

Diseño de un Sistema de Gestión de Mantenimiento para la Empresa FAGAR Comercial S.A.S

Lauren Stefany Vergel Martínez

Trabajo de Grado Para Optar al Título de Ingeniera Mecánica

Director

Germán Orlando Romero Suarez

PhD en Ingeniería Mecánica

Codirector

Diego Fernando Villegas Bermúdez

PhD en Ingeniería Mecánica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2025

Dedicatoria

A mis padres, Robinson y Claudia, por inculcarme el valor de la responsabilidad y constancia, su apoyo incondicional ha sido mi faro en los momentos más difíciles.

A mis hermanos, Maria Camila, Liam Emmanuel y Emma, mi refugio y mi alegría constante.

A Papi Manuel, Mami Rosalba y Mami Marlene, por ser ese pilar, esa ayuda incesante en mi vida y estos años de carrera.

A Papi Ramiro que, aunque se adelantó en el viaje, su recuerdo y su anhelo por verme graduada me han impulsado a alcanzar esta meta. Este logro es también un homenaje a su memoria.

A mis tíos, Toto, Breidy, Gersson, Elizabeth y Sandra por su apoyo e interés en mi bienestar.

A mi madrina Malka, por haberme recomendado esta hermosa profesión y por estar siempre a mi lado, brindándome su apoyo y guía.

A mis compañeros y grandiosos amigos, Stefany, Sebastián, Carlos, Henry, Héctor y Jean Pierre; nos dedicó este proyecto como símbolo de las noches que pasamos estudiando y haciendo trabajos llenos de risas, peleas, incertidumbre, entusiasmo y miles de emociones compartidas. La carrera no hubiera sido la misma sin su compañía. Gracias por ser parte de este viaje, por cada momento vivido juntos, por ser mis compañeros de estudio y mis amigos de vida.

Agradecimientos

A Dios, por haberme permitido culminar esta etapa de mi vida.

A mi director PhD German Orlando Romero Suarez y codirector PhD Diego Fernando Villegas Bermúdez por su invaluable orientación y paciencia durante el desarrollo del proyecto, sus experiencias y guías me inspiraron a dar lo mejor de mí.

A don Fabián, por la oportunidad que me brindó de formar parte de su empresa. Su confianza y la experiencia de trabajar con su equipo fueron enriquecedoras para mi crecimiento profesional y personal.

A mis profesores, por su pasión por la enseñanza, por su dedicación y por darme las herramientas para ampliar mis conocimientos y fortalecer mis competencias.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	14
1. Objetivos.....	15
1.1 Objetivo General.....	15
1.2 Objetivos Específicos.....	15
2. Marco Teórico.....	16
2.1 Antecedentes.....	16
2.1.1 Antecedentes a Nivel Internacional	16
2.1.2. Antecedentes a Nivel Nacional.....	17
2.2 Referentes Teóricos	18
2.2.1 Mantenimiento	18
2.2.1.1 Tipos de Mantenimiento	18
2.2.1.1.1 Mantenimiento correctivo.....	18
2.2.1.1.2 Mantenimiento preventivo.....	18
2.2.1.1.3 Mantenimiento predictivo.....	18
2.2.2 Gestión del Mantenimiento.....	19
2.2.3 Gestión de Activos.....	19
2.2.4 Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)	19
2.2.5 Mantenimiento Productivo Total (TPM)	19
2.2.6 Análisis Operacional.....	20
2.2.7 Medidas de eficacia (MOE).....	20
2.2.8 Medidas de Eficiencia (MOP)	20

2.2.9 Indicadores de Desempeño de Mantenimiento (KPIs)	21
2.2.10 Overall Equipment Effectiveness (OEE)	21
2.2.10.1 Disminución de Disponibilidad	21
2.2.10.2 Disminución de Rendimiento	22
2.2.10.3 Pérdidas de Calidad (Disminución de Calidad):	22
2.2.11 MOE y MOP en el contexto del OEE	24
2.3 Normas Para la Gestión del Mantenimiento	25
2.3.1 Norma ISO 14224	25
2.3.2 Norma ISO 55000	25
2.3.3 Norma ISO 9001 : 2008	26
2.3.4 Norma SAE-JA1011	26
3. Generalidades de la Empresa	27
3.1 Reseña Histórica	27
3.2 Misión	28
3.3 Visión	28
3.4 Estructura Organizacional	28
3.5 Distribución Física de la Empresa	28
3.6 Procedimiento Operacional	31
3.7 Operación productiva	31
3.7.1 Primera Línea: Envasadora Semi - Automatizada	31
3.7.2 Segunda Línea: Envasadora Automatizada	33
3.7.3 Báscula Envasadora de Bidones	34
3.8 Codificación e Inventario de Maquinaria	36

4. Gestión del Mantenimiento.....	41
4.1 Revisión del Estado Actual de la Gestión de Mantenimiento en la Empresa.....	41
4.2 Registros Históricos de Mantenimiento.....	41
4.3 Análisis de Criticidad.....	41
4.4 Análisis de Falla.....	46
5. Diseño del Sistema de Información	50
5.1 Personalización del Software.....	50
5.2 Flujo de Trabajo del Sistema	55
5.2.1 Generación de Solicitudes.....	56
5.2.2 Creación de Órdenes de Trabajo.....	58
5.2.3 Ejecución y Registro	60
5.3. Capacitación del Personal	61
6. Evaluación de la Gestión	63
7. Conclusiones.....	66
Referencias.....	67
Apéndices.....	70

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Clasificación del OEE</i>	24
Tabla 2. <i>Descripción de la Taxonomía del nivel 4: Ubicación.</i>	37
Tabla 3. <i>Descripción de la Taxonomía del nivel 5: Sistema.</i>	37
Tabla 4. <i>Taxonomía del sistema de envasado</i>	38
Tabla 5. <i>Estructura de Códigos</i>	38
Tabla 6. <i>Taxonomía de los equipos de FAGAR.</i>	39
Tabla 7. <i>Escala propuesta por Saaty</i>	42
Tabla 8. <i>Comparación apareada de criterios</i>	43
Tabla 9. <i>Ponderación final de cada criterio</i>	44
Tabla 10. <i>Rango de valores para jerarquizar la criticidad</i>	44
Tabla 11. <i>Jerarquización de equipos por su criticidad</i>	45
Tabla 12. <i>Funciones y fallas funcionales del Mototool Roscador de Tapas</i>	46
Tabla 13. <i>Modos, efectos y posibles causas de falla del mototool roscador de tapas</i>	47
Tabla 14. <i>Tareas de Mantenimiento del Mototool Roscador de Tapas.</i>	48
Tabla 15. <i>Análisis de tiempos de paradas de la etiquetadora de botellas.</i>	63
Tabla 16. <i>Tiempo total de pérdidas antes y después de implementar el SGM</i>	64
Tabla 17. <i>Comparación del OEE antes y después del SGM en la etiquetadora N°2.</i>	64
Tabla 18. <i>Resultados de la implementación del SGM en FAGAR Comercial</i>	65

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Plano detallado de la primera planta de la empresa</i>	30
Figura 2. <i>Proceso operativo</i>	31
Figura 3. <i>Línea semi - automatizada</i>	32
Figura 4. <i>Salida del producto terminado hacia la banda transportadora</i>	33
Figura 5. <i>Línea automatizada</i>	34
Figura 6. <i>Báscula envasadora de bidones</i>	35
Figura 7. <i>Jerarquía de equipos según la Norma ISO 14224</i>	36
Figura 8. <i>Organización taxonómica de FAGAR Comercial.</i>	37
Figura 9. <i>Interfaz del Módulo de Equipos</i>	51
Figura 10. <i>Interfaz principal del equipo</i>	51
Figura 11. <i>Interfaz de la descripción general del equipo</i>	52
Figura 12. <i>Interfaz de la Información del proveedor del equipo</i>	53
Figura 13. <i>Interfaz de los indicadores de desempeño del equipo</i>	54
Figura 14. <i>Interfaz de la Información técnica del equipo</i>	54
Figura 15. <i>Interfaz de la Pestaña Mantenimiento</i>	55
Figura 16. <i>Diagrama de flujo</i>	56
Figura 17. <i>Interfaz Solicitud de Mantenimiento</i>	57
Figura 18. <i>Actividades de mantenimiento pendientes</i>	58
Figura 19. <i>Orden de Trabajo Correctiva</i>	59
Figura 20. <i>Orden de Trabajo Correctiva Continuación</i>	59

Figura 21. <i>Informe de Mantenimiento</i>	60
Figura 22. <i>Informe de Mantenimiento Continuación</i>	61
Figura 23. <i>Personal de producción recibiendo capacitación en mantenimiento</i>	62

Lista de Anexos

	pág.
Apéndice A. Matriz de Criticidad.....	70
Apéndice B. Proceso Analítico Jerárquico de los Equipos.....	71

Glosario

AHP (*Análisis de Proceso Jerárquico*): Método de decisión multicriterio usado para jerarquizar alternativas.

Norma ISO 14224: Norma sobre recopilación y análisis de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos.

Norma ISO 55000: Norma sobre sistemas de gestión de activos.

KPIs (*Key Performance Indicators*): Indicadores claves de desempeño.

MOE (*Measures of Effectiveness*): Medidas de eficacia.

MOP (*Measures of Performance*): Medidas de eficiencia o rendimiento.

OEE (*Overall Equipment Effectiveness*): Indicador de la efectividad total de los equipos.

RCM (*Reliability-Centered Maintenance*): Metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad.

SGM (*Sistema de Gestión de Mantenimiento*): Sistema estructurado para gestionar eficientemente las actividades de mantenimiento.

TPM (*Total Productive Maintenance*): Mantenimiento productivo total.

Resumen

Título: Diseño de un Sistema de Gestión de Mantenimiento para la Empresa FAGAR Comercial S.A.S.*

Autor: Lauren Stefany Vergel Martínez **

Palabras Clave: Mantenimiento, Sistema de Gestión, Indicadores de Desempeño, OEE, MOP, MOE

Descripción: El presente trabajo de grado se desarrolló en modalidad de práctica empresarial con el propósito de implementar un SGM en FAGAR Comercial S.A.S, una empresa dedicada al envasado de aceite vegetal, que enfrentaba paradas no programadas, altos costos operativos y baja disponibilidad en sus equipos debido a la falta de un sistema formal de gestión del mantenimiento. Ante esta situación, se implementó el SGM que ayudará a estructurar, controlar y mejorar las actividades de mantenimiento dentro de la planta. La práctica se llevó a cabo en tres etapas. En la primera, se identificaron los activos críticos a través de un análisis de criticidad utilizando el método AHP, se aplicó la metodología de RCM según la norma SAE-JA1011-12, y se elaboró la taxonomía de equipos conforme a la norma ISO 14224. En la segunda etapa, se estableció el sistema de información con el software de código abierto Odoo, personalizado para gestionar los equipos, crear órdenes de trabajo, seguimiento de fallas e indicadores claves de desempeño. En la etapa final, se evaluó la mejora en los equipos críticos, registrando un aumento en el OEE promedio del 45% al 74% y una notable reducción en los tiempos de inactividad no programados. La capacitación del personal y la estructuración del sistema ayudaron a establecer una cultura organizacional enfocada en el mantenimiento preventivo, asegurando la sostenibilidad de los resultados alcanzados.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Ingeniería Mecánica. Director: German Orlando Romero Suarez. PhD en Ingeniería Mecánica. Codirector: Diego Fernando Villegas Bermúdez. PhD en Ingeniería Mecánica

Abstract

Title: Design of a Maintenance Management System for the Company FAGAR Commercial S.A.S.*

Author(s): Lauren Stefany Vergel Martínez **

Key Words: Maintenance, Management System, Performance Indicators, OEE, MOP, MOE

Description: This degree work was developed as a business practice to implement a MMS in FAGAR Commercial S.A.S., a company dedicated to vegetable oil packaging, which faced unscheduled stops, high operating costs and low availability of its equipment due to the lack of a formal maintenance management system. Given this situation, the MMS was implemented to help structure, control, and improve maintenance activities within the plant. The practice was conducted in three stages. In the first stage, critical assets were identified through a criticality analysis using the AHP method. Using the AHP method, the RCM methodology was applied according to the SAE-JA1011-12 standard, and the equipment taxonomy was developed according to the ISO 14224 standard. In the second stage, an information system was developed with the open-source software Odoo, customized to manage the equipment, create work orders, track failures, and key performance indicators. In the final stage, the improvement in critical equipment was evaluated, registering an increase in the average OEE from 45% to 74% and a notable reduction in unscheduled downtime. Personnel training and the structuring of the system helped establish an organizational culture focused on preventive maintenance, ensuring the sustainability of the results achieved.

* Degree Work

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Mechanical Engineering. Director: Germán Orlando Romero Suarez. PhD in Mechanical Engineering. Co-director: Diego Fernando Villegas Bermúdez. PhD in Mechanical Engineering.

Introducción

La empresa FAGAR Comercial se enfrenta a importantes desafíos en la gestión del mantenimiento de sus activos. Entre estos desafíos se encuentran el cumplimiento de normas de seguridad y la necesidad de minimizar los tiempos de inactividad. La falta de un sistema formal de gestión de mantenimiento ha llevado a adoptar una metodología únicamente reactiva, lo que ha causado paradas no programadas, un incremento en los costos y retrasos en la entrega de los productos. Estos problemas han generado un efecto negativo en la eficiencia operativa y en la vida útil de los activos.

En el contexto Latinoamericano, el mantenimiento correctivo es ampliamente empleado (Pérez, 2021), a pesar de que este método generalmente implica la reparación o reemplazo del componente en el menor tiempo posible, sin considerar la naturaleza de la falla ni el proceso de gestión adecuado para resolverla.

Se han desarrollado metodologías para gestionar el mantenimiento, entre las cuales se incluye el RCM (García, 2010). El enfoque del mantenimiento proactivo y la gestión integral de activos son fundamentales para mejorar la eficiencia y efectividad en las empresas. Según Garrido (2010) muchos responsables del mantenimiento consideran estas técnicas como teóricas y no aplicables en sus plantas debido a la urgencia de las reparaciones, por lo que es crucial superar la mentalidad reactiva y reconocer que adoptar un enfoque proactivo puede generar beneficios significativos a largo plazo.

En este sentido, es necesario implementar un sistema de gestión del mantenimiento que se centre en el mantenimiento preventivo mediante las estrategias del RCM, con el objetivo de mejorar la eficiencia y efectividad en la gestión de activos, reduciendo paradas no planificadas, prolongando la vida productiva de los activos y reduciendo los costos operativos.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Diseñar en FAGAR Comercial S.A.S un sistema de gestión de mantenimiento que mejore la eficiencia y efectividad en la administración de activos, asegurando el mantenimiento adecuado de los equipos, prolongando su vida útil y reduciendo los costos operativos.

1.2 Objetivos Específicos

Realizar un análisis detallado de los requerimientos de mantenimiento identificando los activos críticos y sus necesidades de mantenimiento, con el fin de obtener los fundamentos necesarios para definir el sistema de gestión.

Implementar el sistema de gestión de mantenimiento en la empresa FAGAR Comercial S.A.S, mediante una herramienta de análisis y seguimiento de la información, siguiendo los principios del mantenimiento preventivo y orientando las prácticas hacia la mejora continua.

Evaluar el nuevo sistema de gestión mediante las herramientas del análisis operacional, a través del uso de medidas de eficacia (MOE) y medidas de eficiencia (MOP) con el fin de determinar el Overall del sistema, buscando alcanzar un porcentaje del 70% en ambas medidas para garantizar un funcionamiento eficiente y efectivo del sistema.

2. Marco Teórico

2.1 Antecedentes

2.1.1 Antecedentes a Nivel Internacional

La tesis titulada “Diseño de Estrategias de Gestión de Mantenimiento Basado en el TPM, Para Mejorar la Productividad De empresas Agroindustriales de Arequipa, Perú” (Lima. U, 2022) se enfocó en desarrollar métodos de gestión de mantenimiento fundamentadas en el TPM para incrementar la productividad de una empresa agroindustrial. En el estudio, se utilizó la matriz FODA para analizar la empresa y se seleccionaron los 3 pilares del TPM más apropiados para esta empresa de tamaño mediano: mantenimiento autónomo, mejora enfocada y mantenimiento planificado. El programa de implementación se dividió en 12 pasos, destacando la capacitación del personal en TPM, la elaboración de un plan para cumplir con los pilares seleccionados y la auditoría del progreso. Finalmente, se concluyó con un análisis de costo-beneficio que demostró la viabilidad de la implementación de estas estrategias.

De igual manera, el proyecto “Propuesta de Mejora de la Productividad y Gestión del Mantenimiento de Equipos en la Línea de Wafers de una Empresa Peruana Productora de Alimentos Aplicando 5S y TPM.” (Sascó, 2023) se enfocó en implementar 5S y TPM en una empresa alimentaria, en la línea de galletas wafers. Se identificaron problemas con la operación de los equipos, lo que generaba productos defectuosos e impactaba en la disponibilidad, rendimiento y calidad de la producción, reduciendo la efectividad global del equipo (OEE). Se propuso la implementación de 5S y TPM, con mejoras focalizadas, mantenimiento autónomo, mantenimiento planeado, educación y entrenamiento, lo que resultó en reducciones significativas en tiempos de búsqueda de herramientas, limpieza, puntos de lubricación, cantidad de pernos y costos de mantenimiento. Además, la implementación del mantenimiento planificado creó una

cultura preventiva en la gestión del área de mantenimiento, logrando una reducción del 30% en gastos de mantenimiento.

Por otra parte, el trabajo “Propuesta de Implementación de un Plan de Mantenimiento Preventivo en la Empresa Fuxion Biotech SAC, Aplicando la Metodología RCM Para la Mejora de la Disponibilidad en las Máquinas Envasadoras” (García & Muñoz, 2021) busca mejorar la disponibilidad de las máquinas envasadoras en la empresa, mediante la implementación de la metodología RCM. Los primeros resultados muestran una disponibilidad actual del 73%, con la meta de alcanzar el 90%. El estudio incluye la identificación de modos de falla, propuesta de procedimientos de mantenimiento, establecimiento de un almacén de repuestos y capacitación del personal. Realizando un análisis económico se demostró la viabilidad y rentabilidad del proyecto.

2.1.2. Antecedentes a Nivel Nacional

El proyecto “Diseño de un Sistema de Gestión del Mantenimiento Para la Empresa Mane Sucursal Colombia S.A.” (Ramírez & Ospina, 2019) busca implementar un sistema de gestión con indicadores de rendimiento, a través del análisis del área de mantenimiento de MANE Colombia, con el fin de desarrollar una estrategia que reestructure el mantenimiento. Se recomienda implementar un sistema de gestión de mantenimiento utilizando la metodología PMO, destacado por su eficacia en la gestión de recursos. Resalta la influencia de la investigación, documentación y formación para una implementación exitosa, así como en obtener el respaldo de la alta gerencia de la empresa y una actitud positiva de los trabajadores. Este enfoque asegura una implementación exitosa y la posibilidad de transición a otras metodologías en el futuro.

En el artículo titulado “Gestión del Mantenimiento Para la Confiabilidad Operacional.” (Medina Delgado et al., 2020) propone un modelo de gestión del mantenimiento para mejorar la confiabilidad operacional en las empresas manufactureras de Santa Marta, Colombia. El estudio

se realizó mediante encuestas a treinta pequeñas y medianas empresas de dicho sector, sobre “Gestión del mantenimiento” y “Confiabilidad operacional”, identificando las fortalezas y debilidades de las empresas. Como resultado, se desarrolló un modelo de gestión de mantenimiento coherente y flexible que integra elementos del RCM y TPM, con el propósito de elevar la confiabilidad operativa en estas compañías.

2.2 Referentes Teóricos

2.2.1 Mantenimiento

Es el conjunto de métodos utilizados para mantener en funcionamiento equipos e instalaciones el mayor tiempo posible, para asegurar la máxima disponibilidad y desempeño (García, 2010).

2.2.1.1 Tipos de Mantenimiento

2.2.1.1.1 *Mantenimiento correctivo.* Es el que se ejecuta únicamente cuando el equipo deja de funcionar, no implica planificación previa y se utiliza cuando el costo adicional de otros tipos de mantenimiento no es justificable, a veces se denomina la estrategia "operar hasta fallar" y se emplea mayormente en componentes electrónicos (Duffuaa et al., 2005).

2.2.1.1.2 *Mantenimiento preventivo.* El mantenimiento preventivo consiste en inspecciones y actividades planificados, realizados a intervalos específicos, para asegurar el correcto funcionamiento de equipos y sistemas (Smith et al, 2004). Las rutinas específicas son conocidas junto con sus frecuencias, y se necesita comprensión sobre la distribución de fallos o la fiabilidad del equipo para determinar la frecuencia (Duffuaa et al., 2005).

2.2.1.1.3 *Mantenimiento predictivo.* Es una estrategia clave en la Industria 4.0, se define como el uso de tecnologías avanzadas como el Internet de las Cosas (IoT), la Inteligencia Artificial

(IA) y el análisis de Big Data para monitorear el estado de los equipos en tiempo real y predecir cuándo será necesario realizar tareas de mantenimiento (Abdelillah et al., 2023).

2.2.2 Gestión del Mantenimiento

La gestión de mantenimiento se refiere a las actividades realizadas por la dirección para establecer objetivos y prioridades de mantenimiento, desarrollar estrategias para lograr esos objetivos y asignar responsabilidades para su implementación (Crespo, 2007). Estas actividades incluyen la organización previa, la programación, el seguimiento, el aseguramiento de la calidad y la asignación de los recursos necesarios como el taller, personal, maquinaria, equipos, herramientas, repuestos y materiales (Nikolopoulos et al., 2003).

2.2.3 Gestión de Activos

La gestión de activos implica la organización de las actividades de una empresa con el objetivo de generar valor a partir de sus recursos, lo que implica equilibrar costos, riesgos, oportunidades y beneficios de rendimiento (International Organization for Standardization., 2014). Esta gestión implica el uso de los elementos del sistema de gestión de activos, como enfoque, planificación, y ejecución (International Organization for Standardization, 2014).

2.2.4 Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)

El RCM se apoya en la revisión de los equipos, en la identificación de posibles causas de falla y en el empleo de herramientas estadísticas y sistemas de detección avanzada (Carrasco, 2016).

2.2.5 Mantenimiento Productivo Total (TPM)

Se trata de un sistema de gestión que previene cualquier tipo de desperdicio a lo largo de toda la vida del sistema de producción, optimizando su rendimiento e implicando a todos los

departamentos y al personal en general, desde los operarios hasta la alta dirección, guiando sus acciones a través de actividades en grupos reducidos (Fernández, 2018).

2.2.6 Análisis Operacional

Los expertos en técnicas de análisis emplean el análisis operacional para examinar los componentes productivos y no productivos de una operación, con el objetivo de aumentar la eficiencia por periodo de tiempo y disminuir los costos por unidad, con la meta de conservar o mejorar la calidad del proceso (Niegel & Freivalds, 2002).

2.2.7 Medidas de eficacia (MOE)

Una medida de eficacia (MOE) es un estándar empleado para medir cambios en el comportamiento, la capacidad o el entorno de funcionamiento de un sistema, relacionado con la evaluación del alcance de un resultado final, un objetivo o la generación de un impacto. Evalúa la importancia de las acciones llevadas a cabo (JCISFA, 2016). Las MOE actúan como un estándar de aceptación obligatorio para cualquier solución, permitiendo comparar opciones, analizar el impacto de cambios en los indicadores clave y definir cómo se evaluarán las pruebas del sistema. Esto garantiza una evaluación precisa y rigurosa del sistema, asegurando que cumple con los estándares de calidad establecidos (Roedler et al., 2005).

2.2.8 Medidas de Eficiencia (MOP)

Las Medidas de eficiencia o desempeño (MOP) son métricas que evalúan el desempeño de un sistema, midiendo atributos físicos o funcionales en condiciones específicas de prueba u operación. Estas medidas se enfocan en asegurar que el sistema alcance sus objetivos operativos, verificando que cumple con los requisitos de diseño y rendimiento. Las MOP se derivan de las Medidas de Efectividad (MOE) o de las necesidades del usuario, y se utilizan para garantizar que el sistema satisfaga las expectativas. Además, las MOP se alinean con los Indicadores Clave de

Desempeño (KPIs) y se expresan en términos cuantificables como velocidad, carga útil, autonomía o frecuencia. Durante el desarrollo del proyecto, las MOP se monitorizan para facilitar la gestión de riesgos técnicos y asegurar que el sistema funcione como se espera (Roedler et al., 2005).

2.2.9 Indicadores de Desempeño de Mantenimiento (KPIs)

Los KPIs son herramientas que ofrecen información cuantitativa sobre el progreso y los éxitos de una organización, programa, actividad o proyecto en beneficio de la población u objetivo de su intervención, en línea con sus metas estratégicas y su propósito (Ministerio de Economía y Finanzas, 2010). Estos indicadores establecen un conjunto de métricas que representan el comportamiento operativo en términos de eficiencia, rendimiento y disponibilidad, considerando factores como la productividad, la calidad y el mantenimiento. La evaluación y supervisión constante de estos permite cuantificar e identificar de manera precisa distintos aspectos del funcionamiento operativo, lo que orienta y respalda las estrategias de mejora continua (Kang et al., 2016).

2.2.10 Overall Equipment Effectiveness (OEE)

El OEE es un indicador de evaluación de rendimiento productivo, combina información sobre la disponibilidad de los activos, la eficiencia de la operación y el nivel de calidad alcanzado (Belohlavek, 2006). Se describe como una medida porcentual que refleja la eficiencia de las máquinas y líneas de producción. Se calcula combinando tres factores clave: la disponibilidad (tiempo de producción real), el rendimiento (producción real en un periodo dado), y la calidad (cantidad de productos sin defectos) (Álvarez et al. 2016).

2.2.10.1 Disminución de Disponibilidad

Se considera una pérdida en la disponibilidad cuando la máquina no está produciendo en los momentos en que debería estar operativa (Álvarez et al. 2016).

Se presentan dos tipos de pérdida:

- **Averías:** Fallos inesperados que interrumpen la producción. Estas pueden ser causadas por problemas técnicos u organizativos, como errores al operar la máquina o mantenimiento deficiente.
- **Esperas:** Reducción en el tiempo de producción porque la máquina se encuentra en estado de espera. Esto puede ser ocasionado por cambios de referencias, mantenimiento, o pausas (como almuerzos).

2.2.10.2 Disminución de Rendimiento

Se considera una pérdida de rendimiento cuando la máquina opera, pero lo hace a una velocidad inferior a su máxima diseñada o teórica (Álvarez et al. 2016).

Se presentan dos tipos de pérdida:

- **Micro paradas:** Interrupciones breves (menores de 5 minutos) causadas por problemas menores, como bloqueos en sensores o fallos en cintas transportadoras. Aunque pequeñas, pueden reducir significativamente la efectividad.
- **Velocidad Reducida:** Diferencia entre la velocidad actual y la teórica o de diseño. A menudo, la velocidad de producción se reduce para evitar defectos de calidad o averías, pero estas pérdidas suelen ser ignoradas o subestimadas.

2.2.10.3 Pérdidas de Calidad (Disminución de Calidad):

Se presentan cuando la máquina produce artículos que no cumplen con los estándares requeridos en su primera fabricación (Álvarez & Sánchez, 2016).

- **Deshechos (Scrap):** Productos que no cumplen con los estándares de calidad, aunque puedan ser vendidos como productos de menor calidad. También se incluyen las pérdidas durante los arranques y finales de los lotes, donde la producción es inestable.

- Arranque: Ocurren cuando la producción es inestable, ya sea al inicio o al final de un lote, y los productos fabricados no cumplen con las especificaciones necesarias. Esto incluye aquellos productos que no se ajustan a los requerimientos de la orden de fabricación. Aunque este tipo de pérdidas se considera inevitable, su cantidad puede ser notablemente alta.
- Retrabajo: Productos que inicialmente no cumplen los requisitos de calidad, pero pueden ser reprocesados para convertirlos en productos aceptables. Aunque parecen menos graves, también representan una pérdida de calidad por no ser correctos a la primera.

En las Ecuaciones 1, 2 y 3 se muestran las variables requeridas para calcular estos factores:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo de operación}}{\text{Tiempo programado}} \quad (1)$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Unidades totales producidas}}{\text{Unidades teóricas}} \quad (2)$$

$$\text{Calidad} = \frac{\text{Producción con buena calidad}}{\text{Unidades totales producidas}} \quad (3)$$

En la Ecuación 4 se describe el cálculo para hallar el OEE del equipo o sistema:

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidad} * \text{Rendimiento} * \text{Calidad} \quad (4)$$

Donde,

- Tiempo programado= Tiempo Total Disponible – Paradas programadas.
- Tiempo de Operación = Tiempo Programado - (Averías + Esperas).
- Producción con Buena Calidad = Unidades Totales Producidas - (Scrap + Arranque + Retrabajos).

La clasificación del OEE se describe en la Tabla 1.

Tabla 1.

Clasificación del OEE

OEE	Valoración	Descripción
$OEE < 65\%$	Deficiente (Inaceptable)	Se producen importantes pérdidas económicas. Existe muy baja competitividad.
$65\% \leq OEE < 75\%$	Regular	Aceptable sólo si se está en proceso de mejora. Se producen pérdidas económicas, Existe baja competitividad.
$75\% \leq OEE < 85\%$	Aceptable	Debe continuar la mejora para alcanzar una buena valoración. Ligeras pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja.
$85\% \leq OEE < 95\%$	Buena	Entra en valores de Clase Mundial. Buena competitividad.
$95\% \leq OEE \leq 100\%$	Excelente	Valores de Clase Mundial. Alta competitividad.

Nota. Adaptado de *La teoría de la medición del despilfarro*, por J. A. Cruelles, 2009.

2.2.11 MOE y MOP en el contexto del OEE

En el análisis operacional, los MOE (Medidas de Efectividad) y los MOP (Medidas de Rendimiento) son herramientas fundamentales para evaluar sistemas y procesos. Su correcta aplicación permite alinear objetivos estratégicos con el desempeño técnico, especialmente en áreas como el mantenimiento industrial. El OEE (Overall Equipment Effectiveness) es un ejemplo paradigmático de cómo estos conceptos interactúan, integrando métricas técnicas (MOP) para medir un resultado estratégico (MOE) (Roedler et al., 2005).

El OEE es un MOE que sintetiza tres MOPs críticos para evaluar la eficiencia de un equipo: disponibilidad, rendimiento y calidad.

2.3 Normas Para la Gestión del Mantenimiento

2.3.1 Norma ISO 14224

La ISO 14224 “Recolección y análisis de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos”, suministra directrices clave sobre la obtención de información necesaria para evaluar el rendimiento, realizar comparaciones y tomar decisiones informadas. Destaca la importancia de identificar el trabajo de manera lógica para mejorar la planificación, la eficiencia del mantenimiento y la seguridad operativa, además de enfatizar la visibilidad de los costos para identificar activos costosos (British Standards Institution., 2016).

La clasificación y características de los equipos permiten recopilar datos eficientemente y dirigir la información a equipos especializados. Los códigos para elementos mantenibles, fallas y causas guían los esfuerzos de mejora y optimización de costos, facilitan la medición del rendimiento y ayudan a identificar problemas (British Standards Institution., 2016).

Establecer un proceso de negocio integrado que combine mantenimiento y confiabilidad, junto con el cumplimiento, gestión del cambio y seguimiento del rendimiento, es fundamental para el éxito del programa. En el ámbito del mantenimiento y la confiabilidad, donde los costos y la fiabilidad son críticos, este enfoque estratégico y continuo resulta vital (British Standards Institution., 2016).

2.3.2 Norma ISO 55000

La ISO 55000 “Sistemas de Gestión de Activos” detalla los criterios necesarios para definir, ejecutar, conservar y perfeccionar el sistema de gestión de activos de una empresa. La puesta en práctica de esta norma capacita a la empresa para lograr sus metas mediante la administración efectiva y eficaz de sus activos. Al establecer un sistema de gestión de activos, se

garantiza que estos objetivos puedan lograrse de manera estable y duradera a lo largo del tiempo (International Organization for Standardization., 2014).

2.3.3 Norma ISO 9001 : 2008

La ISO 9001 “Requisitos de un Sistema de Gestión de la Calidad” establece los requisitos para un sistema de gestión de la calidad cuando una empresa necesita demostrar su capacidad para ofrecer productos que cumplan con los requisitos del cliente, así como con los requisitos legales y reglamentarios pertinentes, y busca mejorar la satisfacción del cliente mediante la efectiva implementación del sistema, incluyendo procesos para la mejora continua, la garantía de cumplimiento con los requisitos del cliente y las normativas correspondientes (Safi Ch, 2011). Los criterios de esta norma son generales y están diseñados para ser aplicables a todo tipo de organizaciones, sin importar su naturaleza, tamaño o producto ofrecido (Vértice, 2010).

2.3.4 Norma SAE-JA1011

El propósito de la norma SAE-JA1011 “Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad” es proporcionar criterios mínimos para identificar un proceso como RCM, está enfocada en aquellas empresas que buscan determinar si un proceso es verdaderamente RCM y para quienes desean contratar servicios relacionados con RCM (SAE International, 1999).

3. Generalidades de la Empresa

3.1 Reseña Histórica

FAGAR Comercial S.A.S fue fundada en el año 2015 en la ciudad de Bogotá con el propósito inicial de distribuir aceite vegetal a granel. En sus primeros años, se estableció como un proveedor confiable para consumidores y distribuidores en el mercado nacional.

En 2017, buscando fortalecer su capacidad operativa y acercarse a mercados estratégicos, la empresa trasladó sus operaciones a la ciudad de Bucaramanga, en la zona industrial vía Chimita-Girón. Este cambio marcó un hito importante, permitiendo ampliar su infraestructura y dar el salto de distribuidora a envasadora. Actualmente, ofrece una amplia gama de presentaciones de aceite vegetal, desde 100 ml hasta 20 litros, envasando aceite de palma y soya almacenados en cinco tanques con una capacidad total de 133.000 litros.

A lo largo de su trayectoria, la empresa ha enfrentado diversos desafíos. La variabilidad de la demanda ha sido una constante en el mercado, mientras que las fluctuaciones cambiarias y la incertidumbre política, derivadas del entorno económico nacional, han exigido la implementación de ajustes estratégicos. Además, la pandemia de COVID-19 representó un reto crítico, impactando la cadena de suministro, modificando las dinámicas de consumo y obligando a la adopción de estrictas medidas sanitarias para proteger al personal y asegurar la continuidad operativa.

A pesar de estos desafíos, la empresa ha logrado consolidar su presencia principalmente en las regiones de la costa y el centro del país, basándose en su compromiso con la excelencia y la productividad. Actualmente, cuenta con tres máquinas de envasado y un equipo de 25 colaboradores distribuidos en las áreas de ventas, administración, logística y producción.

El compromiso, la resiliencia y la capacidad de adaptación han sido pilares fundamentales para el crecimiento sostenido de FAGAR Comercial S.A.S, que continúa proyectándose hacia el futuro con la visión de innovar y expandir su presencia en el sector del aceite vegetal en Colombia.

3.2 Misión

Nuestra compañía tiene por compromiso comercializar productos e insumos para la industria alimenticia de primera calidad que cumplan con todos los requerimientos nutricionales y de alto rendimiento.

3.3 Visión

Para el 2025 seremos la empresa con el mejor cubrimiento en distribución de la zona norte de nuestro país llevando hasta los sitios de más difícil acceso alimentos e insumos para usos industriales y la cocina en general.

3.4 Estructura Organizacional

La empresa está compuesta por el gerente, propietario de la compañía, el personal administrativo que incluye el área de tesorería, contabilidad y cartera, así como el área de producción que involucra al jefe de producción y a los operarios. Además, cuenta con conductores encargados del transporte de los productos hacia diversas zonas del país.

3.5 Distribución Física de la Empresa

La empresa está dividida en dos plantas principales. En la primera planta, se localizan las áreas de recepción y distribución de insumos y producto terminado, donde se gestiona el ingreso de materiales y la salida de productos finalizados, el área de producción, donde se llevan a cabo las operaciones relacionadas con el envasado de los productos y el área de almacenamiento del producto terminado.

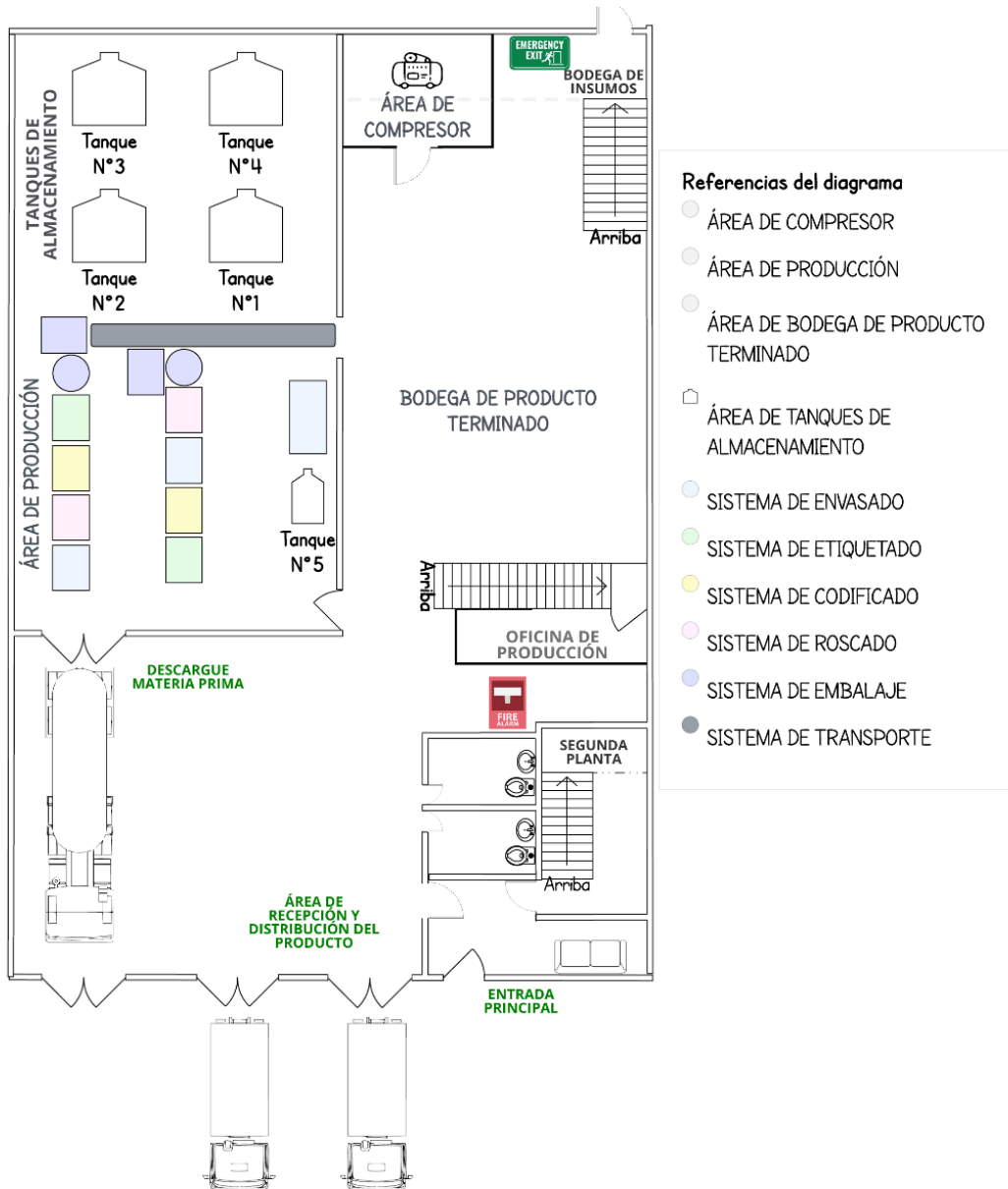
Adicionalmente, en la primera planta se encuentran dos plataformas, en la primera plataforma, se sitúa la oficina de la jefa de producción, y en la segunda plataforma, se encuentra el almacén de cajas y etiquetas, ésta incluye una extensión adicional donde se almacenan los envases y cajas correspondientes a las distintas referencias manejadas por la empresa.

Entre la primera y segunda planta, se ubican las áreas de vestuarios y zona de descanso del personal. En la segunda planta principal, se encuentran las áreas administrativas, incluyendo oficinas de gerencia, tesorería y administración. Además, esta planta cuenta con baños y cocina para el uso del personal.

En la Figura 1 se presenta el plano detallado de la primera planta de la empresa, donde se especifican las ubicaciones de las áreas descritas y los sistemas relacionados con el proceso productivo.

Figura 1.

Plano detallado de la primera planta de la empresa

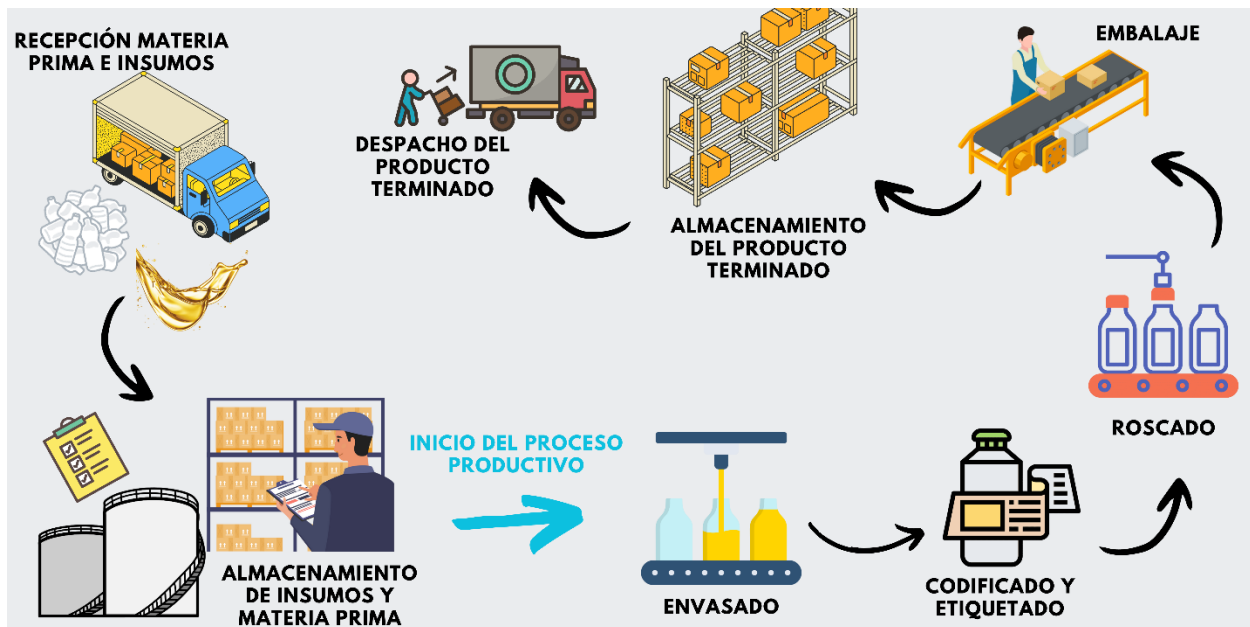


3.6 Procedimiento Operacional

En la Figura 2 se presenta de manera gráfica el flujo operativo de FAGAR.

Figura 2.

Proceso operativo



3.7 Operación productiva

La empresa dispone de tres líneas de producción diseñadas cada una para atender distintas referencias de envasado:

3.7.1 Primera Línea: Envasadora Semi - Automatizada

La Figura 3 ilustra la primera línea de producción de la empresa, adquirida hace siete años. Desde su instalación, se han implementado diversas modificaciones con el objetivo de mejorar la eficiencia y adaptabilidad al flujo de trabajo. Sin embargo, la línea aún no cuenta con un sistema de roscado automatizado.

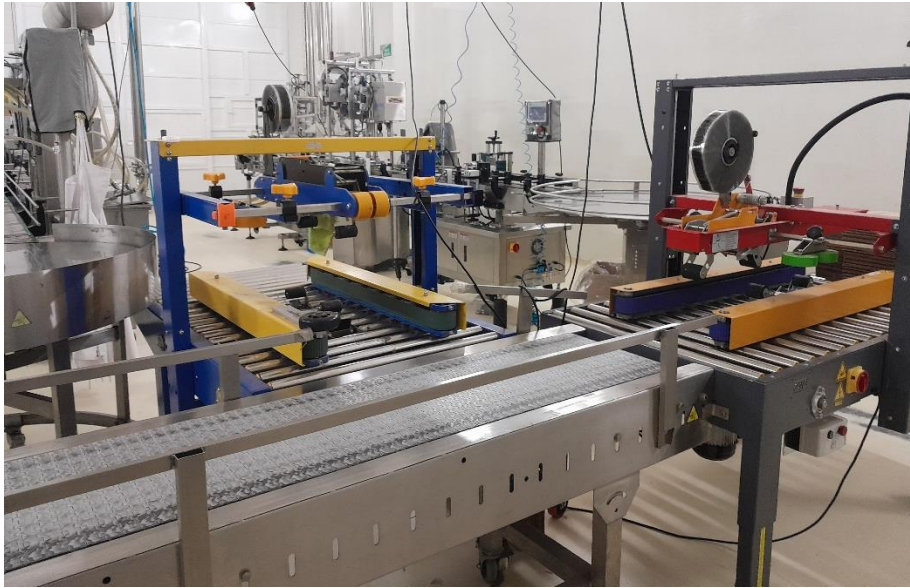
Figura 3.*Línea semi - automatizada*

Actualmente, esta línea opera exclusivamente para referencias grandes. El proceso comienza en la estación de etiquetado, donde un operario coloca manualmente el envase en una banda transportadora. A través de sensores, se detecta la posición del envase, lo que permite que la etiqueta se desprenda y se adhiera a la botella. Asimismo, una codificadora de impresión digital imprime el código de lote y la fecha de vencimiento del producto.

Posteriormente, el envase se traslada a la estación de llenado, donde se lleva a cabo la dosificación del aceite, realizada según parámetros preestablecidos que garantizan la cantidad correcta para cada referencia. Debido a la ausencia de un sistema de roscado automatizado, este proceso se realiza con un equipo externo: el operario coloca manualmente la tapa sobre cada envase y utiliza un mototool para roscar la tapa, asegurando que cada envase esté sellado. Luego, los envases son enviados a una mesa giratoria, donde un tercer operario organiza y deposita los envases en cajas que son selladas con ayuda de una máquina encintadora. Finalmente, como se observa en la Figura 4, el producto terminado es transportado a través de una banda transportadora hacia la zona de bodega.

Figura 4.

Salida del producto terminado hacia la banda transportadora

**3.7.2 Segunda Línea: Envasadora Automatizada**

La segunda línea de producción está diseñada específicamente para el envasado de referencias de envase pequeño. Esta línea representa la segunda adquisición de la empresa y proviene del proveedor Intertec, destacándose por su automatización.

El proceso de producción comienza con el operario depositando los envases en la estación de llenado, donde el aceite se dosifica conforme a los parámetros establecidos para la referencia a envasar. Un sistema electrónico supervisa el flujo y la cantidad precisa a verter, asegurando que el aceite se llene hasta alcanzar el nivel predefinido.

Como se observa en la Figura 5, una vez llenos, los envases son transferidos a la estación de tapado. A diferencia de la Línea 1, este equipo cuenta con un sistema automatizado que posiciona las tapas en la parte superior de los envases. Un roscador aplica la presión adecuada para garantizar que las tapas se rosquen correctamente, logrando así un sellado hermético.

Figura 5.*Línea automatizada*

Los envases ya sellados son dirigidos a la estación de etiquetado, donde una máquina desprende y adhiere la etiqueta del producto. Al igual que en la Línea 1, se dispone de un segundo equipo codificador de impresión digital que se encarga de imprimir el código de lote y la fecha de vencimiento del producto. Finalmente, el producto envasado llega a una mesa giratoria, donde un operario los coloca en cajas que serán pasadas por una encintadora, sellando así el paquete. El proceso concluye en la banda transportadora, que conduce a la entrada de la bodega de almacenamiento del producto terminado.

3.7.3 Báscula Envasadora de Bidones

En la Figura 6 se puede observar la envasadora de bidones, la cual fue fabricada por un ingeniero independiente, adaptándose a las necesidades específicas de la empresa. A pesar de su funcionalidad, el equipo aún requiere intervención manual en varios pasos del proceso. Este sistema de envasado opera conforme a los parámetros establecidos en un PID, dosificando la cantidad requerida de producto. Mediante un sensor ubicado en la báscula, se verifica el peso exacto, lo que permite detener automáticamente el proceso de llenado una vez que se alcanza la cantidad deseada.

Figura 6.*Báscula envasadora de bidones*

El proceso productivo de estas referencias se deriva de las líneas anteriores. Los bidones son codificados utilizando la codificadora disponible, y la etiqueta se adhiere de manera manual, luego, el bidón se posiciona en la báscula y se registra el peso deseado. Posteriormente, se inicia el proceso de llenado hasta que el sensor detecta el valor requerido, momento en el cual se detiene el envasado. Las tapas se colocan manualmente, y el operario finaliza el proceso trasladando el bidón desde la báscula hacia la banda transportadora.

La mayoría de los equipos de las líneas de producción operan neumáticamente, lo que requiere emplear un compresor. En la planta, se dispone de un compresor de tornillo de la marca Kaeser, que genera aire comprimido de manera continua y con un bajo nivel de ruido.

Además, la materia prima es transportada desde los tanques de almacenamiento a través de un sistema de tuberías. Este sistema está equipado con electrobombas que permiten mover el líquido de manera eficiente y controlada y válvulas de control tipo mariposa, las cuales facilitan la

regulación o interrupción del flujo, garantizando así un manejo preciso y seguro de la materia prima.

3.8 Codificación e Inventario de Maquinaria

El proceso de codificación de equipos se realizó de acuerdo con las directrices establecidas por la Norma ISO 14224. Este proceso incluyó el desarrollo de una taxonomía de los equipos existentes en la empresa, permitiendo una identificación precisa y eficiente, para el seguimiento continuo. En la Figura 7 se presenta la jerarquía definida por la norma ISO 14224.

Figura 7.

Jerarquía de equipos según la Norma ISO 14224

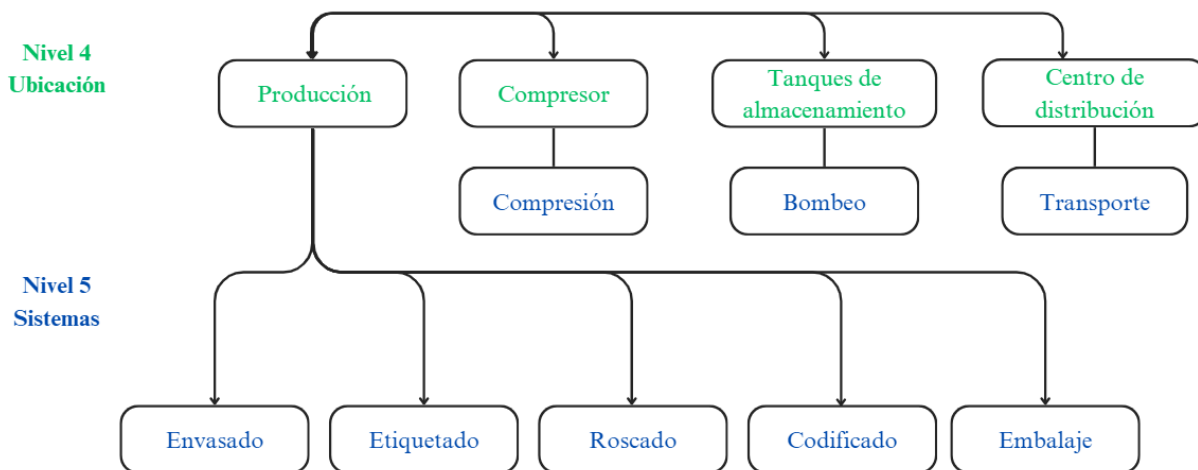


Nota. Tomado de la Norma ISO 14224

En base a esta taxonomía, la Figura 8 muestra los niveles 4 y 5 según dicha norma, especificando la ubicación y los sistemas asociados a cada equipo de la planta.

Figura 8.

Organización taxonómica de FAGAR Comercial.



La Tabla 2 muestra la clasificación de las ubicaciones según el Nivel 4 de la norma, indicando las áreas clave dentro de la planta que están relacionadas con los equipos.

Tabla 2.

Descripción de la Taxonomía del nivel 4: Ubicación.

Nivel 4	Descripción
PR	Producción
CP	Compresor
TQ	Tanques de Almacenamiento
BP	Bodega de Producto Terminado

En la Tabla 3 se detalla la clasificación de los sistemas asociados a las ubicaciones descritas en el Nivel 4. Estos sistemas representan los diferentes procesos y funciones operativas que se desarrollan dentro de cada área.

Tabla 3.

Descripción de la Taxonomía del nivel 5: Sistema.

Nivel 4	Nivel 5	Descripción
PR	ENV	Envasado
PR	ETQ	Etiquetado
PR	ROS	Roscado

Nivel 4	Nivel 5	Descripción
PR	COD	Codificado
PR	EMB	Embalaje
CP	CPS	Compresión
TQ	BMO	Bombeo
BP	TPE	Transporte

Para una identificación más precisa, se catalogaron los equipos según su tipo y la cantidad de unidades disponibles facilitando un control eficiente sobre la disponibilidad.

En la Tabla 4 se listan los equipos que forman parte del sistema de envasado (ENV) dentro del área de producción (PR), detallando tanto el tipo de equipo como la cantidad disponible.

Tabla 4.

Taxonomía del sistema de envasado

Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6 / Tipo de equipo	Secuencia	Descripción
PR	ENV	LL	01	Llenadora Semi Automatizada
PR	ENV	LL	02	Llenadora Automatizada
PR	ENV	LL	03	Báscula llenadora de Bidones N°1
PR	ENV	LL	04	Báscula llenadora de Bidones N°2

Conforme a la clasificación de equipos previamente descrita, en la Tabla 5 se establece la estructura de códigos para la identificación de los equipos.

Tabla 5.

Estructura de Códigos

Ubicación			Sistema				Equipo		Secuencia	
X	X	-	X	X	X	-	X	X	0	0

- La primera sección corresponde a la ubicación del equipo, consta de dos (2) caracteres alfabéticos.
- La segunda sección identifica el sistema al que pertenece, consta de dos (3) caracteres alfabéticos.
- La tercera sección hace referencia al tipo específico de equipo, consta de dos (2) caracteres alfabéticos.
- La cuarta sección indica la secuencia o la cantidad de unidades disponibles de dicho equipo, consta de dos (2) o más números.

En la Tabla 6 se detalla la taxonomía de los demás equipos de la planta con su código correspondiente.

Tabla 6.

Taxonomía de los equipos de FAGAR.

Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6	Secuencia	Descripción
PR	ENV	LL	01	Llenadora de Envases Semi Automatizada
PR	ENV	LL	02	Llenadora de Envases Automatizada
PR	ENV	LL	03	Báscula llenadora de Bidones N°1
PR	ENV	LL	04	Báscula llenadora de Bidones N°2
PR	ETQ	ET	01	Etiquetadora lineal Semi Automatizada
PR	ETQ	ET	02	Etiquetadora lineal Automatizada
PR	ROS	RA	01	Roscador y Posicionador de Tapas Automatizado
PR	ROS	MT	01	Mototool Roscador de Tapas
PR	COD	VJ	01	Codificadora Videojet 1280 N°1
PR	COD	VJ	02	Codificadora Videojet 1280 N°2
PR	EMB	MA	01	Mesa Acumulación Rotativa N°1
PR	EMB	MA	02	Mesa Acumulación Rotativa N°2
PR	EMB	EN	01	Encintadora Semi Automatizada

PR	EMB	EN	02	Encintadora Automatizada
PR	TPE	BT	00	Banda transportadora
CP	CPS	CP	00	Compresor Kaeser SM10
Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6	Secuencia	Descripción
TQ	BMO	EB	01	Electrobomba Pedrollo bifásica (T1 y T2)
TQ	BMO	EB	02	Electrobomba Ebara centrífuga 2hp (T3 y T4)
TQ	BMO	EB	03	Electrobomba Pedrollo bifásica (T.Bidones)
PR	BMO	EB	04	Electrobomba Pearl auto cebante (b.bidones)
PR	BMO	EB	05	Electrobomba Ebara centrífuga 4hp (descarga)
BP	TPE	GE	01	Estibador Amarillo
BP	TPE	GE	02	Estibador Rojo BF257

4. Gestión del Mantenimiento

4.1 Revisión del Estado Actual de la Gestión de Mantenimiento en la Empresa

En la actualidad, la empresa operaba bajo un sistema predominantemente correctivo de mantenimiento, complementado en menor medida por actividades preventivas. No se tenía un seguimiento o historial del mantenimiento, las intervenciones se llevaban a cabo conforme los equipos presentaban fallos. Los operarios eran los responsables de realizar las reparaciones utilizando los repuestos y herramientas disponibles en el lugar de trabajo. En los casos en que la falla no podía ser resuelta en el lugar de trabajo con los recursos disponibles, se recurría a la contratación de un ingeniero de mantenimiento externo para llevar a cabo la reparación correspondiente, llegado el caso, se contemplaba el envío del equipo afectado a las instalaciones del ingeniero externo para su pronta solución, lo que ocasionaba retrasos en la producción, y tiempos de reparación muy altos.

4.2 Registros Históricos de Mantenimiento

La empresa no contaba con documentación formal para el registro de los mantenimientos realizados. Aunque disponían de manuales y fichas técnicas de los equipos, no había un seguimiento detallado de las intervenciones, fallas recurrentes o repuestos utilizados. Esto dificultó el análisis del comportamiento de los equipos y la identificación de tendencias que habrían facilitado la mejora en la gestión del mantenimiento.

4.3 Análisis de Criticidad

El desarrollo del análisis de criticidad se basó en la experiencia de los operarios, quienes aportaron conocimientos sobre el comportamiento de los equipos y la frecuencia con la que se presentan fallos. Este análisis se llevó a cabo utilizando el Análisis de Proceso Jerárquico (AHP), que permitió estructurar y priorizar los criterios de evaluación de manera sistemática. A través de

esta evaluación, se logró clasificar los equipos según su relevancia para la continuidad operativa y el impacto de su falla, permitiendo establecer prioridades en las intervenciones de mantenimiento.

Para analizar cada equipo, se utilizó como referencia la matriz de criticidad que se presenta en el Anexo A. Esta matriz clasifica los criterios en cinco niveles de riesgo, donde los valores asignados varían del 1 al 9. Estos niveles ayudan a sistematizar la evaluación del impacto que podría tener la falla de cada equipo sobre la operación global.

El aceite vegetal alimenticio, como producto manipulado, no representa un riesgo significativo para el personal, y los equipos operados no suponen peligros relevantes para su seguridad. Sin embargo, el único factor de riesgo identificado es el impacto ambiental. Por ello, la evaluación de los criterios de seguridad y medio ambiente no se incluyó en la matriz de criticidad, dado que su puntuación sería similar para todos los equipos analizados.

La evaluación de los criterios se realizó mediante comparaciones de forma apareada donde se enfrentaron dos criterios a la vez. En cada comparación, se asignó un valor según la importancia de un criterio respecto al otro, utilizando la escala de Saaty. Como se observa en la Tabla 7.

Tabla 7.

Escala propuesta por Saaty

Escala numérica	Escala verbal	Descripción
1	Igual importancia	Los dos elementos contribuyen igualmente a la propiedad o criterio
3	El elemento es moderadamente más importante respecto al otro	El juicio y la experiencia previa favorecen a un elemento frente al otro
5	El elemento es fuertemente más importante respecto al otro	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente al otro
7	La importancia del elemento es muy fuerte respecto al otro	Un elemento domina fuertemente

9	La importancia del elemento es muy extrema respecto al otro	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible
2,4,6,8	Valores intermedios entre incrementos (Utilice esta escala si cree que su valoración necesita un alto grado de precisión)	
Inversos	Se utiliza cuando el segundo elemento es mayor en el criterio a comparar	

Nota. Adaptado de *A scaling method for priorities in hierarchical structures* por Saaty, (1977), *Journal of mathematical psychology*, 15(3), 234-281.

En la Tabla 8 se observa el proceso de comparación apareada de los criterios. En esta matriz, los elementos de la diagonal principal tienen un valor de 1, dado que se comparan los mismos criterios entre sí. Por otro lado, los elementos del triángulo inferior son los inversos de los elementos simétricos del triángulo superior, lo que refleja la naturaleza recíproca de las comparaciones. Por lo tanto, es suficiente realizar las comparaciones por pares únicamente en el triángulo superior de la matriz.

Tabla 8.

Comparación apareada de criterios

Criterios	Impacto operacional	Efecto en la calidad del producto	Frecuencia de fallas/ confiabilidad	Costo de paradas y del mantenimiento
Impacto operacional	1	3	8	8
Efecto en la calidad del producto	1/3	1	7	7
Frecuencia de fallas/ confiabilidad	1/8	1/7	1	1/3
Costo de paradas y del mantenimiento	1/8	1/7	3	1

Posteriormente, se calculó los pesos de cada criterio normalizando la matriz de comparaciones. Este proceso consistió en dividir cada elemento por la suma de su columna correspondiente, lo que permitió obtener una representación proporcional de la importancia de cada criterio. El resultado de este cálculo se presenta en la Tabla 9, donde se muestran los pesos o ponderaciones finales de cada criterio.

Tabla 9.

Ponderación final de cada criterio

Criterio	Ranking
Impacto operacional (IO)	56,06%
Efecto en la calidad del producto (CP)	31,02%
Costo de paradas y del mantenimiento (CM)	8,28%
Frecuencia de fallas/ confiabilidad (FF)	4,63%

Finalmente, se compararon los equipos bajo cada criterio utilizando la matriz de criticidad presentada en el Apéndice A. A partir de las valoraciones obtenidas, se normalizaron los valores para cada equipo, lo que llevó a la jerarquización de los equipos en función de los criterios evaluados. Se tomó la jerarquía de criticidad en base al rango de valores mostrados en la Tabla 10. Finalizando con la obtención de un índice de criticidad para cada equipo mostrados en la Tabla 11, permitiendo priorizar los esfuerzos de mantenimiento y hacer frente a la gestión de activos de manera más eficiente.

Tabla 10.

Rango de valores para jerarquizar la criticidad

Criticidad	Rango
A	> 0,048
B	0,035 a 0,048
C	<0,035

Tabla 11.*Jerarquización de equipos por su criticidad*

Ítem	Equipo	Jerarquización	Criticidad
17	Compresor Kaeser SM10	0,054776	A
10	Codificadora Videojet 1280 N°1	0,050277	A
11	Codificadora Videojet 1280 N°2	0,050277	A
6	Etiquetadora lineal automatizada	0,049696	A
1	Llenadora de envases semi automatizada	0,048934	A
2	Llenadora de envases automatizada	0,048934	A
9	Mototool roscador de tapas	0,048684	A
3	Báscula llenadora de bidones N°1	0,048257	A
4	Báscula llenadora de bidones N°2	0,048257	A
7	Roscador de tapas automatizado	0,047923	B
5	Etiquetadora lineal semi automatizada	0,047388	B
14	Encintadora semi automatizada	0,043436	B
15	Encintadora automatizada	0,043436	B
18	Electrobomba Pedrollo bifásica (t1 y t2)	0,041651	B
19	Electrobomba Ebara centrifuga 2hp (t3 y t4)	0,041651	B
20	Electrobomba Pedrollo bifásica (T.bidones)	0,041651	B
21	Electrobomba Pearl auto cebante (B.bidones)	0,041651	B
22	Electrobomba Ebara centrifuga 4hp (Descarga)	0,041651	B
23	Estibador amarillo	0,039809	B
24	Estibador rojo BF257	0,039809	B
16	Banda transportadora	0,030324	C
8	Posicionador de tapas automatizado	0,030125	C
12	Mesa acumulación rotativa N°1	0,012706	C
13	Mesa acumulación rotativa N°2	0,012706	C

Debido a que se trata de una empresa pequeña, cada equipo juega un papel fundamental en el proceso productivo. Por esta razón, las envasadoras presentaron una alta criticidad.

En particular, el compresor se clasifica como altamente crítico debido a su impacto directo en la producción. La planta depende completamente de la red neumática para operar, lo que implica que cualquier falla en el compresor detendría toda la producción de inmediato. Además, por la falta de un equipo de respaldo que pueda asumir la función en caso de falla dejaría a la planta en una situación de vulnerabilidad total. En el Apéndice B se detalla el proceso de jerarquización de cada equipo.

4.4 Análisis de Falla

El enfoque utilizado para realizar el análisis de falla se basó en la metodología de RCM, conforme a la norma SAE JA 1011-12. Este enfoque garantiza que los equipos operen de manera confiable y eficiente para alcanzar sus objetivos operacionales.

Para realizar este análisis, se trabajó en conjunto con el personal de operación, quienes aportaron su conocimiento y experiencia directa sobre el funcionamiento de los equipos. Siguiendo la taxonomía establecida, los equipos críticos fueron desglosados en subsistemas, permitiendo una descripción detallada de las funciones correspondientes a cada uno.

Como ejemplo, en la Tabla 12 se presenta el análisis del Mototool Roscador de Tapas detallando sus funciones específicas y fallas funcionales.

Tabla 12.

Funciones y fallas funcionales del Mototool Roscador de Tapas

Equipo	Subsistema	Función		Falla funcional
Roscador manual mototool	Sistema mecánico	Roscar las tapas en los envases	1	El equipo está encendido, pero no logra roscar la tapa.

Roscador manual mototool	Sistema neumático	Suministrar el aire necesario para el roscado	2	Falta de suministro de aire hacia el equipo
--------------------------	-------------------	---	---	---

Una vez definidas las funciones de cada subsistema, se procedió a identificar los modos de falla asociados a estas, es decir, las posibles formas en que el equipo podría fallar en el cumplimiento de sus funciones.

En la Tabla 13 se describen los distintos modos de falla, efectos y posibles causas de la falla para el mototool roscador de tapas.

Tabla 13.

Modos, efectos y posibles causas de falla del mototool roscador de tapas

Equipo	Modo de falla	Efecto	Causa
Roscador manual mototool	Deformación de la goma de roscado.	Generará un mayor consumo de aire. Se verá afectada la eficiencia en la producción, generará paradas, reprocesos, habrá mayor riesgo de defectos en las tapas que ocasiona pérdidas de productos y aumentarán las devoluciones.	Desgaste natural de la goma de la rosca debido al uso prolongado y la fatiga del material.
	No se genera flujo de aire.	Se verá afectada la eficiencia en la producción por paradas para realizar la reparación.	Resorte de la válvula reguladora se encuentra en mal estado, impidiendo el flujo de aire adecuado.
	No ejerce la fuerza/velocidad necesaria para realizar el roscado.	Generará un mayor consumo de aire. Se verá afectada la eficiencia en la producción, generando paradas, reprocesos, habrá mayor riesgo de defectos en las tapas ocasionando pérdidas de productos.	Pasador guía desajustado, provocando desalineación y reducción de fuerza/velocidad.
	Falla de funcionamiento.	Generará un mayor consumo de aire. Se verá afectada la eficiencia en la	Rodamiento en mal estado provocando

	miento debido a atascamiento.	producción por paradas para realizar la reparación, y generando reprocesos.		aumento de la fricción y un atasco del equipo.
.1	Falla en la generación del movimiento mecánico.	Se verá afectada la eficiencia en la producción por paradas para realizar la reparación, y generando reprocesos.	.1.1	Configuración incorrecta de la válvula reguladora, está completamente abierta.
			.1.2	Obstrucción o desgaste de la manguera neumática.
			.1.3	Desajuste o daño del racor.
			.1.4	Obstrucción del racor por contaminantes.

A partir del análisis de falla, se establecieron las tareas de mantenimiento necesarias para prevenir, detectar y corregir dichas fallas. Estas actividades se enmarcan en el mantenimiento preventivo, e incluyen inspecciones periódicas, ajustes y reemplazos programados, con el fin de garantizar el mejor funcionamiento de los equipos y evitar fallos inesperados.

En la Tabla 14 se observan las tareas de mantenimiento necesarias para el mototool roscador de tapas.

Tabla 14.

Tareas de Mantenimiento del Mototool Roscador de Tapas.

Frecuencia	Componente	Descripción
Anual	Copa/goma de roscado	Realizar cambio de copa de roscado.
Mensual	General	Realizar inspección, limpieza y lubricación al equipo.
Semestral	Empaques	Realizar cambio de empaquetaduras.
Diario	Acople entrada de aire	Aplicar lubricante apto para alimentos al equipo.
Semestral	Rodamientos	Realizar cambio del rodamiento.

Diario	General	Realizar inspección al equipo antes de iniciar la jornada de trabajo.
Diario	General	Realizar inspección del estado de los componentes.
Anual	Manguera neumática	Realizar cambio de manguera neumática por desgaste causado por el ambiente de trabajo.
Diario	Racores	Realizar inspección del estado de los racores.
Anual	Racores	Realizar cambio de racores.
Semanal	Componentes neumáticos	Realizar limpieza de los componentes neumáticos.

5. Diseño del Sistema de Información

Con la información recopilada, se inició la personalización del SGM utilizando el software de código abierto ODOO. Este software fue seleccionado por su flexibilidad y capacidad de adecuarse a los requerimientos operativos de la empresa.

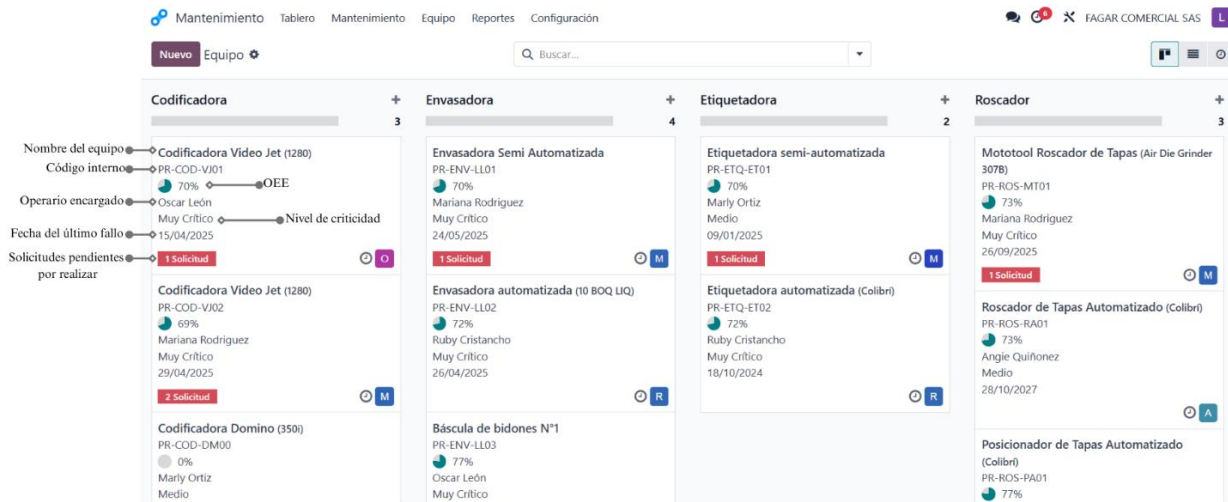
5.1 Personalización del Software

El sistema fue adaptado para almacenar información detallada de los equipos, creando módulos y pestañas que permiten organizar y gestionar de manera eficiente los datos. Se desarrollaron formatos estándar y específicos para las órdenes de trabajo e informes de mantenimiento, con el objetivo de lograr una gestión estructurada y uniforme de todas las actividades relacionadas con el mantenimiento y analizar la eficiencia de la respuesta ante fallas mediante indicadores clave de desempeño (KPIs) calculados automáticamente por el sistema.

En la Figura 9 se muestran la interfaz del software donde se observan los sistemas con sus respectivos equipos, brindando información relevante del equipo como el código de inventario, lugar donde se encuentra ubicado, operario a cargo del equipo, nivel de criticidad, OEE y fecha probable del próximo fallo.

Figura 9.

Interfaz del Módulo de Equipos

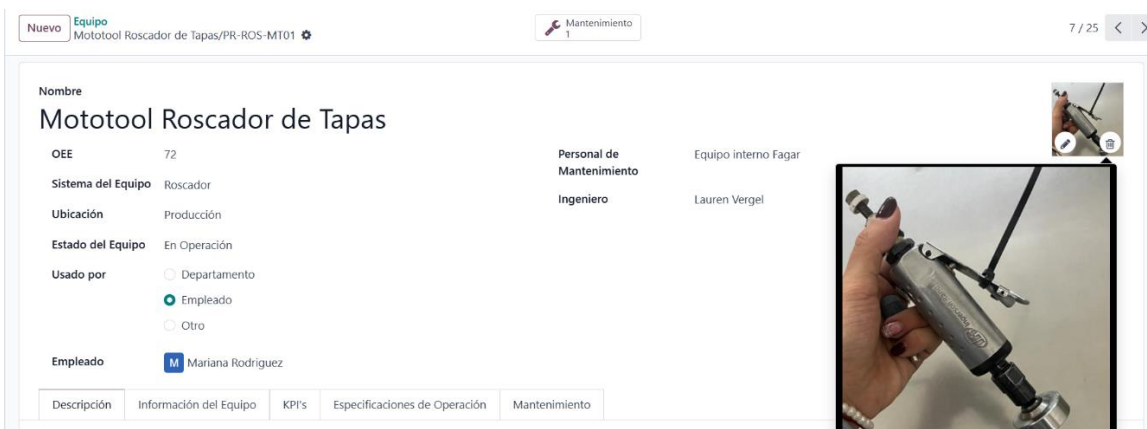


Nota. Tomado del sistema ERP Odoo, base de datos de FAGAR COMERCIAL <https://www.odoo.com/es>

En la Figura 10 se presenta información detallada sobre el equipo, organizada en diversas pestañas situadas en la parte inferior de la interfaz. Cada pestaña agrupa información específica para facilitar su consulta.

Figura 10.

Interfaz principal del equipo



Nota. Tomado del sistema ERP Odoo, base de datos de FAGAR COMERCIAL <https://www.odoo.com/es>

La sección denominada “Descripción” ilustrada en la Figura 11, proporciona un resumen del funcionamiento general del equipo, así como detalles relevantes sobre los materiales asociados y sus características esenciales.

Figura 11.








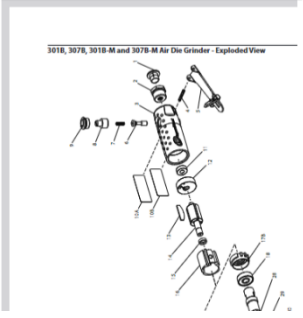
Interfaz de la descripción general del equipo

Descripción	Información del Equipo	KPI's	Especificaciones de Operación	Mantenimiento
<p>El Mototool Roscador de Tapas Modelo 307B es una herramienta neumática de alta velocidad y precisión usado en FAGAR para roscar las tapas de los envases. Su diseño incorpora una palanca como actuador para un control sencillo y eficiente. Las características a tener en cuenta son:</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ Actuación/Tipo de acelerador/Tipo de interruptor: Palanca. ◦ Consumo de aire: 24 cfm (680 l/min) a carga completa; 6 cfm (170 l/min) en promedio. ◦ Entrada de aire: Conexión NPT de 1/4" ◦ Tamaño mínimo de manguera: Se recomienda una manguera de 3/8" de pulgada para un suministro de aire adecuado. ◦ Material de la carcasa: Aluminio, ligero y resistente a la corrosión. ◦ Tipo de rodamiento: Rodamiento de bolas. ◦ Salida estándar/eje/collarín: 1/4" de pulgada. ◦ Presión sonora/Potencia sonora: 83,0 dB(A) / 94,0 dB(A). ◦ Nivel de vibración: 4.5 m/s². ◦ Adaptador de copa de roscado para tapas de 28mm y 38mm. <p>◆ La frecuencia de mantenimiento se verá detallado en la pestaña "Mantenimiento".</p>				

Nota. Tomado del sistema ERP Odo, base de datos de FAGAR COMERCIAL
<https://www.odoo.com/es>

En la pestaña "Información del Equipo" se proporciona un resumen completo de los datos relacionados con el proveedor, incluyendo el manual operativo, la fecha de adquisición y el costo del equipo, como se observa en la Figura 12.

Figura 12.*Interfaz de la Información del proveedor del equipo*

Descripción	Información del Equipo	KPI's	Especificaciones de Operación	Mantenimiento
Proveedor	Ingersoll Rand			Fecha efectiva [?] 30/05/2024
Dirección del Proveedor				Fecha de Adquisición
Marca	Ingersoll Rand			Costo 0,00
Modelo	Air Die Grinder 307B			Fecha de Vencimiento de la Garantía
Código	PR-ROS-MT01			Manual del Producto [?]  
Número de Serie				  1 of 62   
Nivel de Criticidad	★★★			

Nota. Tomado del sistema ERP Odoo, base de datos de FAGAR COMERCIAL <https://www.odoo.com/es>

La pestaña "KPI's" mostrada en la Figura 13, presenta información detallada sobre los indicadores clave de desempeño, calculados automáticamente por el sistema a partir de los datos suministrados sobre las fallas del equipo y los tiempos necesarios para su corrección. Permitiendo evaluar la eficiencia y efectividad de las intervenciones.

Figura 13.*Interfaz de los indicadores de desempeño del equipo*

Descripción	Información del Equipo	KPI's	Especificaciones de Operación	Mantenimiento
Tiempo Medio Estimado Entre Fallos ?	20			días
Tiempo Medio Entre Fallos ?	242			días
Próximo Fallo Estimado ?	26/09/2025			
Último Fallo	27/01/2025			
Tiempo Medio de Reparación ?	1			días

Nota. Tomado del sistema ERP Odoo, base de datos de FAGAR COMERCIAL
<https://www.odoo.com/es>

En la pestaña "Especificaciones de Operación" que se observa en la Figura 14, se encuentran todos los detalles técnicos relacionados con el sistema operativo y eléctrico del equipo, abarcando aspectos como sus dimensiones, capacidad de operación y consumo de potencia máxima.

Figura 14.*Interfaz de la Información técnica del equipo*

Descripción	Información del Equipo	KPI's	Especificaciones de Operación	Mantenimiento
Capacidad de Producción Máxima	50 bpm			Dimensiones
Velocidad de Operación Máxima	28.000 RPM			Alto ? 17,50
Potencia Máxima de Trabajo	0.25 Hp			Ancho ? 5,30
Tensión de Alimentación	Neumática			Largo ? 13,20
Consumo de Presión de Aire ?	6.2 Bar			Peso ? 0,95

Nota. Tomado del sistema ERP Odoo, base de datos de FAGAR COMERCIAL
<https://www.odoo.com/es>

La pestaña "Mantenimiento" que se observa en la Figura 15, ofrece un desglose detallado de las tareas de mantenimiento programadas para el equipo, diseñadas a partir del análisis de fallas previas, facilitando una gestión preventiva más efectiva

Figura 15.

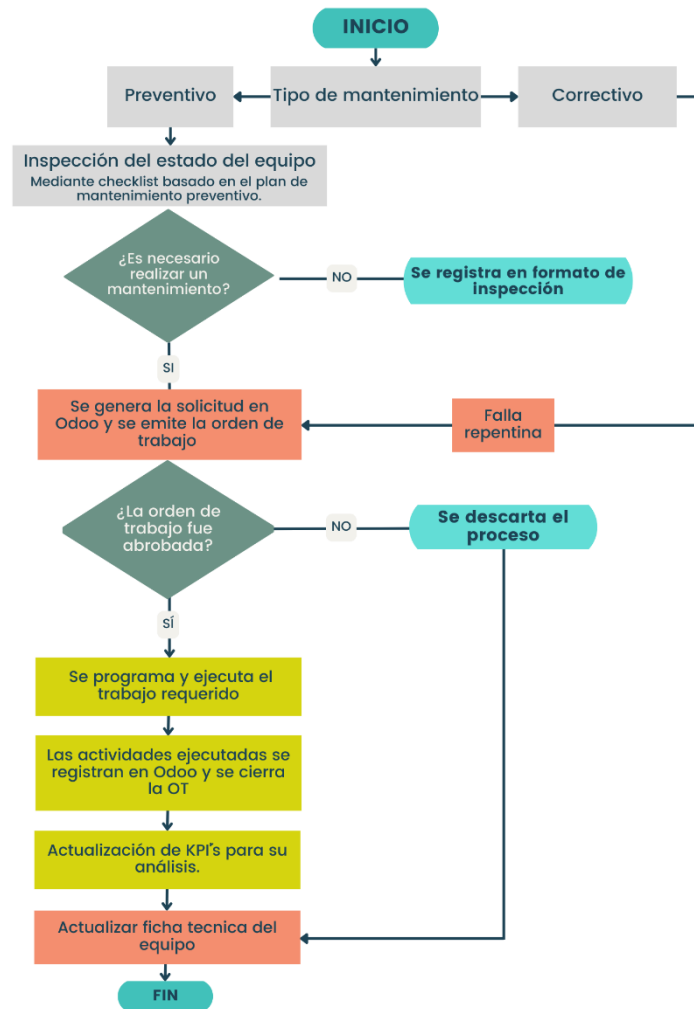
Interfaz de la Pestaña Mantenimiento

Descripción	Información del Equipo	KPI's	Especificaciones de Operación	Mantenimiento
	Frecuencia	Componente	Descripción de Tareas	
⋮	Semestral	Rodamientos	Realizar cambio de rodamientos	🗑
⋮	Semestral	Empaques	Realizar cambio de empaquetaduras	🗑
⋮	Semanal	General	Realizar limpieza a los componentes neumaticos- Mangueras/racores.	🗑
⋮	Mensual	General	Realizar inspección, limpieza y lubricacion al equipo	🗑
⋮	Diario	General	Realizar inspección al equipo antes de iniciar la jornada de trabajo	🗑
⋮	Diario	Buje ingreso de aire	Aplicar lubricante apto para alimentos al equipo	🗑
⋮	Anual	Racores	Realizar cambio de racores.	🗑
⋮	Anual	Goma copa de Roscado	Realizar cambio de la goma por desgaste	🗑
⋮	Anual	Manguera neumática	Realizar cambio a la manguera neumática por desgaste causado por el ambiente de trabajo	🗑
Agregar una línea				

Nota. Tomado del sistema ERP Odo, base de datos de FAGAR COMERCIAL <https://www.odoo.com/es>

5.2 Flujo de Trabajo del Sistema

El proceso de gestión de mantenimiento sigue un flujo estructurado que comienza con la identificación de las necesidades de intervención, garantizando que el mantenimiento preventivo se ejecute de manera organizada y documentada. Este método facilita la toma de decisiones fundamentadas y el análisis de los indicadores clave de desempeño. En la Figura 16 se presenta el diagrama de flujo correspondiente.

Figura 16.*Diagrama de flujo*

5.2.1 Generación de Solicitudes

Los operarios e ingenieros tienen la posibilidad de registrar solicitudes de mantenimiento tanto a través de la plataforma web como de la aplicación móvil. Estas solicitudes pueden ser de carácter correctivo, originadas por una avería, o preventivo, derivadas de inspecciones rutinarias.

En la Figura 17 se presenta la interfaz de generación de solicitudes de mantenimiento, donde se recopila información clave sobre el problema, incluyendo: el equipo afectado, fecha de la falla, tipo de mantenimiento requerido, si es correctivo se genera una orden de trabajo por avería

no programada, si es preventivo se crea una orden específica según la tarea a realizar, como lubricación o cambio de componentes. La solicitud también tiene el campo para registrar el responsable asignado del mantenimiento detallando si el mantenimiento será gestionado internamente o requiere un servicio externo, incluyendo el nombre del encargado, la prioridad y duración estimada de la intervención, y un campo de texto libre donde se detalla brevemente el motivo de la solicitud.

Figura 17.

Interfaz Solicitud de Mantenimiento

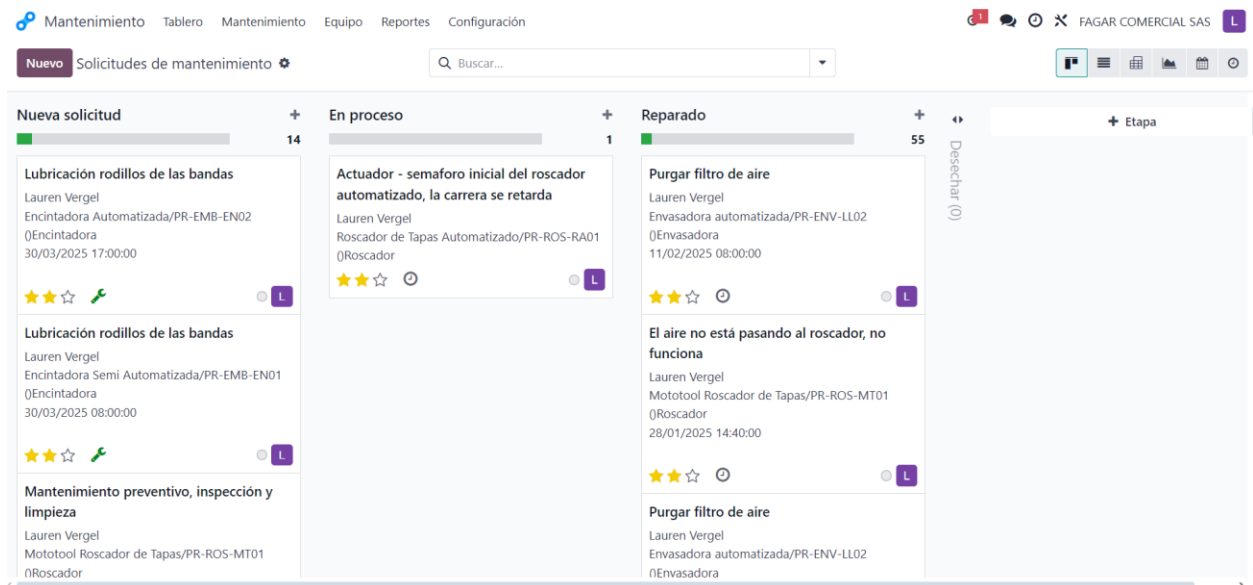
The screenshot shows the Odoo ERP interface for creating a maintenance request. The top navigation bar includes 'Mantenimiento', 'Tablero', 'Mantenimiento', 'Equipo', 'Reportes', and 'Configuración'. The user is logged in as 'FAGAR COMERCIAL SAS'. The breadcrumb trail is 'Nuevo / Mototool Roscador de Ta... / Solicitudes de m...'. The main form is titled 'Solicitud' and contains the following fields:

- Solicitud:** Por ejemplo, no funciona la pantalla
- Creado por:** Lauren Vergel
- Para:** Equipo
- Equipo:** Mototool Roscador de Tapas/PR-ROS-MT01
- Plantilla de hoja de trabajo:** Roscador
- Categoría:** Roscador
- Fecha de Fallo:** 20/09/2024
- Tipo de mantenimiento:** Correctivo, Preventivo
- Personal:** Equipo interno Fagar
- Responsable:** Lauren Vergel
- Fecha programada:** ?
- Duración:** 00:00 horas
- Recurrente:**
- Prioridad:** ☆☆☆

At the bottom, there are tabs for 'Descripción del Problema' and 'Instrucciones', and a section for 'Notas internas'.

Nota. Tomado del sistema ERP Odoo, base de datos de FAGAR COMERCIAL <https://www.odoo.com/es>

Luego de la creación de la solicitud, en la Figura 18 se observa la interfaz de “Solicitudes de Mantenimiento” donde se desglosan las actividades pendientes por realizar, las que están en proceso y las reparadas

Figura 18.*Actividades de mantenimiento pendientes*

Nota. Tomado del sistema ERP Odoo, base de datos de FAGAR COMERCIAL
<https://www.odoo.com/es>

5.2.2 Creación de Órdenes de Trabajo

El jefe de mantenimiento revisa las solicitudes y genera las órdenes de trabajo, detallando las tareas a realizar, materiales, herramientas, tiempos y costos previstos.

En las Figuras 19 y 20 se presentan la orden de trabajo estándar para una avería.

Figura 19.

Orden de Trabajo Correctiva

OT PLANEADA
OT CUMPLIDA
OT CUMPLIDA FUERA DEL PLAZO
OT NO CUMPLIDA
OT CANCELADA

ORDEN DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO

INFORMACIÓN DEL EQUIPO	INFORMACIÓN ORDEN DE TRABAJO
Ubicación: Producción	N° Orden de Trabajo: 1
Sistema: Envasadora	Fecha y Hora de Inicio: 20/11/2024 09:30:00
Equipo: Envasadora Semi Automatizada/PR-ENV-LL01	Fecha y Hora de Fin: 20/11/2024 10:00:00
Responsable del Mantenimiento: Diego Bermudez	Duración del Procedimiento: 00:30
Solicitud de Mantenimiento: Actuador de accionamiento para el llenado de botellas tier	Tipo de Mantenimiento: Correctivo
	Tipo de Trabajo a Ejecutar: Mecánico
	Prioridad: ★★ ★

TRABAJO SOLICITADO

Motivo de la Solicitud:	La junta rascadora del actuador está dañada, lo que provoca una t
Descripción del Trabajo a ser Realizado:	Reemplazar el empaque averiado
Descripción del Trabajo Realizado:	Reemplazo del empaque averiado

Nota. Tomado del sistema ERP Odo, base de datos de FAGAR COMERCIAL <https://www.odoo.com/es>

Figura 20.

Orden de Trabajo Correctiva Continuación

RECURSOS NECESARIOS

REPUESTOS Y HERRAMIENTAS	MANO DE OBRA																																																						
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">Repuestos ?</th> <th style="width: 20%;">Cant...</th> <th style="width: 20%;">Descrip...</th> <th style="width: 10%;">M...</th> <th style="width: 15%;">Valor Estima...</th> <th style="width: 20%;">Valor Real</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>Junta Rasc...</td> <td>COP</td> <td>\$ 50.000,00</td> <td>\$ 30.000,00</td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="padding-top: 5px;"> Agregar una línea </td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td style="text-align: right;">\$ 50.000,00</td> <td style="text-align: right;">\$ 30.000,00</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> Llave Bristol <input checked="" type="checkbox"/> Llave Fija <input checked="" type="checkbox"/> Destornilladores <input checked="" type="checkbox"/> 	Repuestos ?	Cant...	Descrip...	M...	Valor Estima...	Valor Real		1	Junta Rasc...	COP	\$ 50.000,00	\$ 30.000,00	Agregar una línea										\$ 50.000,00	\$ 30.000,00	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">Mano de Obra y Servicios ?</th> <th style="width: 20%;">Cant...</th> <th style="width: 20%;">Descrip...</th> <th style="width: 10%;">M...</th> <th style="width: 15%;">Valor Estima...</th> <th style="width: 20%;">Valor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>Domicilio</td> <td>COP</td> <td>\$ 10.000,00</td> <td>\$ 12.000,00</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>Ingeniero ...</td> <td>COP</td> <td>\$ 150.000,00</td> <td>\$ 200.000,00</td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="padding-top: 5px;"> Agregar una línea </td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td style="text-align: right;">\$ 160.000,00</td> <td style="text-align: right;">\$ 212.000,00</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> Martillo <input checked="" type="checkbox"/> 	Mano de Obra y Servicios ?	Cant...	Descrip...	M...	Valor Estima...	Valor		1	Domicilio	COP	\$ 10.000,00	\$ 12.000,00		1	Ingeniero ...	COP	\$ 150.000,00	\$ 200.000,00	Agregar una línea										\$ 160.000,00	\$ 212.000,00
Repuestos ?	Cant...	Descrip...	M...	Valor Estima...	Valor Real																																																		
	1	Junta Rasc...	COP	\$ 50.000,00	\$ 30.000,00																																																		
Agregar una línea																																																							
				\$ 50.000,00	\$ 30.000,00																																																		
Mano de Obra y Servicios ?	Cant...	Descrip...	M...	Valor Estima...	Valor																																																		
	1	Domicilio	COP	\$ 10.000,00	\$ 12.000,00																																																		
	1	Ingeniero ...	COP	\$ 150.000,00	\$ 200.000,00																																																		
Agregar una línea																																																							
				\$ 160.000,00	\$ 212.000,00																																																		

FIRMAS DE CONFORMIDAD

Realizado por: Diego B	Supervisado por: Javien S. Vergel H.
--	--

Nota. Tomado del sistema ERP Odo, base de datos de FAGAR COMERCIAL <https://www.odoo.com/es>

5.2.3 Ejecución y Registro

Una vez finalizada la intervención, el ingeniero responsable documenta las actividades realizadas en el *Informe de Mantenimiento*, como parte del proceso de cierre de la orden de trabajo. Esta información se integra automáticamente al historial del equipo, actualizando los registros necesarios para el cálculo de indicadores clave de rendimiento (KPI).

Las Figuras 21 y 22 muestra en detalle los elementos que conforman el informe, proporcionando una visión completa del trabajo ejecutado y facilitando el seguimiento del estado del equipo.

Figura 21.

Informe de Mantenimiento

INFORME DE MANTENIMIENTO	
INFORMACION DEL EQUIPO	
Ubicación	Producción
Sistema	Envasadora
Equipo	Envasadora Semi Automatizada/PR-ENV-LL01
Encargado del Mantenimiento	Diego Bermudez
Solicitud de Mantenimiento	Cambio de empaques del actuador neumático de llenado
INFORMACIÓN ORDEN DE TRABAJO	
N° Orden de Trabajo	1
Fecha y Hora de Inicio	20/11/2024 09:30:00
Fecha y Hora de Fin	20/11/2024 10:00:00
Duración del Procedimiento ?	00:30
Tipo de Mantenimiento Realizado	Correctivo
INFORMACIÓN GENERAL DE LA INTERVENCIÓN	
Modo de Falla	Fuga de aire por el vástago
Causa de Falla	Junta rascador se encontró deteriorada, en estado de generando un agujero lo que causó la fuga de aire.
Item Averiado	Junta Rascador
Moneda	COP
Costo de la Intervención	\$ 242.000,00
¿Cómo encontró el equipo?	Ante la necesidad de mantener el equipo operativo y evitar la interrupción de la producción, se decidió continuar trabajando a pesar del ruido intenso causado por la fuga de aire. Los operarios, en un intento de mitigar la situación, improvisaron un sello con cinta para reducir la fuga de manera temporal. Sin embargo, el equipo no operaba a plena capacidad debido a la pérdida de aire, lo que incrementó el tiempo de llenado de las botellas, generando deficiencias en el proceso y pérdidas significativas en la producción.
¿Qué trabajos realizó?	Se desmontó el actuador de la máquina, confirmándose el desgaste de la junta causado por el uso continuo y las condiciones del entorno de trabajo. Dado que el empaque no es estándar, fue necesario tomar medidas precisas y mecanizar la junta para garantizar su correcta instalación.

Nota. Tomado del sistema ERP Odoo, base de datos de FAGAR COMERCIAL

<https://www.odoo.com/es>

Figura 22.*Informe de Mantenimiento Continuación*

Estado del equipo después del trabajo (Parámetros)	Funcional	Presión de...	Descripción	
	SI	0,00		
Agregar una línea				

Observaciones y/o recomendaciones

La unidad de mantenimiento de aire se encuentra en mal estado, lo que impide su correcta función de lubricar el sistema neumático. Esta deficiencia provoca fricción en los componentes internos, acelerando su desgaste. Además, el actuador requiere mantenimiento general, ya que presenta varios componentes próximos a fallar. Como consecuencia del esfuerzo continuo, el vástago muestra signos de desalineación, lo que podría agravar el funcionamiento del equipo si no se interviene oportunamente.

FIRMAS DE CONFORMIDAD

Realizado Por: 

Supervisado por: 

Nota. Tomado del sistema ERP Odoo, base de datos de FAGAR COMERCIAL <https://www.odoo.com/es>

5.3. Capacitación del Personal

Para garantizar una adopción efectiva de Odoo en la empresa, se llevó a cabo una capacitación dirigida a los operarios encargados. El objetivo fue que los empleados aprendieran a identificar fallas en los equipos, registrar solicitudes de mantenimiento en Odoo y colaborar en la gestión eficiente de estos procesos. La capacitación se diseñó con un enfoque práctico e interactivo para facilitar el aprendizaje. Se desarrollaron las siguientes actividades:

- Presentaciones interactivas con imágenes y videos explicativos sobre la importancia del mantenimiento y la plataforma Odoo, visión general, navegación y acceso a la sección de mantenimiento.
- Identificación de fallas: Reconocimiento de problemas comunes en las máquinas.
- Ejercicios prácticos donde el personal realizó simulaciones de registro de solicitudes de mantenimiento y llenado de informes.

Asimismo, se resaltó que la ausencia de una gestión adecuada del mantenimiento puede derivar en costos operativos elevados resultado de reparaciones imprevistas, afectando la eficiencia global de la empresa. La capacitación fomentó una cultura de mantenimiento proactivo, orientada a minimizar fallos y mejorar la planificación de intervenciones correctivas.

Figura 23.

Personal de producción recibiendo capacitación en mantenimiento



6. Evaluación de la Gestión

A fin de validar el cumplimiento de las medidas de eficacia (MOE) y eficiencia (MOP), se realizó el seguimiento durante 6 semanas de los equipos críticos de la planta. Este proceso incluyó la identificación de las principales causas de las paradas, tanto programadas como imprevistas, registrando los tiempos específicos asociados a cada evento, y la cantidad de unidades programadas y producidas reales. La información recopilada permitió realizar un análisis de las métricas de disponibilidad, rendimiento y calidad, evaluando el estado inicial de los equipos frente a los resultados obtenidos tras la implementación del SGM.

A modo de ejemplo, en la Tabla 15 se detalla uno de los equipos críticos, la etiquetadora N°2 y se describen los diferentes tipos de paradas registradas durante el periodo de análisis, clasificadas según su tipo de pérdida en relación con la disponibilidad, rendimiento y calidad, y su duración. Esta categorización permitió no solo diagnosticar las áreas con mayor impacto negativo en la operación, sino también desarrollar estrategias específicas para mejorar el tiempo productivo de las máquinas.

Tabla 15.

Análisis de tiempos de paradas de la etiquetadora de botellas.

Paradas	Antes del SGM	Después del SGM
Descansos	20'	20'
Capacitaciones	0'	10'
Mantenimientos programados	0'	10'
Limpieza de maquinaria	10'	15'
Total, paradas programadas	30'	55'
Averías	76'	25'
Esperas	90'	40'
Total, pérdidas disponibilidad	166'	65'
Micro paradas	68'	43'
Velocidad reducida	36'	34'

Total, pérdidas rendimiento	104'	77'
Scrap (desechos)	96 b	76 b
Arranque	141 b	92 b
Reprocesos	502 b	312 b
Total, pérdidas por calidad	739 b	480 b

Nota. La tabla describe el tiempo perdido en minutos a causa de las paradas descritas, y la cantidad de botellas y/o etiquetas perdidas por calidad, antes y después de implementar el SGM.

En la Tabla 16 se presenta el tiempo total disponible, el tiempo de pérdidas y la producción programada, real y buena del equipo antes y después del SGM. Estos datos se utilizaron para calcular las medidas de disponibilidad, rendimiento y calidad de cada equipo.

Tabla 16.

Tiempo total de pérdidas antes y después de implementar el SGM

Descripción	Antes del SGM	Después del SGM
Tiempo total disponible (9h)	540'	540'
Tiempo programado	510'	485'
Tiempo de operación	344'	420'
Producción programada	14.400 b	12.493 b
Producción real	10.385 b	11.137 b
Producción buena calidad	9.646 b	10.657 b

Nota. La tabla describe el tiempo total perdido en la disponibilidad, rendimiento, y las botellas y/o etiquetas perdidas a causa de mala calidad antes y después de implementar el SGM.

Por otro lado, la Tabla 17 compara el OEE antes y después de implementar la gestión de mantenimiento.

Tabla 17.

Comparación del OEE antes y después del SGM en la etiquetadora N°2.

Variabes	Antes del SGM	Después del SGM
Disponibilidad	67%	86%

Rendimiento	72%	89%
Calidad	93%	96%
OEE	45%	73%

Aunque el SGM mejoró significativamente la eficiencia de los equipos críticos es fundamental reconocer que los tiempos de pérdida pueden ser influenciados por factores externos que impactan la calidad del producto final. Estos factores pueden ser: la calidad de las materias primas, errores humanos, entre otros.

En la Tabla 18 se detalla el OEE de los demás equipos críticos de FAGAR comercial antes y después de implementar el SGM.

Tabla 18.

Resultados de la implementación del SGM en FAGAR Comercial

Equipo	OEE antes	OEE con el SGM
Codificadora Videojet 1280 N°1	45%	70%
Codificadora Videojet 1280 N°2	40%	69%
Llenadora de Envases Semi Automatizada	38%	70%
Llenadora de Envases Automatizada	48%	72%
Mototool Roscador de Tapas	43%	73%
Báscula llenadora de Bidones N°1	50%	77%
Báscula llenadora de Bidones N°2	50%	77%

Los resultados reflejan una mejora notable en los indicadores clave: aumento en la disponibilidad operativa, disminución significativa de los tiempos de paradas imprevistas y una mayor productividad general de los equipos críticos, lo que evidencia la efectividad de las medidas adoptadas en la planta.

7. Conclusiones

El SGM diseñado cumplió con el objetivo de la práctica al estructurar un soporte técnico y organizativo que facilita la toma de decisiones fundamentadas, fomenta una cultura de mejora continua y promueve la sostenibilidad operativa.

Se identificó la situación actual de la gestión de mantenimiento en la empresa, evidenciándose una alta dependencia del mantenimiento correctivo. Esta condición generaba frecuentes paradas no planificadas, elevados costos operativos y una disminución en la disponibilidad de los equipos. A través del análisis de criticidad, se determinaron nueve equipos críticos, entre los cuales se destacan los equipos del sistema de envasado y codificado por lo que se priorizaron en ellos las intervenciones y estrategias de mantenimiento.

Se seleccionó el software de código abierto Odoo para el desarrollo e implementación del SGM. El sistema se personalizó para incluir campos específicos, formatos de órdenes de trabajo y alertas automáticas lo que contribuyó a mejorar la planificación, el seguimiento y la supervisión de las tareas de mantenimiento, logrando una gestión más eficiente de los recursos disponibles y una mejor organización en la ejecución de las tareas programadas.

La adopción del SGM tuvo un efecto positivo en el desempeño operativo de la planta. Se logró una disminución del mantenimiento correctivo, una mejor planificación de actividades preventivas y una mayor disponibilidad de los equipos. Estos avances se reflejaron directamente en el OEE, que mostró un notable incremento, pasando de un promedio del 45 % al 73 %. Este resultado muestra que la transformación digital en el área de mantenimiento, cuando se alinea con buenas prácticas de gestión, permite alcanzar niveles más altos de rendimiento y un mejor control sobre los activos.

Referencias

- Abdelillah, F. M., Nora, H., Samir, O., & Benslimane, S. M. (2023). Predictive maintenance approaches in Industry 4.0: a systematic literature review. *2023 IEEE International Conference on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises (WETICE)*, 1–6.
- Álvarez, H., & Sánchez, R. (2016). Modelo estocástico para la eficiencia global de los equipos (OEE): Consideraciones prácticas para su utilización. *Revista Ontare*, 3(2), 53–85.
- Belohlavek, P. (2006). *OEE: overall equipment effectiveness*. Blue Eagle Group.
- British Standards Institution. (2016). *BS EN ISO 14224:2016: petroleum, petrochemical and natural gas industries -- collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*. British Standards Institution.
- Carrasco, F. J. C. (2016). Características de los sistemas TPM y RCM en la ingeniería del mantenimiento. *3c Tecnología: glosas de innovación aplicadas a la pyme*, 5(3), 68–75.
- Crespo, A. (2007). The Maintenance Management Framework. En A. C. Márquez (Ed.), *Models and Methods for Complex Systems Maintenance* (pp. 3–10). Springer London. https://doi.org/10.1007/978-1-84628-821-0_1
- Cruelles, J. (2009). *La teoría de la medición del despilfarro*. https://www.academia.edu/21059342/LA_TEORÍA_DE_LA_MEDICIÓN_DEL_DESPILFARR
- O
- Duffuaa, S., Raouf, A., & Dixon, J. (2005). *Sistemas de Mantenimiento, Planeación y control*. ISBN.
- Fernández, E. (2018). *Gestión de mantenimiento: Lean maintenance y TPM*.
- García, S. (2010). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Ediciones Diaz de santos.

- García, S., & Muñoz, A. (2021). *Propuesta de implementación de un plan de mantenimiento preventivo en la empresa Fuxion Biotech SAC, aplicando la metodología RCM para la mejora de la disponibilidad en las máquinas envasadoras.*
- International Organization for Standardization. (2014). *ISO 55000: Asset Management-Overview, Principles and Terminology.* International Organization for Standardization.
- JCISFA. (2016). *SFA Planner's Guide.*
- Kang, N., Zhao, C., Li, J., & Horst, J. A. (2016). A Hierarchical structure of key performance indicators for operation management and continuous improvement in production systems. *International journal of production research*, 54(21), 6333–6350.
- Lima, U. (2022). Diseño de estrategias de gestión de mantenimiento basado en el TPM, para mejorar la productividad de empresas agroindustriales de Arequipa. En *γ787* (Número 8.5.2017).
- Medina Delgado, B., Camargo, L., & Gasca Mantilla, M. C. (2020). Gestión del mantenimiento para la confiabilidad operacional. *Espacios*, 41(47 (2020)), 250–261.
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2010). *Instructivo para la formulación de indicadores de desempeño.*
- Niebel, B., & Freivalds, A. (2002). Métodos, estándares y diseño del Trabajo. *México: Alfaomega.*
- Nikolopoulos, K., Metaxiotis, K., Lekatis, N., & Assimakopoulos, V. (2003). Integrating industrial maintenance strategy into ERP. *Industrial Management & Data Systems*, 103(3), 184–191.
<https://doi.org/10.1108/02635570310465661>
- Pérez, F. (2021). *Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial.*
- Ramírez, H., & Ospina, J. (2019). *Diseño de un sistema de gestión del mantenimiento para la empresa mane sucursal Colombia S.A.*

- Roedler, G. J., Martin, L., & Jones, C. (2005). *Technical Measurement a Collaborative Project of PSM, INCOSE, and Industry*.
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology, 15*(3), 234–281.
- SAE International. (1999). *Norma SAE JA1011: Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*.
- Safi Ch, E. (2011). *Propuesta de un Sistema de Gestión de la Calidad, Basado en la Norma ISO 9001:2008, Para la Empresa Servicios de Comedores Orlando, C.A (SECORCA)*.
- Sascó, S. (2023). *Propuesta de mejora de la productividad y gestión del mantenimiento de equipos en la línea de wafers de una empresa peruana productora de alimentos aplicando 5S y TPM*.
- Smith, A. M., & Hinchcliffe, G. R. (2004). Preventive Maintenance - Definition and Structure. En A. M. Smith & G. R. Hinchcliffe (Eds.), *RCM* (pp. 19–37). Butterworth-Heinemann.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-075067461-4/50005-8>
- Vértice, E. (2010). *Gestión de la calidad (ISO 9001/2008)*. Editorial Vértice.

Apéndices

Apéndice A. Matriz de Criticidad

Parte 1

Criterios	Muy bajo = 1	Bajo = 3	Moderado = 5	Alto = 7	Muy alto = 9
Impacto operacional	La falla del equipo no tiene impacto visible en la producción, ya que se puede continuar con el proceso sin interrupciones significativas o con redundancias disponibles.	La falla del equipo genera una afectación menor en la producción, con interrupciones esporádicas o una leve disminución en la eficiencia operativa.	La falla ralentiza el proceso productivo, con una reducción notable pero no crítica en la producción, afectando el rendimiento general de la planta.	La falla del equipo provoca una interrupción significativa en una o varias líneas de producción, reduciendo la capacidad productiva en al menos un 50%.	La falla del equipo detiene por completo la producción en toda la planta, con un impacto directo y severo en la capacidad de cumplir con los objetivos de producción.
Efecto en la calidad del producto	La falla no afecta la calidad del producto, o cualquier impacto es insignificante y no afecta el cumplimiento de los estándares de calidad.	-	La falla provoca una disminución moderada en la calidad del producto, con efectos que pueden corregirse sin generar grandes pérdidas.	La falla del equipo afecta la calidad del producto, causando desviaciones importantes que requieren retrabajo o desechos de productos.	La falla del equipo compromete severamente la calidad del producto final, generando productos defectuosos, o con pérdidas significativas en el valor.

Parte 2

Criterios	Muy bajo = 1	Bajo = 3	Moderado = 5	Alto = 7	Muy alto = 9
Frecuencia de fallas/ confiabilidad	El equipo tiene un historial de fallas muy esporádico o nulo, con interrupciones mínimas o sin precedentes de falla en su ciclo de vida.	El equipo presenta fallas ocasionales, con una frecuencia baja que no genera un impacto importante en la operación a largo plazo.	Las fallas del equipo son intermitentes, ocurren varias veces al año y, aunque no son constantes, generan tiempos de inactividad notables.	El equipo tiene un historial de fallas frecuentes que interrumpen la operación de manera regular, aunque no de forma continua.	El equipo presenta fallas constantes y recurrentes, con intervenciones de mantenimiento frecuentes que impactan seriamente la operación.
Costo de paradas y del mantenimiento	Los costos de paradas y mantenimiento son mínimos, con fallas que rara vez impactan la producción y reparaciones rápidas y económicas sin afectar el flujo de trabajo.	Las paradas son de corta duración, los costos de producción y de mantenimiento son relativamente bajos. El personal interno puede encargarse de la reparación.	El costo de las paradas y del mantenimiento es manejable. No generan pérdidas catastróficas, Y los repuestos y la mano de obra del mantenimiento son accesibles.	Las paradas causadas por fallas en el equipo provocan un impacto económico significativo.	Las paradas por fallas en el equipo ocasionan altos costos por pérdida de producción, sanciones y mantenimiento, lo que impacta el presupuesto de la empresa.

Apéndice B. Proceso Analítico Jerárquico de los Equipos

	IO	CP	CM	FF
MATRIZ IRASPUESTA DE PESOS	56,06%	31,02%	8,28%	4,63%

SUMA	187	131	129	66
------	-----	-----	-----	----

Item	EQUIPO	NORMALIZADO				APLICANDO PESOS CON MATRIZ IRASPUESTA				JERARQUIZACIÓN
		IO	CP	CM	FF	IO	CP	CM	FF	
1	Llenadora de Envases Semi Automatizada	0,048128	0,053435	0,031008	0,060606	0,026981	0,016576	0,002569	0,002808	0,048934
2	Llenadora de Envases Automatizada	0,048128	0,053435	0,031008	0,060606	0,026981	0,016576	0,002569	0,002808	0,048934
3	Báscula llenadora de Bidones Izq	0,037433	0,068702	0,046512	0,045455	0,020985	0,021312	0,003853	0,002106	0,048257
4	Báscula llenadora de Bidones Der	0,037433	0,068702	0,046512	0,045455	0,020985	0,021312	0,003853	0,002106	0,048257
5	Etiquetadora lineal Semi Automatizada	0,048128	0,053435	0,023256	0,015152	0,026981	0,016576	0,001927	0,000702	0,046186
6	Etiquetadora lineal Automatizada	0,048128	0,053435	0,023256	0,015152	0,026981	0,016576	0,001927	0,000702	0,046186
7	Rosgador de Tapas Automatizado	0,042781	0,053435	0,046512	0,075758	0,023983	0,016576	0,003853	0,003510	0,047923
8	Posicionador de Tapas Automatizado	0,016043	0,053435	0,046512	0,015152	0,008994	0,016576	0,003853	0,000702	0,030125
9	Motocool Rosgador de Tapas	0,042781	0,053435	0,038760	0,106061	0,023983	0,016576	0,003211	0,004914	0,048684
10	Codificadora Videojet 1280 N°1	0,048128	0,038168	0,062016	0,136364	0,026981	0,011840	0,005138	0,006318	0,050277
11	Codificadora Videojet 1280 N°2	0,048128	0,038168	0,062016	0,136364	0,026981	0,011840	0,005138	0,006318	0,050277
12	Mesa Acumulación Rotativa de la semi	0,016043	0,007634	0,007752	0,015152	0,008994	0,002368	0,000642	0,000702	0,012706
13	Mesa Acumulación Rotativa de la auto	0,016043	0,007634	0,007752	0,015152	0,008994	0,002368	0,000642	0,000702	0,012706
14	Encimadora Semi Automatizada	0,048128	0,038168	0,038760	0,030303	0,026981	0,011840	0,003211	0,001404	0,043436
15	Encimadora Automatizada	0,048128	0,038168	0,038760	0,030303	0,026981	0,011840	0,003211	0,001404	0,043436
16	Banda transportadora	0,042781	0,007634	0,031008	0,030303	0,023983	0,002368	0,002569	0,001404	0,030324
17	Compresor Kaeser SM10	0,048128	0,068702	0,069767	0,015152	0,026981	0,021312	0,005780	0,000702	0,054776
18	Electrobomba Petrollo bifásica (T1 y T2)	0,048128	0,030534	0,054264	0,015152	0,026981	0,009472	0,004496	0,000702	0,041651
19	Electrobomba Ebara centrifuga 2hp (T3 y T4)	0,048128	0,030534	0,054264	0,015152	0,026981	0,009472	0,004496	0,000702	0,041651
20	Electrobomba Petrollo bifásica (T Bidones)	0,048128	0,030534	0,054264	0,015152	0,026981	0,009472	0,004496	0,000702	0,041651
21	Electrobomba Peati autocabante (b bidones)	0,048128	0,030534	0,054264	0,015152	0,026981	0,009472	0,004496	0,000702	0,041651
22	Electrobomba Ebara centrifuga 4hp (descarga)	0,048128	0,030534	0,054264	0,015152	0,026981	0,009472	0,004496	0,000702	0,041651
23	Estibador Amarillo	0,037433	0,045802	0,038760	0,030303	0,020985	0,014208	0,003211	0,001404	0,039809
24	Estibador Rojo BF257	0,037433	0,045802	0,038760	0,030303	0,020985	0,014208	0,003211	0,001404	0,039809