/ Mensual/ 30 días
Llenadora KHS/ EQ-005	Tazón/ EQ-005-04	Junta rotativa superior/ EQ-005- 04-04	Complejo de calcio	Grasa/ <i>Bechem</i> <i>Berulub</i> FG-H 2 EP	2/ 2/ g	1	Grasera/ Aplicar grasa	Calendario/ Semanal/ 8 días
Llenadora KHS/ EQ-005	Tazón/ EQ-005-04	Junta rotativa inferior/ EQ-005- 04-05	Complejo de calcio	Grasa/ <i>Bechem</i> <i>Berulub</i> FG-H 2 EP	2/ 2/ g	1	Grasera/ Aplicar grasa	Calendario/ Semanal/ 8 días
Llenadora KHS/ EQ-005	Tazón/ EQ-005-04	Depósito de aceite, pistones/ EQ-005- 04-06	Sistemas neumáticos	Aceite/ <i>Starmax</i> <i>Hydraulic</i> ISO 22	150/ 150/ ml	1	Lubricación Centralizada/ Aplicar aceite	Calendario/ Diaria/ 1 día
Llenadora KHS/ EQ-005	Roscador/ EQ-005-05	Rodamiento inferior/ EQ-005- 05-01	Complejo de calcio	Grasa/ <i>Bechem</i> <i>Berulub</i> FG-H 2 EP	2/ 2/ g	1	Grasera/ Aplicar grasa	Calendario/ Semanal/ 8 días
Llenadora KHS/ EQ-005	Roscador/ EQ-005-05	Rodamiento superior/ EQ-005- 05-02	Complejo de calcio	Grasa/ <i>Bechem</i> <i>Berulub</i> FG-H 2 EP	2/ 2/ g	1	Grasera/ Aplicar grasa	Calendario/ Semanal/ 8 días
Llenadora KHS/ EQ-005	Roscador/ EQ-005-05	Roscador N°1/ EQ-005- 05-03	Complejo de calcio	Grasa/ <i>Bechem</i> <i>Berulub</i> FG-H 2 EP	2/ 2/ g	3	Grasera/ Aplicar grasa	Calendario/ Semanal/ 8 días
Llenadora KHS/ EQ-005	Roscador/ EQ-005-05	Roscador N°2/ EQ-005- 05-04	Complejo de calcio	Grasa/ <i>Bechem</i> <i>Berulub</i> FG-H 2 EP	2/ 2/ g	3	Grasera/ Aplicar grasa	Calendario/ Semanal/ 8 días
Llenadora KHS/ EQ-005	Roscador/ EQ-005-05	Roscador N°3/ EQ-005- 05-05	Complejo de calcio	Grasa/ <i>Bechem</i> <i>Berulub</i> FG-H 2 EP	2/ 2/ g	3	Grasera/ Aplicar grasa	Calendario/ Semanal/ 8 días
Llenadora KHS/ EQ-005	Roscador/ EQ-005-05	Roscador N°4/ EQ-005- 05-06	Complejo de calcio	Grasa/ <i>Bechem</i> <i>Berulub</i> FG-H 2 EP	2/ 2/ g	3	Grasera/ Aplicar grasa	Calendario/ Semanal/ 8 días
Llenadora KHS/ EQ-005	Roscador/ EQ-005-05	Roscador N°5/ EQ-005- 05-07	Complejo de calcio	Grasa/ <i>Bechem</i> <i>Berulub</i> FG-H 2 EP	2/ 2/ g	3	Grasera/ Aplicar grasa	Calendario/ Semanal/ 8 días



Llenadora KHS/ EQ-005	Roscador/ EQ-005-05	Roscador N°6/ EQ-005- 05-08	Complejo de calcio	Grasa/ Bechem Berulub FG-H 2 EP	2/ 2/ g	3	Grasera/ Aplicar grasa	Calendario/ Semanal/ 8 días
Llenadora KHS/ EQ-005	Roscador/ EQ-005-05	Roscador N°7/ EQ-005- 05-09	Complejo de calcio	Grasa/ Bechem Berulub FG-H 2 EP	2/ 2/ g	3	Grasera/ Aplicar grasa	Calendario/ Semanal/ 8 días
Llenadora KHS/ EQ-005	Roscador/ EQ-005-05	Roscador N°8/ EQ-005- 05-10	Complejo de calcio	Grasa/ Bechem Berulub FG-H 2 EP	2/ 2/ g	3	Grasera/ Aplicar grasa	Calendario/ Semanal/ 8 días
Llenadora KHS/ EQ-005	Roscador/ EQ-005-05	Roscador N°9/ EQ-005- 05-11	Complejo de calcio	Grasa/ Bechem Berulub FG-H 2 EP	2/ 2/ g	3	Grasera/ Aplicar grasa	Calendario/ Semanal/ 8 días
Llenadora KHS/ EQ-005	Roscador/ EQ-005-05	Roscador N°10/ EQ-005- 05-12	Complejo de calcio	Grasa/ Bechem Berulub FG-H 2 EP	2/ 2/ g	3	Grasera/ Aplicar grasa	Calendario/ Semanal/ 8 días
Llenadora KHS/ EQ-005	Roscador/ EQ-005-05	Roscador N°11/ EQ-005- 05-13	Complejo de calcio	Grasa/ Bechem Berulub FG-H 2 EP	2/ 2/ g	3	Grasera/ Aplicar grasa	Calendario/ Semanal/ 8 días
Llenadora KHS/ EQ-005	Roscador/ EQ-005-05	Roscador N°12/ EQ-005- 05-14	Complejo de calcio	Grasa/ Bechem Berulub FG-H 2 EP	2/ 2/ g	3	Grasera/ Aplicar grasa	Calendario/ Semanal/ 8 días
Llenadora KHS/ EQ-005	Roscador/ EQ-005-05	Roscador No13/ EQ-005- 05-15	Complejo de calcio	Grasa/ Bechem Berulub FG-H 2 EP	2/ 2/ g	3	Grasera/ Aplicar grasa	Calendario/ Semanal/ 8 días
Llenadora KHS/ EQ-005	Roscador/ EQ-005-05	Roscador N°14/ EQ-005- 05-16	Complejo de calcio	Grasa/ Bechem Berulub FG-H 2 EP	2/ 2/ g	3	Grasera/ Aplicar grasa	Calendario/ Semanal/ 8 días
Llenadora KHS/ EQ-005	Roscador/ EQ-005-05	Roscador N°15/ EQ-005- 05-17	Complejo de calcio	Grasa/ Bechem Berulub FG-H 2 EP	2/ 2/ g	3	Grasera/ Aplicar grasa	Calendario/ Semanal/ 8 días
Llenadora KHS/ EQ-005	Roscador/ EQ-005-05	Roscador N°16/ EQ-005- 05-18	Complejo de calcio	Grasa/ Bechem Berulub FG-H 2 EP	2/ 2/ g	3	Grasera/ Aplicar grasa	Calendario/ Semanal/ 8 días

Una vez creadas estas cartas de lubricación, se comenzaron a ejecutar unas cantidades, procedimientos y frecuencias definidas y estandarizadas, logrando reducir en cerca de 18.400 USD los costos de lubricación de la planta durante el primer año, pasando de unos gastos aproximados de 31.800 USD al año, a sólo 13.400 USD. Reduciendo también la cantidad de paradas planeadas para lubricación, maximizando así los tiempos productivos de las máquinas. Se propuso también un diseño de tablas de lubricación en las que se evidencie fotográficamente el punto específico a lubricar, el cual sería impreso y ubicado en el cuarto de lubricación de la empresa, para fácil la consulta por parte del personal de mantenimiento. Dicho formato se evidencia en la Figura 28.

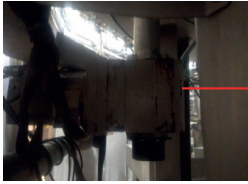
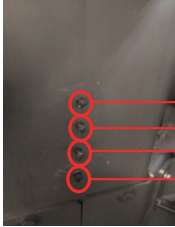

Máquina: Llenadora KHS									
Componente 1: Sistema Rinseador									
									
Mecanismo: Reductor del sistema rinseador						Cantidad de Lubricante: 800ml			
Lubricación				Lubricante					
Puntos	Cantidad	Frecuencia	Método	Grasa	Fabricante	Nombre	Grado	Tipo	Rótulo
1	1	Anual	Inmersión	Aceite x	CPI	CPI 4620 - 220	ISO 220	Sintético	
Mecanismo: Chumacera rodamiento #1						Cantidad de Lubricante: 2g			
Lubricación				Lubricante					
Puntos	Cantidad	Frecuencia	Método	Grasa	Fabricante	Nombre	Grado	Tipo	Rótulo
2	1	Semanal	Aplicación por grasera	x Aceite	Bechem	Berulub FG H 2 EP	NLGI 2 H1	Sintético	
Mecanismo: Chumacera rodamiento #2						Cantidad de Lubricante: 2g			
Lubricación				Lubricante					
Puntos	Cantidad	Frecuencia	Método	Grasa	Fabricante	Nombre	Grado	Tipo	Rótulo
3	1	Semanal	Aplicación por grasera	x Aceite	Bechem	Berulub FG H 2 EP	NLGI 2 H1	Sintético	
Mecanismo: Chumacera rodamiento #3						Cantidad de Lubricante: 2g			
Lubricación				Lubricante					
Puntos	Cantidad	Frecuencia	Método	Grasa	Fabricante	Nombre	Grado	Tipo	Rótulo
4	1	Semanal	Aplicación por grasera	x Aceite	Bechem	Berulub FG H 2 EP	NLGI 2 H1	Sintético	
Mecanismo: Chumacera rodamiento #4						Cantidad de Lubricante: 2g			
Lubricación				Lubricante					
Puntos	Cantidad	Frecuencia	Método	Grasa	Fabricante	Nombre	Grado	Tipo	Rótulo
5	1	Semanal	Aplicación por grasera	x Aceite	Bechem	Berulub FG H 2 EP	NLGI 2 H1	Sintético	
Mecanismo: Guías del sistema rinseador						Cantidad de Lubricante: 2g			
Lubricación				Lubricante					
Puntos	Cantidad	Frecuencia	Método	Grasa	Fabricante	Nombre	Grado	Tipo	Rótulo
6	1	Semanal	Aplicación Manual	x Aceite	Bechem	Berulub FG H 2 EP	NLGI 2 H1	Sintético	

Figura 28. Carta de lubricación ilustrativa

Finalmente, como una acción a futuro, se establece un sistema de rotulación de los lubricantes y la aplicación de un código de colores, para facilitar la identificación de cada uno de ellos y su lugar de aplicación.

## 4.4 PLAN DE CAPACITACIÓN DEL PERSONAL

Para garantizar el éxito del plan de mantenimiento y lubricación integral planteado, además de reducir los errores y fallas inducidas por el factor humano a la hora de operar y/o intervenir algún proceso o máquina dentro de la planta de producción o equipos periféricos, se hace necesario implementar un plan de capacitaciones relacionado y fundamentado, tanto en el funcionamiento de cada uno de los procesos, como en las actividades de mantenimiento designados para ellos; como se puede evidenciar en la Tabla 17.

Tabla 17. Plan de capacitación del personal

Plan de capacitación al personal de mantenimiento				
Sesión	Duración	Turno	Asistencia	Tema
1	3-4 h	1 (5:30-13:30)	6-8 personas	Operación y mantenimiento de las PTAP 1 y PTAP 2
2	3-4 h	1 (5:30-13:30)	6-8 personas	Operación y mantenimiento de las PTAP 1 y PTAP 2
3	3-4 h	1 (5:30-13:30)	6-8 personas	Operación y mantenimiento del cuanto de jarabes
4	3-4 h	1 (5:30-13:30)	6-8 personas	Funcionamiento del sistema de refrigeración
5	3-4 h	1 (5:30-13:30)	6-8 personas	Actividades de mantenimiento del sistema de refrigeración
6	3-4 h	1 (5:30-13:30)	6-8 personas	Mantenimiento del cuarto de jarabes
7	3-4 h	1 (5:30-13:30)	6-8 personas	Principios básicos y funcionamiento del sistema de soplado
8	3-4 h	1 (5:30-13:30)	6-8 personas	Operación y mantenimiento del sistema de soplado
9	3-4 h	1 (5:30-13:30)	6-8 personas	Funcionamiento y mantenimiento del mixer y sistemas de CO <sub>2</sub> y N <sub>2</sub>
10	3-4 h	1 (5:30-13:30)	6-8 personas	Principios básicos y funcionamiento del sistema de llenado
11	3-4 h	1 (5:30-13:30)	6-8 personas	Operación y mantenimiento del sistema de llenado
12	3-4 h	1 (5:30-13:30)	6-8 personas	Principios básicos y funcionamiento del sistema de etiquetado
13	3-4 h	1 (5:30-13:30)	6-8 personas	Operación y mantenimiento del sistema de etiquetado
14	3-4 h	1 (5:30-13:30)	6-8 personas	Principios básicos y funcionamiento del sistema de enfardado
15	3-4 h	1 (5:30-13:30)	6-8 personas	Operación y mantenimiento del sistema de enfardado
16	3-4 h	1 (5:30-13:30)	6-8 personas	Principios básicos y funcionamiento del sistema de paletizado y estresado
17	3-4 h	1 (5:30-13:30)	6-8 personas	Operación y mantenimiento del sistema de paletizado y estresado

18	3-4 h	1 (5:30-13:30)	6-8 personas	Funcionamiento y mantenimiento de los sistemas de transporte
19	3-4 h	1 (5:30-13:30)	6-8 personas	Principios básicos y conceptos de lubricación
20	3-4 h	1 (5:30-13:30)	6-8 personas	Plan de lubricación de la planta

**Plan de capacitación al personal de producción**

Sesión	Duración	Turno	Asistencia	Tema
1	2-3 h	1 (5:30-13:30)	3-4 personas	Actividades de mantenimiento autónomo - periféricos
2	2-3 h	1 (5:30-13:30)	3-4 personas	Actividades de mantenimiento autónomo - soplado y transporte aéreo
3	2-3 h	1 (5:30-13:30)	3-4 personas	Actividades de mantenimiento autónomo - llenado y mezclado
4	2-3 h	1 (5:30-13:30)	3-4 personas	Actividades de mantenimiento autónomo - etiquetado
5	2-3 h	1 (5:30-13:30)	3-4 personas	Actividades de mantenimiento autónomo - enfardado
6	2-3 h	1 (5:30-13:30)	3-4 personas	Actividades de mantenimiento autónomo - transportes de botellas y de paquetes
7	2-3 h	1 (5:30-13:30)	3-4 personas	Actividades de mantenimiento autónomo - paletizado y estresado

Estas capacitaciones serían programadas cada 15 días, de acuerdo con la disponibilidad del personal, y se tienen planeadas 20 sesiones de entre dos y cuatro horas para el personal de mantenimiento, y siete sesiones de entre dos y tres horas para los supervisores y personal de producción, enfocadas en las actividades de mantenimiento autónomo que pueden desarrollar los operadores dentro de sus funciones en planta. En la Figura 29 se evidencia una capacitación inicial con material didáctico, enfocada en el funcionamiento de los sistemas hidráulicos presentes en las llenadoras.



Figura 29. Registro de capacitación al personal

# CONCLUSIONES

El desarrollo de un buen plan de mantenimiento que atienda las necesidades de la empresa, está ligado directamente al conocimiento y manejo de la información acerca del funcionamiento y datos históricos de las fallas o situaciones a las que se puedan ver sometidos los equipos de la planta. Con el objetivo de poder prever o anticipar fallas futuras, bien sea por una manipulación incorrecta de los equipos o por situaciones que devienen del funcionamiento cotidiano de los mismos. Además; el conocimiento del personal más experimentado en la operación y mantenimiento de las máquinas productivas ha sido de suma importancia para conocer y evaluar actividades de mantenimiento y condiciones específicas de los equipos.

Una vez analizados los datos técnicos y de funcionamiento de las máquinas, es importante confrontar la información obtenida con lo que realmente está sucediendo en campo, con el fin de identificar las acciones que se están desarrollando correctamente en la operación cotidiana de los mismos y cuales pueden mejorar o se deben cambiar; así mismo sucede con las actividades de mantenimiento y lubricación, garantizando que las necesidades de cada máquina sean atendidas correctamente y se puedan establecer actividades de mantenimiento con frecuencias definidas, herramientas e insumos óptimos y personal idóneo para el desarrollo de dichas tareas y labores.

El análisis de modos y efectos de falla desarrollado ha permitido conocer y profundizar, no sólo en las funciones de cada máquina o proceso, si no a un nivel mayor de detalle analizando los sistemas y componentes de cada una de ellas; permitiendo a su vez conocer las fallas funcionales de estos, las consecuencias que trae para el proceso productivo y las actividades que se realizan o realizarían para atender este tipo situaciones si llegaran a materializarse; lo que permite identificar a su vez posibilidades de mejoras dentro del proceso, la inclusión de nuevas actividades de mantenimiento y replantear las acciones que se vienen ejecutando en pro de optimizar los resultados obtenidos al respecto. Lo anterior también permitió evidenciar la posibilidad de involucrar el equipo de producción y a las demás áreas de la empresa dentro de un plan de mantenimiento integral enfocado a alcanzar una metodología TPM.

La determinación e implementación de las actividades de mantenimiento definidas de acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis de modos y efectos de falla, permite el desarrollo de un plan de mantenimiento y lubricación integral, debido a que se garantiza la atención y cumplimiento de las necesidades de cada componente de las máquinas en el proceso productivo, de acuerdo a su contexto operacional real; lo que favorece a la eficiencia de la producción en la planta, la reducción de fallas y paradas inesperadas, además de una reducción aproximada del 70% en los costos totales asociados a las actividades de mantenimiento de la empresa.

El desarrollo del presente trabajo ha permitido consolidar información técnica y experimental, así como la identificación de las verdaderas necesidades y funciones de cada proceso en la planta; permitiendo que dicha información se encuentre al alcance del personal de la empresa para su conocimiento y aplicación en planta; mejorando así, no solo el plan de capacitación del personal en el aspecto técnico y operativo, si no que a su vez sirve como un instructivo para extender esta metodología de mantenimiento a las demás líneas y sistemas periféricos de la empresa; así como a las nuevas líneas y máquinas que se puedan adquirir en un futuro; influyendo así, no solo en la eficiencia de una línea de producción, si no en la eficiencia global de la planta.

# BIBLIOGRAFÍA

AMCP 706-132, (1975). *Engineering design handbook: maintenance engineering techniques*, Department of Army, Washington, D.C.

Adebanjo, D. *et al.* (2010). Una investigación de la adopción e implementación de evaluaciones comparativas. *Revista Internacional de Gestión de Operaciones y Producción*, vol. 30, N°11, p. 1140-1169. <https://doi.org/10.1108/01443571011087369>

Ahuja, I. y Khamba, J. (2007). *An evaluation of TPM implementation initiatives in an Indian manufacturing enterprise*, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 13, N°4, p. 338-352.

Alsyouf, I. (2007). *The role of maintenance in improving companies' productivity and profitability*, *International Journal of Production Economics*, vol. 105, N°1, p. 70-78. DOI: 10.1016/j.ijpe.2004.06.057

Al-Najjar, B. (2008). *Maintenance from different perspectives: total quality maintenance (TQMmain)*. For a *Comprehensive Asset Maintenance*, In *ICOMS Conference Proceedings* (p. 37/1-8). Asset Management Council, Surrey Hills, Australia.

Al-Turki, UM. (2011). *A framework for strategic planning in maintenance: methodology and theory*. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 17(2), 150-162. DOI: 10.1108/13552511111134583

Alzaben, H. (2015). *Development of a maintenance management framework to facilitate the delivery of healthcare provisions in The Kingdom of Saudi Arabia*. [Tesis de Doctorado]. Universidad de Nottingham Trent, Facultad de Ciencia y Tecnología, Reino Unido. School of Science and Technology.

Arunraj, N., y Maiti, J. (2007). *Risk-based maintenance-techniques and applications*. *Journal of Hazardous Materials*, 142(3), p. 653-661.

ASQC. (1983). *American Society for Quality Control Statistics Division, Glossary and tables for statistical quality control*, 2nd edn. ASQC Quality Press, Milwaukee.

Bagadia, K. (2006). *Computerized maintenance management system made easy: how to evaluate, select and manage CMMS*, McGraw-Hill, USA.

Ben-Daya, M. (2000). *You may need RCM to enhance TPM implementation*", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 6, N°2, p. 82-5.

Ben-Daya, M. *et al.* (2009). *Handbook of maintenance management and engineering*. Springer, London, UK.

Brah, S.A. y Chong, W.K. (2004). *Relationship between total productive maintenance and performance*, *International Journal of Production Research*, volume 42 Issue N°12, p. 2383-2401.

Crespo, A. (2007). *The maintenance management framework: models and methods for complex systems maintenance*. Springer-Verlag London Limited, UK.

Crespo, A. *et al.* (2009). *The maintenance management framework: A practical view to maintenance management*, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 15 Issue: 2, p.167-178.

- Díaz, J. (2024). Implementación de un plan de mantenimiento integral para una planta de embotellado. Tesis de maestría. Departamento Ingeniería Mecánica Universidad Nacional de Colombia. Colombia.
- de Oliveira M.A. et al. (2014). *Maintenance management practices of companies of the industrial pole of manau, WCECS., San Francisco, USA.*
- Dhillon B.S. (2001). *Engineering maintenance- a modern approach, CRC press, Florida, USA.*
- Dhillon, B. S. (2002). *Engineering maintenance: a modern approach. CRC Press.*
- EN 13306. (2010). *European Standard, EN 13306:2010 English version, UK.*
- Enofe, O.M. y Aimienvrobyi, G. (2010). *Maintenance impact on productin profitability, Linnaeus university, School of Engineering, Department of Terotechnology.*
- Feurer, R. y Chaharbaghi, K. (1995). Desarrollo de estrategias: pasado, presente y futuro, Decisión de gestión, vol. 33, N°6, p. 11-21. <http://dx.doi.org/10.1108/00251749510087614>
- Fraser, Kym. (2014). *Facilities management: the strategic selection of a maintenance system. En: Journal of Facilities Management; Bingley.* vol. 12.1, p. 18-37. <http://search.proquest.com/abiglobal/docview/1476459154/4361CD819B3C4E3BPQ/5?accountid=43860>
- Fraser, K. et al. (2015). *Maintenance management models: a study of the published literature to identify empirical evidence. International Journal of Quality and Reliability Management,* vol. 32, N° 6, p. 635-664.
- Garg, A., y Deshmukh, S.G. (2006). *Maintenance management: literature review and directions. Journal of Quality in Maintenance Engineering,* 12(3), 205-238. DOI: 10.1108/13552510610685075
- Goyal, R. y Maheshwari, K. (2012). *Maintenance Management Practices: a retrospective and literature review, Journal of Advances in Engineering Research, volume 3, issue 2.*
- Grusenmeyer, C. (2011). *Improving understanding of maintenance organisation to ensure safe maintenance activities in companies. Magazine of the European Agency for Safety and Health at Work,* N°12, p. 7-10.
- Gupta, A., y Lawsirirat, C. (2006). *Strategically optimum maintenance of monitoring-enabled multi-component systems using continuous-time jump deterioration models. Journal of Quality in Maintenance Engineering,* 12(3), p. 306-329.
- Haarman, M. y Delahay, G. (2004). *Value driven maintenance – new faith in maintenance, Mainnovation, Dordrecht.*
- Haroun, A. y Duffuaa, S. (2009). Organización de mantenimiento. En libro: Manual de Ingeniería y Gestión del Mantenimiento, p. 3-15. DOI: 10.1007/978-1-84882-472-0\_1
- Huber, G. (1990). Una teoría de los efectos de las tecnologías de la información avanzadas en el diseño organizacional, la inteligencia y la toma de decisiones. Revisión de la Academia de Gestión 15 (1). DOI: 10.5465/AMR.1990.4308227



- Jonsson, P. (1997). *The status of maintenance management in Maintenance Swedish manufacturing firms, Engineering Journal of Quality in Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 3, N°4, p. 233-58.
- Keith Mobley, R. et al. (2008). *Maintenance engineering handbook. Sixth edition. McGraw-Hill. New York.* DOI: 10.1036/0071394524
- Khan, F.I., y Haddara, M.M. (2003). *Risk-based maintenance (RBM): a quantitative approach for maintenance/inspection scheduling and planning. Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 16(6), p. 561-573.
- Kobbacy, K.A.H., y Murthy, D.N.P. (2008). *Complex system maintenance handbook. Springerlink, USA.*
- Kodali, R. (2001). Cuantificación de los beneficios del mantenimiento productivo total (TPM) a través de AHP modelo. *Productividad*, vol. 42, N°2, p. 265-274.
- Kumar, S.R., et al. (2006). *Manufacturing excellence through TPM implementation: a practical analysis, Industrial Management & Data Systems*, 106 (2), p. 256-280.
- Kumar, R. (2011). *Research methodology step by step guides for beginners, 3rd edition, Sage publication.*
- Kumar, U. et al. (2013). *Maintenance performance metrics: a state-of-the-art review, Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 19, Issue: 3, p. 233-277.
- Lad, B.K. y Kulkarni, M.S. (2010). *Reliability and maintenance based design of machine tools, International Journal of Performability Engineering*, 9(3): p. 321-332, ISSN: 09731318.
- Maletic, D. et al. (2014). *The role of maintenance in improving company's competitiveness and profitability: a case study in a textile company, Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 25, N°4, p. 441- 456.
- McKone, K.E. et al. (2001). *The impact of total productive maintenance practices on manufacturing performance, Journal of Operations Management* 19, p. 39-58.
- McKone, K. y Schroeder, R. (1999). *Total Productive Maintenance: A Contextual View. Journal of Operations Management*, vol. 17, N° 2, p. 123-144. DOI: 10.1016/S0272-6963(98)00039-4
- Mohamed B.D. et al. (2009). *Handbook of maintenance management and engineering. Springer, London, UK.*
- Mosadeghrad, A.M. (2015). *Developing and validating a total quality management model for healthcare organisations, The TQM Journal*, vol. 27, Iss 5, p. 544-564. <http://dx.doi.org/10.1108/TQM-04-2013-0051>
- Moubray, J. (2004). *RCM II Mantenimiento centrado en confiabilidad. Editorial Aladon LLC, North Carolina, USA.*
- Muchiri, P. et al. (2011). *Development of maintenance function performance measurement framework and indicators, International Journal of Production Economics, volume 131 (1), p. 295-302.*

- Mungani, D., y Visser, K. (2013). *Maintenance approaches for different production methods*. En: *South African Journal of Industrial Engineering*, 24(3), 1-13. Retrieved from. <https://search.proquest.com/docview/1470800902?accountid=43860>
- Naughton, M.D., y Tiernan, P. (2012). *Individualising maintenance management: a proposed framework and case study*. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 18(3), p. 267-281. DOI: 10.1108/13552511211265802
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total productive maintenance, productivity*. Press Inc, New York, NY.
- Omdahl, T.P. (1988). *Reliability, availability, and maintainability dictionary*, ASQC Quality Press, Milwaukee.
- Parida, A. et al. (2015). *Performance measurement and management for maintenance: a literature review*, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 21 Issue: 1, p. 2-33.
- Parida, A. y Chattopadhyay, G. (2007) Desarrollo de un marco jerárquico multicriterio para la medición del desempeño del mantenimiento (MPM). *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 13, N° 3, p. 241-258. <https://doi.org/10.1108/13552510710780276>.
- Parida, A. y Kumar, U. (2004). *Application of overall equipment effectiveness (OEE) as a process performance indicator: a case study from Kiruna mines*, *Proceedings of ENTMS Aneswar, Bhubaneswar*.
- Parida, A. y Kumar, U. (2009). *Maintenance productivity and performance measurement*. *Handbook of Maintenance Management and Engineering*, Springer, London, p. 17-41
- Parida, A. y Kumar, U. (2006). *Maintenance performance measurement (MPM); issues and challenges*. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol.12, N°2, p. 239-251.
- Phogat, S. y Gupta, A.K. (2017). *Identification of problems in maintenance operations and comparison with manufacturing operations: A review*, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 23 Issue: 2, p. 226-238. DOI: 10.1108/JQME-06-2016-0027
- Pintelon, L., Pinjala, S.K. y Vereecke, A. (2006). Evaluación de la eficacia del mantenimiento estrategias. *Revista de Calidad en Ingeniería de Mantenimiento*, vol. 12, N°1, p. 7-20.
- Pintelon, L. y Van Puyvelde, F. (1997), *Maintenance performance reporting systems: some experiences*, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 3, N°1, p. 4-15.
- Prajapati, A. et al. (2012). *Condition based maintenance: a survey*, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 18 Issue: 4, p. 384-400.
- Poduval, P. S. et al. (2015). *Interpretive structural modeling (ISM) and its application in analyzing factors inhibiting implementation of total productive maintenance (TPM)*. *The International Journal of Quality & Reliability Management*, 32(3), p. 308-331.
- Pophaley, M. y Vyas R.K. (2010). *Plant maintenance management practices in automobile industries a retrospective and literature review*. *Journal of Industrial Engineering and Management*, ISSN-e 2013-0953, vol. 3, N°3, p. 512-541.

- Probert, S.D. *et al.* (2006). *Development and implementation of preventive maintenance practices in Nigerian industries*, *Applied Energy*, vol. 83, N°10, p.1163-1179.
- Rolfen M. y Langeland, C. (2012). *Successful maintenance practice through team autonomy*, *Employee Relations*, 34 (3), p. 306-321.
- Senstrom, C. *et al.* (2016). *Measuring and monitoring operational availability of rail infrastructure*. Article in: *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part F Journal of Rail and Rapid Transit*. DOI: 10.1177/0954409715592189
- Shaaban, M.S. y Awani, A. (2014). Factores críticos de éxito para la implementación de la fabricación productiva total (TPM) en las empresas egipcias de bienes de consumo masivo. *Revista de gestión de tecnología de fabricación* 25 (3). DOI: 10.1108/JMTM-09-2012-0088
- Sharma, R. *et al.* (2005). *FLM to select suitable maintenance strategy in process industries using MISO model*, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 11, N°4, p. 359-374.
- Sharma, M. y Khatri, A. (2015). *Total quality maintenance & trouble shooting: A case study*, *International Journal of Emerging Technology and Advanced*, volume 5, Issue 3, p. 102-110.
- Sherwin, D. (2000). *A review of overall models for maintenance management*", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 6 Issue: 3, p.138-164,101.
- Singh, R. *et al.* (2015). *Ranking of barriers for effective maintenance by using TOPSIS approach*. En: *Journal of Quality in Maintenance Engineering; Bradford*, vol. 22.1, p.18-34. <http://search.proquest.com/abiglobal/docview/1768200156/E60B120F14CB415FPQ/10?accountid=43860>
- Swanson, L. (2001). *Linking maintenance strategies to performance*, *International Journal of Production Economics*, vol. 70, N°3, p. 237-244.103.
- Tixier, J. *et al.*, (2002). *Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants*", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, volume 15, issue N°4, p. 291-303.
- Tsuchiya, S. (1992). *Quality Maintenance: Zero Defects through Equipment Management*, *Productivity Press, Cambridge, MA*.
- Vanneste, S.G. y van Wassenhove, L.N. (1995). *An integrated and structured approach to improve maintenance*, *European Journal of Operational Research*, vol. 82, p. 241-57.
- Waeyenbergh, G. y Pintelon, L. (2002). *A framework for maintenance concept development*." *International journal of production economics*, vol. 77, N°3, p. 299-313.
- Wireman, T. (1990). *Sistemas computarizados de gestión de mantenimiento, segunda edición*. *Industrial Press Inc, Nueva York*.
- Wireman, T. (1998). *Developing performance indicators for managing maintenance*. *New York: Industrial Press*.
- Wireman, T. (2005). *Total productive maintenance, volume 1*. *Industrial Press, Inc*.
- Zweckhorst, A. (1996). *Evolution of maintenance*, *Maintenance Technology*, p. 9-14.

**JUAN DANIEL DÍAZ-MARÍN:** Ingeniero Mecánico, Especialista en Mantenimiento y Magister en Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Colombia; quien se desempeña como Ingeniero en Gestión de Proyectos en la Unidad de Gestión Administrativa y Financiera; y docente ocasional del Departamento de Ingeniería Mecánica de en dicha entidad; Con cinco años de experiencia en ingeniería, enfocando sus conocimientos a nivel industrial y académico en el campo de mantenimiento, lubricación, administración y finanzas. Se ha desempeñado como Jefe/Facilitador de Lubricación la Organización Corona - Colcerámica S.A.S; Ingeniero Analista de Mantenimiento y Asesor Externo de la empresa *Drinks* de Colombia S.A.S, Ingeniero de confiabilidad en la empresa Lubricación de Clase Mundial S.A.S. y Jefe de Mantenimiento en INMA S.A.S. Participó en el proyecto Desarrollo de superficies determinísticas mediante procesos avanzados de manufactura para el control de fricción, desgaste y consumo energético, de la Universidad Nacional de Colombia en el Grupo de Tribología y Superficies dedicado a la investigación (Categoría A1).

**NELSON ANTONIO VANEGAS-MOLINA:** Ingeniero Mecánico de la Universidad Nacional de Colombia. Magister en Ingeniería Mecánica de la Universidad de São Paulo-Brasil. Profesor/investigador en categoría de profesor asociado en dedicación exclusiva del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín desde el año 2003, en el área de diseño mecánico. Se ha desempeñado como: coordinador del Laboratorio de Procesos de Manufactura, Laboratorio de Diagnóstico de Maquinaria y de la Sala Gráfica de Ingeniería Mecánica, miembro del Comité Asesor del pregrado y posgrado del Área Curricular de Ingeniería Mecánica, director del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Director del Área Curricular de Desarrollo Tecnológico; Miembro del Grupo de Investigación de Diseño Mecánico Computacional (DIMEC). Con experiencia en la industria metalmecánica en la cual se desempeñó como director de proyectos y director de mantenimiento.

El presente libro es el resultado de implementar un plan de mantenimiento integral en una empresa dedicada a la elaboración de bebidas no alcohólicas, producción de aguas minerales y de otras aguas embotelladas. La compañía cuenta con cinco líneas de embotellado las cuales producen un aproximado de dos millones de botellas diarias. Sin embargo, la planta se regía bajo un mantenimiento correctivo, lo cual genera paradas de producción inesperadas por la falla de algún componente, demoras en los tiempos de mantenimiento, tiempos muertos por falta de repuestos, baja disponibilidad y confiabilidad de las máquinas, y altos costos de mantenimiento. Además, la lubricación se realizaba de manera empírica basada en los conocimientos del lubricador, no existía un plan de capacitación o entrenamiento continuo, ni un plan de lubricación establecido con el cual se pudiera evidenciar y regular el tipo de lubricante aplicado, la cantidad y la frecuencia en la que se debía aplicar, lo que incrementaba la probabilidad de fallas por lubricación y los costos. Es el objetivo de este proyecto desarrollar un diagnóstico y realizar la implementación de un plan integral de mantenimiento preventivo y de lubricación para las líneas de producción de bebidas carbonatadas en la planta. La metodología seleccionada para el desarrollo de este proyecto es la del Mantenimiento Total Productivo (TPM) la cual está dividida en ocho pilares que se abordan para alcanzar la eficiencia esperada en el mantenimiento, tanto a nivel técnico como administrativo. Los principales resultados obtenidos al planear y llevar a cabo actividades de mantenimiento de una manera más organizada son el incremento de la eficiencia de producción, pasando del 58% al 79% en la línea de producción N°1, una reducción de las paradas inesperadas hasta en un 50% y una reducción en costos de lubricación cercana a los 18.400 USD, generando a su vez datos históricos para analizar a futuro el comportamiento de los componentes y fallas similares a las ya ocurridas; permitiendo lograr un plan de mantenimiento óptimo y eficiente de gran relevancia para la óptima operación y rentabilidad de la empresa.

El presente libro es el resultado de implementar un plan de mantenimiento integral en una empresa dedicada a la elaboración de bebidas no alcohólicas, producción de aguas minerales y de otras aguas embotelladas. La compañía cuenta con cinco líneas de embotellado las cuales producen un aproximado de dos millones de botellas diarias. Sin embargo, la planta se regía bajo un mantenimiento correctivo, lo cual genera paradas de producción inesperadas por la falla de algún componente, demoras en los tiempos de mantenimiento, tiempos muertos por falta de repuestos, baja disponibilidad y confiabilidad de las máquinas, y altos costos de mantenimiento. Además, la lubricación se realizaba de manera empírica basada en los conocimientos del lubricador, no existía un plan de capacitación o entrenamiento continuo, ni un plan de lubricación establecido con el cual se pudiera evidenciar y regular el tipo de lubricante aplicado, la cantidad y la frecuencia en la que se debía aplicar, lo que incrementaba la probabilidad de fallas por lubricación y los costos. Es el objetivo de este proyecto desarrollar un diagnóstico y realizar la implementación de un plan integral de mantenimiento preventivo y de lubricación para las líneas de producción de bebidas carbonatadas en la planta. La metodología seleccionada para el desarrollo de este proyecto es la del Mantenimiento Total Productivo (TPM) la cual está dividida en ocho pilares que se abordan para alcanzar la eficiencia esperada en el mantenimiento, tanto a nivel técnico como administrativo. Los principales resultados obtenidos al planear y llevar a cabo actividades de mantenimiento de una manera más organizada son el incremento de la eficiencia de producción, pasando del 58% al 79% en la línea de producción N°1, una reducción de las paradas inesperadas hasta en un 50% y una reducción en costos de lubricación cercana a los 18.400 USD, generando a su vez datos históricos para analizar a futuro el comportamiento de los componentes y fallas similares a las ya ocurridas; permitiendo lograr un plan de mantenimiento óptimo y eficiente de gran relevancia para la óptima operación y rentabilidad de la empresa.