

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1. Antecedentes

1.1. Antecedentes teóricos

El mantenimiento de las empresas lácteas ha sido fundamental a lo largo de la historia para asegurar la calidad y la eficiencia de la producción de productos lácteos. Desde tiempos antiguos, las civilizaciones han utilizado métodos rudimentarios para conservar y procesar productos lácteos. El mantenimiento en esta época se centraba más en la conservación de la leche, utilizando técnicas como la fermentación para producir quesos y yogures, y el enfriamiento en tinajas o recipientes de barro.

Hoy en día, las empresas lácteas se enfrentan a desafíos como la globalización, la demanda de productos de calidad constante y la necesidad de mejorar la eficiencia energética. Los sistemas de mantenimiento siguen evolucionando, el mantenimiento en las empresas lácteas ha pasado de ser una práctica rudimentaria a una disciplina altamente especializada que implica la gestión eficiente de equipos, con un enfoque en la predicción y la prevención de fallos para asegurar la continuidad y la calidad de la producción.

Según el trabajo de grado (Johnnatan Israel Ardila Báez Elaboración de un Plan de Mantenimiento preventivo para la empresa “Industrias acuña Ltda.”), realizara una auditoria de mantenimiento con el objeto de identificar las principales fallas en esta área y poder visualizar las mejoras a implementar. El diseño permitirá agilizar la búsqueda de datos y su organización, esto con el fin de aumentar la eficiencia del departamento de mantenimiento en Industrias Acuña Ltda.

(EBA) Empresa Boliviana de Alimentos y Derivados – San Lorenzo se encuentra ubicada en la provincia Méndez, Rancho Norte del departamento de Tarija, cuenta con 2 líneas de producción, queso y fermentados en sus diferentes presentaciones y sabores cada uno con sus características propias que identifican a la empresa, los cuales son destinados netamente a los desayunos escolares para varios municipios y para el subsidio Prenatal y Lactancia a nivel nacional y un menor porcentaje se comercializa en la planta a un precio de fábrica a la población en general.

En la actualidad varios equipos presentan fallas frecuentes y deterioros visibles lo cual conlleva a un incremento de costos, por imprevistos de reparación de equipos cuando se presenta una situación inesperada durante la producción por lo cual el presente proyecto tiene por objetivo la gestión de un plan de mantenimiento para la maquinaria de la línea de producción de fermentados con la finalidad que la organización pueda conservar y mantener los equipos en condiciones aptas para el desarrollo de las actividades diarias libres de eventos que no están programados dentro de sus instalaciones.

1.2. Descripción del problema

El proceso de elaboración de yogurt en la planta procesadora de lácteos San Lorenzo involucra una secuencia técnica que abarca desde la recepción de la leche hasta su pasteurización, fermentación, enfriamiento y envasado. Cada etapa requiere de equipos especializados que funcionen bajo condiciones controladas para asegurar la calidad e inocuidad del producto final.

El proceso de elaboración de yogurt en EBA Planta – San Lorenzo, enfrenta a un problema crítico relacionado con las paradas imprevistas que interrumpen la producción. Las fallas recurrentes en equipos clave, como el pasteurizador, homogeneizador y sacheteadoras, generan paradas no planificadas que afectan directamente el flujo productivo. Cuando estos equipos fallan, la línea de yogurt debe detenerse inmediatamente para realizar reparaciones urgentes, lo que frena la producción de manera abrupta. Esta interrupción en la producción no solo detiene el trabajo en curso, sino que también afecta la sincronización de las etapas siguientes, como la fermentación y el envasado, lo que provoca un retraso significativo en la fabricación de lotes.

Además, la detención de los equipos durante estos paros no planificados genera un acumulamiento de productos en proceso, y la falta de capacidad para completar las fases siguientes de la producción provoca que los lotes no alcancen los estándares de calidad requeridos. Los productos que no se procesan a tiempo o que no cumplen con

las condiciones óptimas deben ser desechados, lo que resulta en pérdidas directas de producto. Este desperdicio no solo afecta la cantidad de yogurt producido, sino también la rentabilidad de la planta.

De igual manera, las paradas imprevistas contribuyen al desgaste acelerado de los equipos, donde existe la carencia de mantenimiento preventivo y la intervención únicamente cuando ocurre una falla generan una sobrecarga en los componentes mecánicos. Este desgaste prematuro reduce la vida útil de los equipos y genera una necesidad constante de reparaciones, lo que aumenta significativamente los costos de mantenimiento y las intervenciones de emergencia.

Estas paradas no solo afectan la continuidad operativa, sino que también obligan a la planta a realizar ajustes de producción de emergencia, lo que modifica la programación establecida. Los tiempos muertos en la producción interrumpen la eficiencia del proceso y retrasan el cumplimiento de los cronogramas de entrega y los compromisos con los clientes.

A esta situación se suma la ausencia de métricas claras y sistemáticas para medir aspectos clave como la disponibilidad de la maquinaria, el tiempo medio entre fallos, el tiempo medio de reparación y otros aspectos relevantes de desempeño. Esta deficiencia de indicadores impide una gestión efectiva de los recursos, dificulta la identificación temprana de problemas y limita la toma de decisiones estratégicas para mejorar la eficiencia operativa y prolongar la vida útil de los equipos en consecuencia, la planta enfrenta una situación que impacta desfavorablemente tanto en sus costos como en su rendimiento.

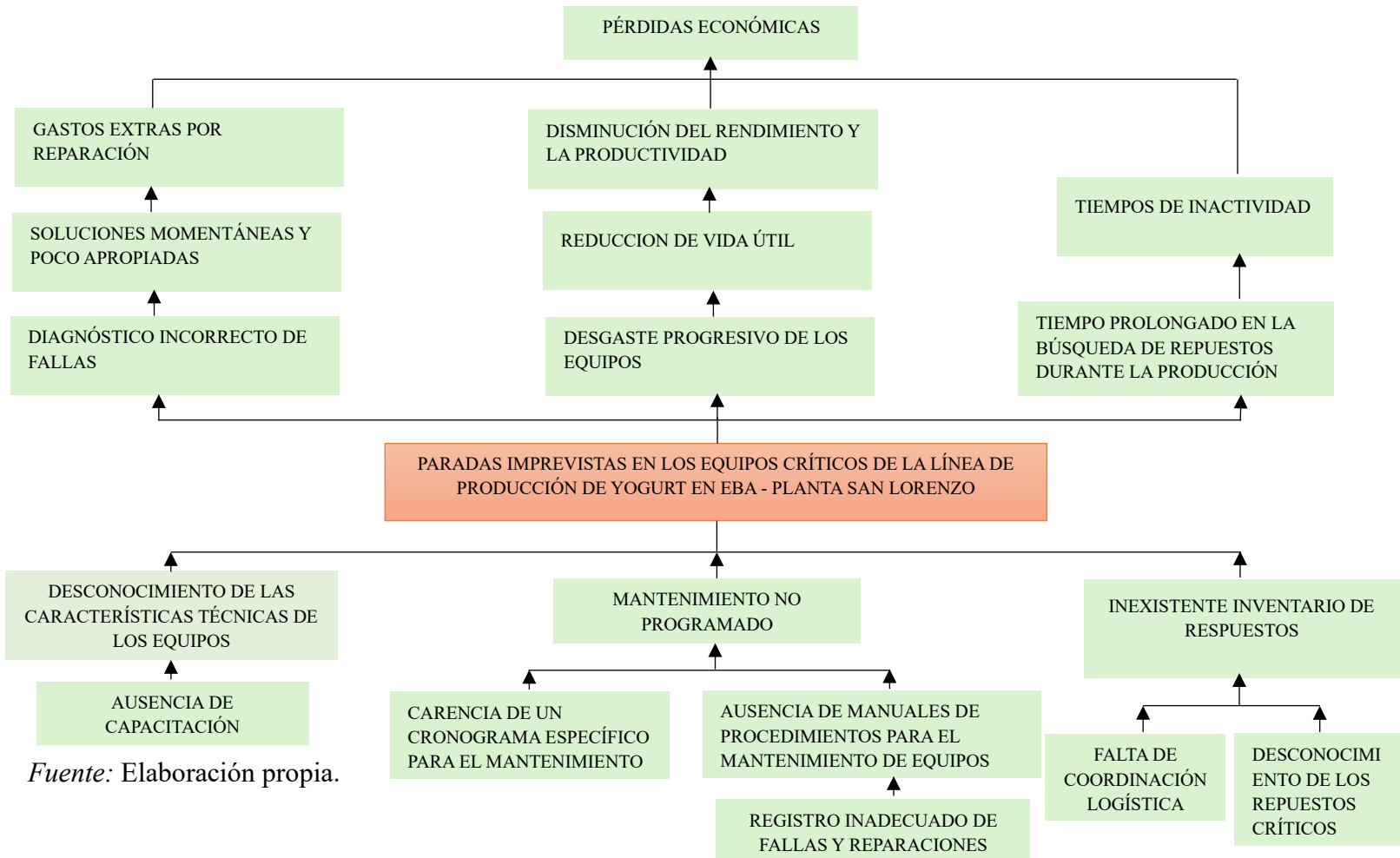
1.2.1. Formulación de pregunta

¿De qué manera un plan de mantenimiento podrá reducir las paradas imprevistas que afectan la operatividad de los equipos críticos de la línea de producción de yogurt de EBA - Planta San Lorenzo?

1.2.2. Árbol de problemas

Figura 1

Árbol de problemas de EBA - Planta San Lorenzo.

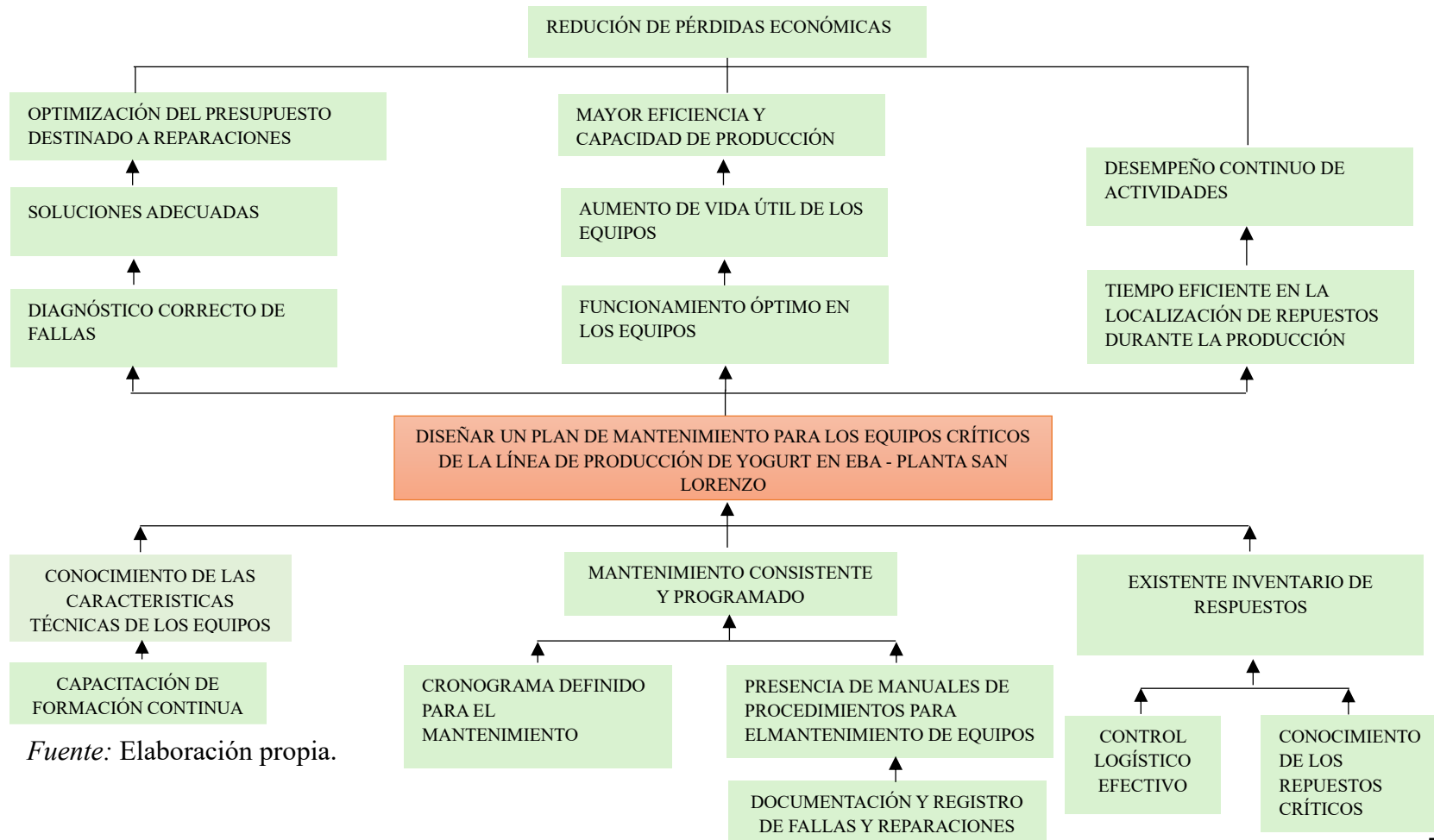


Fuente: Elaboración propia.

1.2.3. Árbol de soluciones

Figura 2

Árbol de soluciones de EBA - Planta San Lorenzo.



Fuente: Elaboración propia.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar un plan de mantenimiento para la línea de producción de yogurt en EBA – Planta San Lorenzo, optimizando la operatividad y minimizando el tiempo de inactividad de los equipos críticos.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico de la situación actual de mantenimiento e identificar equipos críticos del proceso.
- Elaborar un análisis de criticidad de fallas de los equipos de alta prioridad, identificando aquellas con mayor nivel de criticidad.
- Desarrollar la documentación técnica, para facilitar la planificación, ejecución y control de las actividades de mantenimiento.
- Definir los indicadores clave de desempeño y rendimiento, con la finalidad de evaluar la eficiencia operativa de los equipos críticos y evaluar la efectividad del plan de mantenimiento.
- Establecer un registro y control de repuestos y materiales necesarios para el mantenimiento.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación académica

El presente proyecto de grado, 'Diseño de un Plan de Mantenimiento para EBA - Planta San Lorenzo', permite aplicar conocimientos técnicos y organizativos para mejorar la eficiencia operativa de la empresa. Este proyecto fortalece competencias en planificación, diagnóstico y documentación técnica, conectando la teoría con la práctica, enriqueciendo así la formación académica y contribuyendo al desarrollo profesional. Además, proporciona una oportunidad para enfrentar desafíos reales del entorno industrial, promoviendo la innovación y el aprendizaje continuo.

1.4.2. Justificación técnica

Desde una perspectiva técnica, el diseño de un plan de mantenimiento para EBA - Planta San Lorenzo es fundamental para garantizar la fiabilidad y disponibilidad operativa de los equipos involucrados en la producción de fermentados. En este proceso, cobran especial relevancia el homogeneizador, el pasteurizador y sacheteadoras, considerados equipos críticos debido a su impacto directo en la calidad del producto final y en la continuidad del proceso productivo. La implementación de estrategias de mantenimiento permitirá identificar y corregir oportunamente posibles fallas antes de que se conviertan en incidentes mayores, asegurando así un funcionamiento eficiente y sostenido de los equipos. Asimismo, la incorporación de técnicas de monitoreo continuo y análisis de datos fortalecerá la capacidad de la planta para gestionar y optimizar sus actividades de mantenimiento, contribuyendo a una mayor productividad, eficiencia operativa y calidad en la producción.

1.4.3. Justificación legal

En el contexto legal, el proyecto se desarrolla en cumplimiento de las normativas y regulaciones vigentes que rigen las actividades industriales en el país. A nivel de la industria y la ingeniería industrial, el cumplimiento de leyes relacionadas con la seguridad laboral, el medio ambiente, las normas de calidad y los derechos de los trabajadores es esencial.

Este proyecto toma en cuenta las disposiciones legales y busca alinearse con los marcos regulatorios, lo cual garantiza su viabilidad desde el punto de vista legal. Además, la implementación de buenas prácticas y la optimización de procesos industriales contribuirán a reducir riesgos legales asociados con el incumplimiento de normativas, evitando sanciones y fortaleciendo la responsabilidad social empresarial.

1.4.4. Justificación económica

El diseño de un plan de mantenimiento contribuye directamente a la reducción de costos operativos al minimizar fallas imprevistas, prolongar la vida útil de los equipos y optimizar el uso de recursos. Económicamente, este proyecto busca prevenir pérdidas

por paradas no planificadas, reducir gastos en reparaciones correctivas y mejorar la productividad, generando un impacto positivo en la rentabilidad de la empresa.

1.4.5. Justificación personal

Como estudiante de Ingeniería Industrial, este proyecto representa una oportunidad fundamental de aplicar y consolidar los conocimientos adquiridos en planificación de la producción y productividad. El interés en el área de gestión de operaciones y mantenimiento y el deseo de contribuir al mejoramiento de la eficiencia operativa de la empresa.

1.5. Metodología

1.5.1. Enfoque y tipo de investigación

El presente proyecto de grado emplea un enfoque mixto al combinar técnicas cuantitativas y cualitativas para diseñar un plan de mantenimiento que optimice la operatividad y reduzca el tiempo de inactividad de los equipos. A través del análisis de datos como la frecuencia de fallas, tiempos de parada, MTBF, MTTR y costos de mantenimiento, junto con la recopilación de información mediante entrevistas al personal técnico, observaciones en planta y revisión de procedimientos.

1.5.2 Tipos de investigación

El proyecto enmarca la investigación de tipo aplicada, tiene como finalidad resolver un problema concreto identificado dentro de la empresa EBA - Planta San Lorenzo. Esta problemática se relaciona directamente con la eficiencia operativa de los equipos involucrados en la línea de producción del yogurt, los cuales presentan frecuentes tiempos de inactividad que afectan negativamente la producción y la continuidad del proceso.

1.5.3. Métodos y técnicas de investigación

Para alcanzar el objetivo, se utilizarán métodos como el estudio de caso, observación directa, el análisis de procesos y encuestas y entrevistas, que permitirán diagnosticar el estado actual de los equipos y diseñar un plan de mantenimiento adecuado.

Estudio de caso: Se realizará un análisis detallado de la situación actual de los equipos de la línea de producción de yogurt, este método permitirá comprender en profundidad los procesos operativos, identificar las principales causas de fallas y evaluar el impacto de los tiempos de inactividad en la producción.

Observación directa: Se llevará a cabo la observación en tiempo real de las operaciones y mantenimiento de los equipos para registrar el comportamiento, las condiciones de uso y las practicas del personal encargado. Esta técnica facilitara la identificación de problemas y oportunidades de mejora que no siempre son evidentes en los registros documentados.

Encuestas y entrevistas: Se aplicarán entrevistas estructuradas y encuestas al personal técnico, operarios y responsables de mantenimiento para obtener información cualitativa sobre las dificultades enfrentadas, las prácticas habituales y las percepciones acerca del estado y mantenimiento de los equipos.

Análisis de procesos: Se utilizarán herramientas de mejora continua, diagramas de flujo y análisis de causas raíz, para entender el ciclo de mantenimiento actual y detectar ineficiencias o áreas críticas que deben ser intervenidas en el plan de mantenimiento.

1.5.4. Población o sujeto de estudio

El sujeto de estudio está conformado por la empresa EBA - Planta San Lorenzo, específicamente el proceso de mantenimiento aplicado a los equipos de la línea de producción de yogurt. La investigación se centra en analizar dicho proceso con el fin de identificar fallas recurrentes, tiempos de inactividad y oportunidades de mejora que permitan optimizar la operatividad de los equipos críticos para la producción. Además, se considera al personal técnico involucrado en las labores de mantenimiento como

parte del estudio, su experiencia, conocimientos y practicas influyen directamente en el desempeño de los equipos y en la efectividad del plan de mantenimiento propuesto.

1.5.5. Tipo de muestreo

El estudio empleara un muestreo no probabilístico por conveniencia. Se tomará como muestra a los equipos de la línea de producción de yogurt por ser fundamental en la empresa EBA - Planta San Lorenzo, así como al personal técnico que realiza labores de mantenimiento sobre dichos equipos.

1.5.6. Tamaño de la muestra

Se considera una muestra reducida pero significativa conformada por aproximadamente cuatro a seis personas, incluyendo técnico de mantenimiento, operadores de equipos, encargado de mantenimiento, y jefe de planta. Esta selección permite recoger información desde distintas perspectivas operativas y jerarquías, garantizando una visión integral del proceso y de los factores que influyen en la eficiencia del mantenimiento.

1.5.7. Recolección de información

Se aplicará observación directa, mediante visitas a la planta y registro detallado de las actividades de operación y mantenimiento de los equipos, lo que permitirá identificar ineficiencias, tiempos de parada no programados, condiciones reales de trabajo y posibles fallas en tiempo real.

Asimismo, se realizará una revisión documental de registros históricos de mantenimiento, informes de producción, manuales técnicos de los equipos y bitácoras de fallas, con el fin de obtener datos cuantificables.

Se empleará entrevistas semiestructuradas dirigidas al personal técnico de mantenimiento, operadores y al jefe de planta, con la finalidad de recoger información cualitativa relacionada con las practicas actuales, limitaciones operativas y sugerencias del personal involucrado.

1.5.8. Instrumentos de recolección de información

Se emplearán guías de observación, diseñadas previamente, para registrar de forma sistemática las actividades de mantenimiento y operación de los equipos. Estas guías permitirán una evaluación continua y detallada del proceso, facilitando la identificación de ineficiencias, prácticas inadecuadas, tiempos muertos, y cualquier otro aspecto que pueda estar afectando el rendimiento de los equipos y la operatividad de la planta. La implementación de estas guías ayudará a detectar áreas de oportunidad que pueden ser mejoradas para optimizar.

Además, se aplicarán entrevistas semiestructuradas dirigidas al personal técnico, operarios y responsables del área de mantenimiento. Estas entrevistas servirán para obtener información cualitativa que refleje las opiniones, experiencias y sugerencias de quienes están involucrados directamente en los procesos. A través de estas entrevistas, se recopilarán detalles sobre el estado actual del mantenimiento, los desafíos diarios que enfrentan los operarios, y las posibles áreas de mejora en la gestión del mantenimiento y la eficiencia operativa.

Por otro lado, se utilizarán formatos de recolección de datos técnicos, los cuales permitirán registrar información histórica proveniente de los informes de mantenimiento previos. Estos datos permitirán realizar un análisis más profundo de las fallas recurrentes, los tiempos de inactividad, los costos asociados y el rendimiento de los equipos a lo largo del tiempo. La recopilación de esta información histórica es crucial para identificar patrones y tendencias que guiarán la toma de decisiones para mejorar los procedimientos de mantenimiento y garantizar una mayor confiabilidad de los equipos.

De esta manera, la combinación de guías de observación, entrevistas y formatos de recolección de datos permitirá obtener una visión integral del estado actual del mantenimiento en la planta y las oportunidades de mejora para garantizar una operación más eficiente y sostenible.

CAPÍTULO II

EMPRESA

2.1. Empresa

Empresa Boliviana de Alimentos y Derivados Planta San Lorenzo. Es una planta industrial dedicada al procesamiento de leche y derivados lácteos.

Figura 3

Identidad visual de EBA - Planta San Lorenzo: logotipo institucional



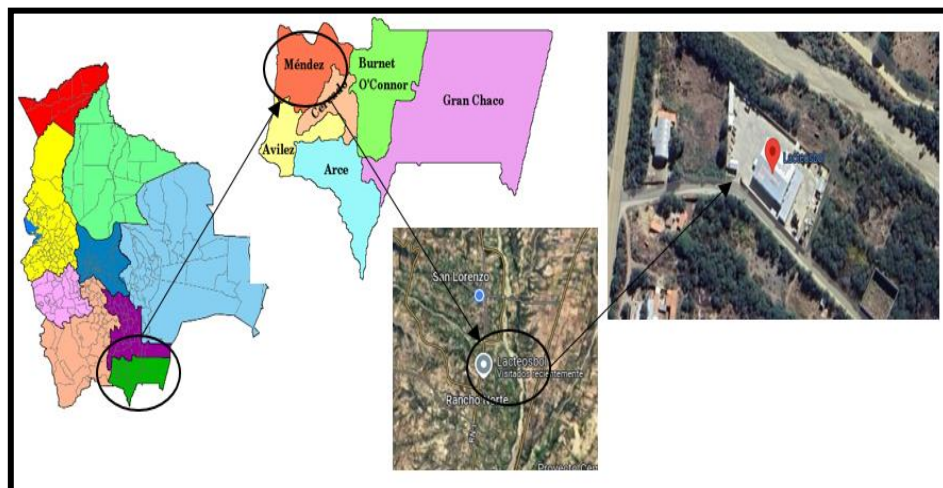
Fuente: Imagen tomada del perfil oficial de EBA (Facebook) 2025.

2.2. Ubicación

La empresa está ubicada en Rancho Norte, municipio San Lorenzo, provincia Eustaquio Méndez, del departamento de Tarija, a 15 km de la ciudad. Está construida en una dimensión de 5.000 m².

Figura 4

Mapa de ubicación de la empresa EBA - Planta San Lorenzo.

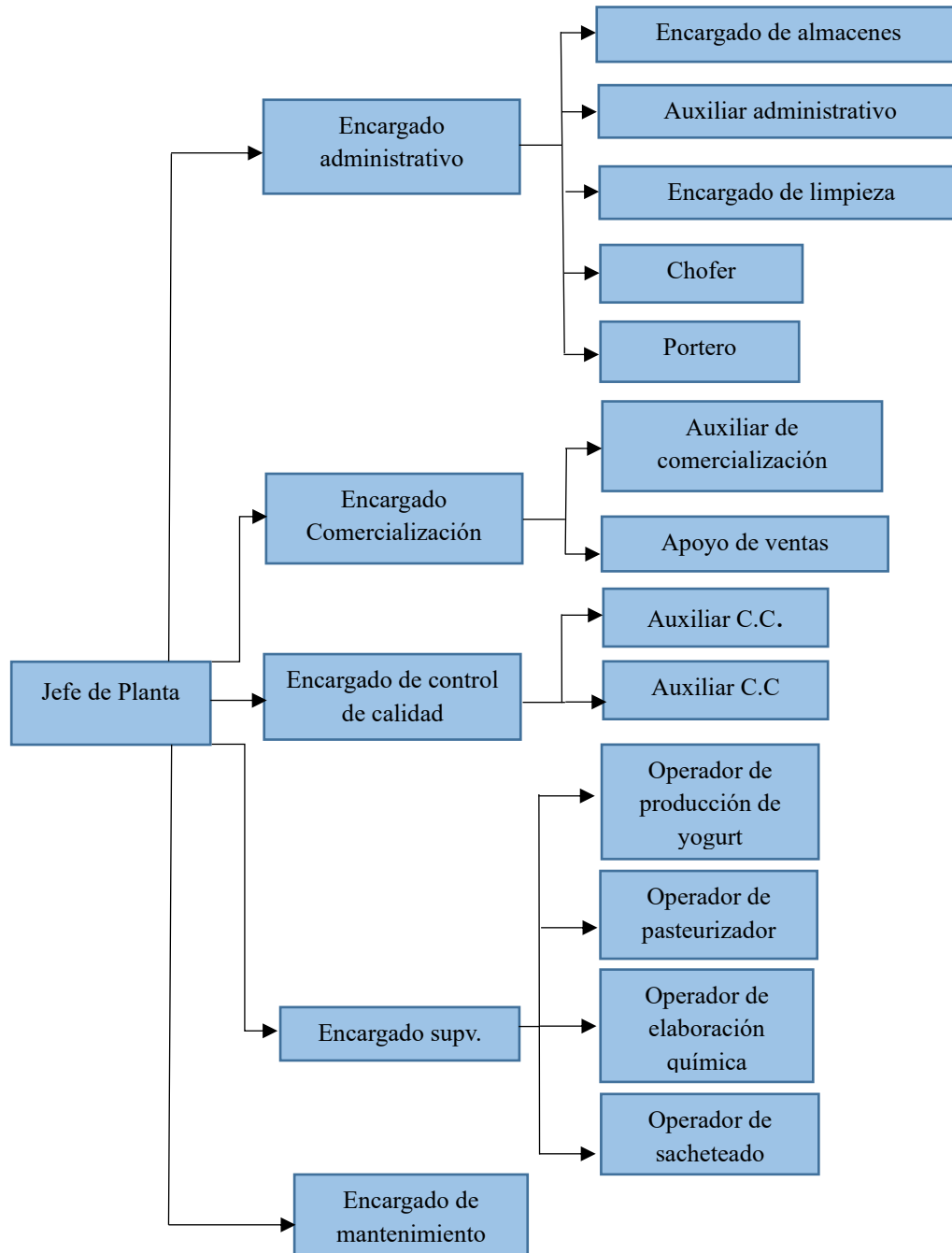


Fuente: Elaboración propia 2025.

2.3. Organización

Figura 5

Estructura organizacional de EBA - Planta San Lorenzo.






Fuente: Información proporcionada por EBA - Planta San Lorenzo. Elaboración propia 2025.


2.4. Productos y/o servicios

EBA Planta de lácteos San Lorenzo es una empresa destinada a realizar productos lácteos ofrece 2 líneas de productos queso y yogurt en sus diferentes variedades los que varían en su producción de acuerdo al pedido que se realiza cada día.

Tabla 1

Línea de productos de EBA - Planta San Lorenzo.

IMAGEN	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES
	Yogurt bebible	Está elaborado con leche de vaca pasteurizada, cultivos, azúcar, esencias, estabilizante, colorante y conservante.	Tamaño: 2.000 ml, 1.000 y 120 ml. Tipo de envase: botellas de y sachet Sabores: coco, frutilla, mora y durazno.
	Yogurt frutado	Esta elaborado con leche de vaca pasteurizada, cultivos, azúcar, esencias, estabilizante, colorantes y conservantes. Se añade considerablemente porciones de pulpa.	Tamaño: 1.000 ml Tipo de envase: botellas de Sabores: frutilla, durazno.
	Yogurt probiótico	Está elaborado con leche de vaca pasteurizada, cultivos, azúcar, esencias, estabilizante, colorante y conservante.	Tamaño: 2.000 y 1.000 ml Tipo de envase: botellas de Sabores: coco, mora.

	<p>Mi yogurt</p>	<p>Está elaborado con leche de vaca pasteurizada, cultivos, azúcar, esencias, estabilizante, colorante y conservante.</p>	<p>Tamaño: 120 ml Tipo de envase: sachet Sabores: coco, mora.</p>
---	-------------------------	---	---

Fuente: Información proporcionada por EBA - Planta San Lorenzo. Elaboración propia 2025.



2.5. Maquinaria y equipo

La maquinaria y equipos que utiliza EBA - Planta San Lorenzo son en su mayoría de acero inoxidable y tiene importantes ventajas.

Higiene, debido a que el acero inoxidable cuenta con un alto contenido en cromo, es capaz de eliminar a las bacterias, así como mantenerse limpio en cualquier ambiente o temperatura, y, en consecuencia, no contaminar a los alimentos.

Tabla 2

Maquinaria y herramientas empleadas en el proceso de elaboración de yogurt.

NOMBRE	IMAGEN	DESCRIPCIÓN
<p>Pasteurizador</p>		<p>Permite eliminar los microorganismos patógenos, mediante la aplicación de alta temperatura durante un corto período de tiempo.</p>
<p>Homogeneizador</p>		<p>Es utilizada para prevenir la sedimentación en productos fluidos, lleva el producto a los valores de viscosidad deseado, entre otros.</p>

Sacheteadora		Sachetea el yogurt en una presentación de 120ml de diferentes sabores.
Bomba centrífuga		Son utilizadas en todo momento para transportar la leche y yogurt a los diferentes tanques deseados, como también al momento de envasar y son cubiertas de acero para poder realizar la limpieza.
Bomba lobular		Transfiere productos viscosos y delicados, como yogurt de forma suave y continua sin dañarlo ni alterar su textura.
Tanques de almacenamiento		Son 2 tanques de 3000 litros cada uno utilizados para almacenar la leche recibida en albos turnos para después transportarla a los tanques.
Tanques de producción		Son 4 tanques 1001, 1002, 500 y 3000 son utilizados para hacer la preparación en batch los diferentes yogures.
Caldero		Equipo diseñado para generar vapor de agua mediante el calentamiento de agua con una fuente de energía (gas, diésel, biomasa o electricidad)

Chiller	 A white industrial chiller unit with a black handle on top and a large metal grille on the front. The text 'INDUSTRIAL CHILLER' and 'TEYU' are visible on the side.	Máquina que enfría líquidos, como agua o aire, mediante un proceso de compresión y expansión.
Banco de Frío	 A large, rectangular, stainless steel cold storage unit with multiple pipes and valves on the right side.	Equipo de refrigeración que almacena agua congelada para enfriar productos en la industria.
Codificadora Videojet	 A white and blue coding machine with a digital display screen on top and a printing head below.	Utilizada para imprimir códigos, fechas y otros datos variables sobre los envases o empaques
Cinta transportadora	 A production line showing several white yogurt bottles moving along a conveyor belt.	Es utilizada para fechar fácilmente las botellas de yogurt.

Fuente: Información proporcionada por EBA - Planta San Lorenzo 2025.

2.6. Materia prima e insumos

Los proveedores de EBA son once comunidades de la provincia Méndez y cada una de ellas tiene su propio acopio que trata de ir a recoger casa por casa la leche en dos turnos, su capacidad de recepción de materia prima es de 7.000 litros/día recibiendo en horas de la mañana 5.000 litros y en hora de la tarde 2.000 litros al llegar la leche fresca se realiza el control de alcohol y de mastitis a cada uno de los proveedores, como también se toman muestras de 4 proveedores aleatorios para poder analizar los diferentes parámetros como ser el porcentaje de ácido láctico, pH, temperatura, densidad, viscosidad, etc. Basándose en las reglas de la NB: 33013, asegurando así la calidad de materia prima admitida y poder ofrecer productos finales de calidad.

Los insumos utilizados en su mayoría ya sea en el proceso y envasado de los productos son traídos del departamento de La Paz donde se encuentra las oficinas y distribuyen a todas las plantas EBA.

Tabla 3

Insumos para la elaboración de yogures.

Nombre	Descripción	Proveedor
Azúcar	Es para endulzar y también estos aumentar el contenido calórico del producto.	Aguái S.A.
Agua	Es agua es usada para tener un poco más de rendimiento	Cosalt
Citrato de sodio	Este es utilizado como conservante que a la vez es un regulador de acidez.	-
Estabilizante	Son utilizados para aumentar la viscosidad y mejorar la textura del producto.	-
Cultivo	Son cultivos vivos y activos para la producción de ácido láctico a partir de la lactosa poder mediante la fermentación.	Maprial
Fosfato tricálcico	Son utilizados principalmente como reguladores de la acidez, espesante, agente de firmeza. Se usa solo en yogurt frutado.	-
Sorbato de potasio	Es utilizado como conservante, son capaces de prevenir el desarrollo de microorganismos.	-
Colorante	Son para darle color de acuerdo al sabor que se realice ya que el producto final es de color blanco.	-
Esencia	Son para saborizar el yogurt	
Mermelada	Es pulpa de durazno y frutilla utilizada para yogures frutados.	Procesadora CBAL
Harina de quinua	Es utilizado para el yogurt kumis y generar alto en proteínas.	-
Botellas plásticas	Son botellas de plástico utilizadas para envasar el producto.	Matriplast
Tapas	Son tapas plásticas para tapas las botellas.	Matriplast
Mangas	Se utilizan para identificar que yogurt es al que corresponde.	Imprimir

Fuente: Información proporcionada por EBA - Planta San Lorenzo 2025.

2.7. Proceso productivo

Proceso productivo del yogurt en EBA - Planta San Lorenzo.

1. Recepción de Materia Prima

Este es el proceso inicial en la producción de yogurt. En esta etapa, se recibe la leche fresca de los proveedores, que se convierte en el insumo principal para la fabricación del producto. La leche se somete a una rigurosa evaluación para garantizar su calidad. A cada proveedor se le realiza la prueba de mastitis y la prueba del alcohol, las cuales sirven para detectar contaminaciones.

Además, durante todo el día se toman 9 muestras aleatorias para realizar pruebas de calidad como el nivel de grasa, el ácido láctico, el pH, la temperatura, entre otros. Estas pruebas aseguran que la leche cumpla con los estándares necesarios para la producción del yogurt.

2. Pasteurización

La pasteurización es un tratamiento térmico que se aplica a la leche con el fin de eliminar microorganismos patógenos y otros indeseables que puedan estar presentes. La leche se pasteuriza a una temperatura entre 72 y 75 °C durante 15 segundos.

Este proceso es esencial para garantizar que el producto sea seguro para el consumo y para mantener la calidad de la leche a lo largo del proceso de fabricación.

3. Homogenización

La homogenización es una operación que previene la separación de la grasa, disminuyendo el tamaño de los glóbulos grasos. Consiste en forzar el paso de la leche a través de un pequeño orificio a alta presión (entre 120 y 150 bares).

Este proceso asegura que la grasa se mantenga bien distribuida en el producto, evitando la formación de una capa de crema en la parte superior del yogurt y mejorando la textura del producto final.

4. Preparación de Base

En esta etapa se añade el estabilizante, citrato de sodio y azúcar, que se diluyen con agua para evitar la formación de grumos. Una vez diluidos, estos ingredientes se mezclan bien con la leche pasteurizada, formando la base líquida para el yogurt. Esta mezcla garantiza una consistencia uniforme del producto final.

5. Pasteurización en Batch

Se realiza una segunda pasteurización en batch, lo que ayuda a eliminar las bacterias patógenas restantes y mejora la combinación de los ingredientes. Esta etapa también mejora el sabor, la calidad de almacenamiento y la uniformidad del producto. La pasteurización se lleva a cabo a una temperatura de entre 83 °C y 85 °C durante 30 minutos, lo que asegura la seguridad microbiológica del producto.

6. Enfriamiento 1

Después de la pasteurización, el producto debe enfriarse para alcanzar una temperatura adecuada para añadir el cultivo. Este enfriamiento se realiza a una temperatura de entre 40 °C y 45 °C. Para lograr esto, se utiliza un sistema de circulación de agua fría a través del tanque de yogurt, con agua proveniente de un banco de hielo. Este proceso asegura que el yogurt esté listo para el siguiente paso sin sobrecalentarse.

7. Inoculación

Cuando el yogurt alcanza la temperatura adecuada, se añade el cultivo de bacterias lácticas, compuesto por cepas de bacterias beneficiosas para la fermentación. Estas bacterias transforman la lactosa en ácido láctico, lo que hace que el yogurt adquiera su sabor característico y su textura espesa. La fermentación se realiza durante un periodo de entre 4 y 6 horas, hasta que el yogurt alcanza la consistencia deseada.

8. Corte o Fermentación

Durante la inoculación, se hace un seguimiento constante del pH del yogurt. Cuando el pH llega a un valor entre 4.7 y 4.9, el yogurt está listo para ser batido. El batido ayuda

a estabilizar el yogurt y evitar la separación del suero. La intensidad del batido debe ser moderada, ya que un batido demasiado fuerte podría hacer que el yogurt se vuelva demasiado líquido. En esta etapa también se añaden ingredientes como el sorbato de potasio, la esencia y el colorante, lo que le da al yogurt su sabor y color característicos.

9. Enfriamiento 2

El yogurt se enfría rápidamente para detener la actividad de las bacterias lácticas y evitar una sobre-acidificación. Se activa el banco de hielo para enfriar el yogurt mientras se agita ligeramente. Esto asegura que la fermentación se detenga en el momento adecuado y que el yogurt mantenga su sabor y textura sin volverse excesivamente ácido.

10. Envasado

En esta etapa final, el yogurt se llena en sus respectivos envases. Se realiza el llenado de forma manual mediante la apertura de una válvula. Posteriormente, se realiza un segundo llenado con la ayuda de observación para asegurar que el envase esté correctamente lleno. Luego, los envases se tapan manualmente utilizando la palma de la mano, asegurando que cada uno esté sellado correctamente antes de pasar a la siguiente fase.

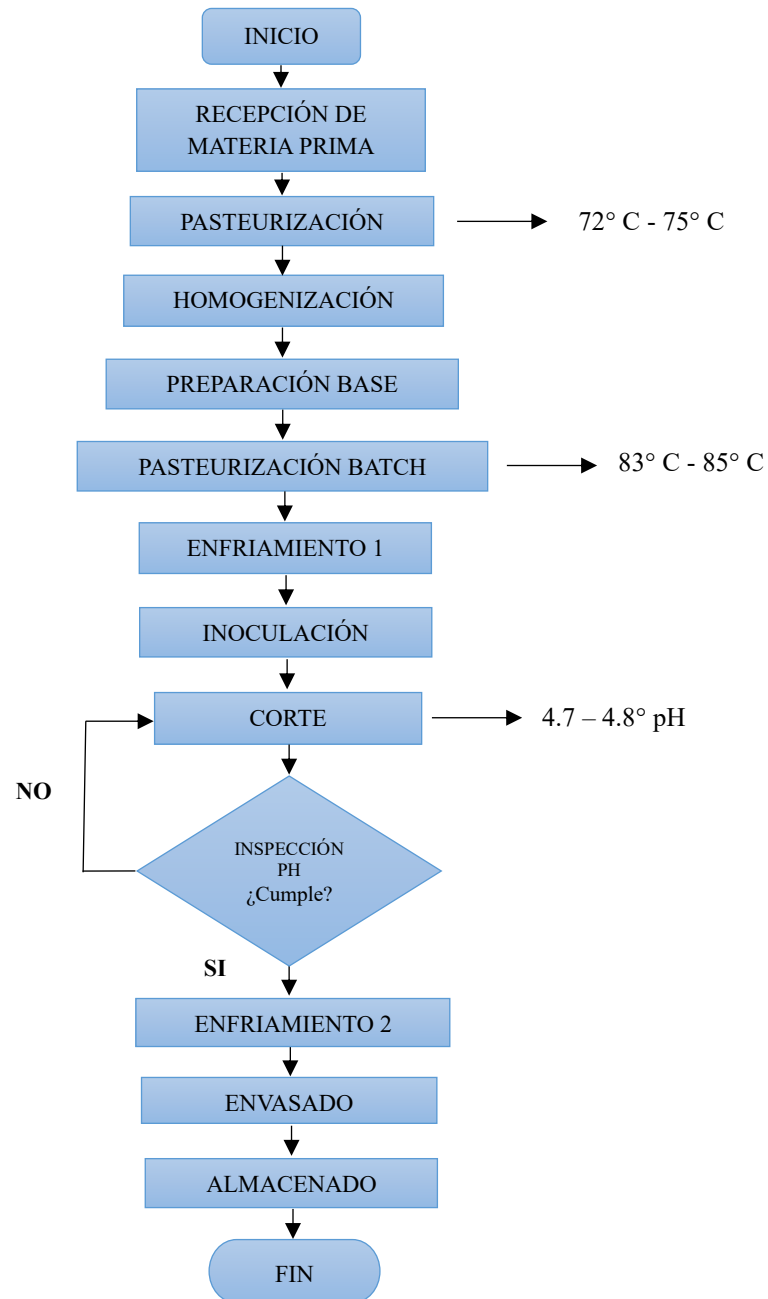
11. Almacén / Cámara de Frío

Una vez envasado, el yogurt se transporta a la cámara de frío, donde se almacena a una temperatura de entre 4 °C y 5 °C. Este almacenamiento en frío es crucial para mantener la calidad, frescura, sabor y propiedades nutricionales del yogurt durante su vida útil. La temperatura controlada asegura que el yogurt pueda ser almacenado durante varias semanas sin perder sus características, listo para ser distribuido a los puntos de venta.

2.7.1. Diagrama de flujo del proceso

Figura 6

Diagrama del proceso de producción de yogurt en EBA - Planta San Lorenzo.



Fuente: Información proporcionada por EBA - Planta San Lorenzo. Elaboración propia 2025.

2.8. Lay Out

EBA - Planta San Lorenzo presenta una distribución física organizada por áreas funcionales que permiten llevar a cabo el proceso productivo de fermentados y productos relacionados, lo que permite optimizar cada etapa del proceso productivo de fermentados y otros productos relacionados.

Esta disposición estratégica favorece un flujo de trabajo eficiente, reduciendo tiempos de traslado y mejorando la coordinación entre departamentos. Las áreas funcionales incluyen zonas destinadas al almacenamiento de materias primas, laboratorios de control de calidad, sectores de fermentación, filtrado, embotellado y envasado, además de espacios para almacenamiento de producto terminado.

Figura 7

Lay Out de distribución de áreas de trabajo de EBA - Planta San Lorenzo.



N°	Nombre
1	CIP
2	Recepción de MP
3	Tanques de almacenamiento de MP
4	Pasteurización
5	Homogeneización
6	Tanques para preparación de yogurt
7	Fechado
8	Desinfección de botellas
9	Envasado 1
10	Envasado 2
11	Termeado
12	Tanque para quesos
13	Prensas
14	Tina de salmuera
15	Embalado
16	Sellado de queso
17	Pesado de insumos
18	Enmangado de botellas

Fuente: Información proporcionada por EBA - Planta San Lorenzo. Elaboración propia 2025.

2.9. Residuos y/o desechos

La generación de residuos sólidos en la empresa EBA - Planta San Lorenzo no es muy amplia, y se limita principalmente a desechos de envases de insumos, cartón, vidrio, y bolsas plásticas. Sin embargo, lo que más impacta en el medio ambiente son los efluentes líquidos. La planta produce una cantidad considerable de aguas residuales, ya que el volumen de agua consumido en el proceso puede superar varias veces el volumen de leche tratada. Estas aguas provienen mayoritariamente de la limpieza de equipos, aparatos, máquinas y salas de tratamiento, y, por lo tanto, contienen restos de productos lácteos y productos químicos como ácidos, álcalis, detergentes y desinfectantes, que representan un riesgo ambiental considerable si no se gestionan adecuadamente.

En la producción de quesos, los efluentes más contaminantes son los sueros, que contienen una gran cantidad de lactosa, proteínas del suero lácteo y sales. Por cada lote de queso producido, se vierten más de 400 litros de suero lácteo, lo que puede generar

una carga contaminante significativa si no se realiza un tratamiento adecuado. Para mitigar este impacto, la empresa ha implementado su propio sistema de tratamiento de aguas residuales, donde todos los desechos generados en el proceso son tratados antes de ser vertidos al río. Esto asegura que las aguas residuales sean adecuadamente depuradas y no representen una fuente de contaminación para el entorno.

En cuanto al tratamiento del lodo resultante de los residuos, algunas industrias lácteas optan por utilizarlo como abono debido a su contenido orgánico. Sin embargo, en el caso de EBA - Planta San Lorenzo, no se utiliza como tal, ya que el lodo contiene una cantidad significativa de químicos derivados de los productos de limpieza empleados en el proceso. Debido a esto, se requeriría un tratamiento adicional para que el lodo fuera apto para su uso como abono. Actualmente, este lodo es gestionado por la empresa EMAT, especializada en la recolección de residuos sólidos industriales, garantizando su disposición final de manera segura y conforme a las normativas ambientales vigentes. De esta manera, EBA - Planta San Lorenzo contribuye a la minimización de los impactos ambientales derivados de sus actividades de producción, implementando prácticas responsables en la gestión de residuos.

CAPÍTULO III
MARCO TEÓRICO

3.1. Mantenimiento

3.1.1. Definición

El mantenimiento es el conjunto de actividades técnicas y organizativas que se realizan para conservar o restablecer los equipos, instalaciones y sistemas en condiciones óptimas de funcionamiento, garantizando su disponibilidad, confiabilidad y seguridad durante su ciclo de vida. Vásquez González, E. (2021)

Según el libro Pérez Rondón, F. A. (2021). Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial. El mantenimiento es el conjunto de actividades técnicas y organizativas que se realizan para conservar o restablecer los equipos, instalaciones y sistemas en condiciones óptimas de funcionamiento, garantizando su disponibilidad, confiabilidad y seguridad durante su ciclo de vida."

3.1.2. Objetivos del mantenimiento

El mantenimiento industrial es un pilar fundamental para la continuidad y eficiencia de los procesos productivos, ya que asegura el funcionamiento óptimo de los equipos y minimiza interrupciones que puedan afectar la productividad y los costos operativos. En este contexto, los objetivos del mantenimiento, según la literatura técnica, se orientan a maximizar la disponibilidad y confiabilidad de los sistemas, garantizando la calidad y seguridad en las operaciones.

Según Mobley (2002) en *An Introduction to Predictive Maintenance*, los objetivos del mantenimiento incluyen asegurar la máxima disponibilidad y confiabilidad de los equipos mediante estrategias predictivas y preventivas que anticipen y eviten fallos inesperados. Estas prácticas buscan extender la vida útil de la maquinaria, optimizar el rendimiento operativo, reducir costos por paradas no planificadas, mantener la calidad del producto final y cumplir con estándares de seguridad, contribuyendo a la eficiencia y continuidad de los procesos industriales.

Por otra parte, la Norma Boliviana NB 12017:2020, define el mantenimiento como un sistema de gestión orientado a preservar o restaurar el estado óptimo de los activos mediante estrategias planificadas. Según esta norma, los objetivos del mantenimiento son: (1) maximizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos; (2) minimizar costos operativos a través de estrategias preventivas y predictivas que reduzcan fallos inesperados; (3) extender la vida útil de los activos, optimizando recursos y evitando paradas no planificadas; (4) garantizar el cumplimiento de normas de seguridad e higiene, protegiendo al personal y la calidad de los productos; y (5) fomentar la mejora continua mediante indicadores de desempeño, como el tiempo medio entre fallos (MTBF), contribuyendo a la sostenibilidad y competitividad organizacional.

3.2. Confiabilidad

3.2.1. Definición

La confiabilidad se entiende como la probabilidad de que un equipo, sistema o componente cumpla con la función para la que fue diseñado, durante un período de tiempo determinado y bajo condiciones operativas específicas, sin que se presenten fallas. En el ámbito del mantenimiento industrial, este concepto adquiere una relevancia central, ya que permite evaluar el grado en que los activos productivos mantienen un desempeño continuo, seguro y eficiente. De esta manera, la confiabilidad se convierte en un criterio fundamental para la planificación de estrategias de mantenimiento orientadas a minimizar paradas no programadas, reducir costos asociados a fallas y garantizar la disponibilidad de los equipos en el proceso productivo (Dhillon, 2019).

3.2.2. Función de confiabilidad

La función de confiabilidad, denotada como $R(t)$, representa la probabilidad de que un sistema, equipo o componente continúe funcionando sin fallas durante un intervalo de tiempo t bajo condiciones operativas específicas. En resumen, indica la capacidad de un activo para desempeñar su función de manera satisfactoria hasta un tiempo determinado. Esta función es complementaria a la función de distribución de fallas $F(t)$

y se relaciona directamente con la función de densidad de fallas $f(t)$ mediante la expresión:

$$R(t) = 1 - F(t)$$

y también se puede expresar en términos de la función de densidad de fallas como:

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(x)dx \quad (1)$$

La función de confiabilidad es fundamental en el análisis de mantenimiento, ya que permite estimar la probabilidad de supervivencia de los equipos, planificar intervenciones preventivas y evaluar la efectividad de estrategias de mantenimiento orientadas a maximizar la disponibilidad y minimizar paradas no planificadas (Ebeling, 2019).

3.2.3. MTTF y MTBF

3.2.3.1. MTTF

El Tiempo Medio hasta la Falla (MTTF) es una medida estadística utilizada en ingeniería de confiabilidad para describir el tiempo promedio de operación de un componente o sistema no reparable antes de que ocurra una falla. Se aplica principalmente a elementos consumibles o de vida limitada.

De acuerdo con Ebeling (2019), el MTTF constituye un parámetro fundamental para la evaluación de la vida útil esperada de los equipos no reparables, ya que permite predecir con mayor certeza el comportamiento de los activos y planificar el mantenimiento preventivo o el reemplazo oportuno.

Fórmula del MTTF

Si se conoce la función de densidad de probabilidad de falla $f(t)$, el MTTF se calcula como el valor esperado de la variable aleatoria tiempo de falla T :

$$MTTF = \int_0^{\infty} tf(t)dt$$

En el caso de un conjunto de n equipos no reparables observados hasta su falla, el MTTF puede estimarse empíricamente como:

$$MTTF = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n} \quad (2)$$

T_i = tiempo hasta la falla del equipo i .

n = número total de equipos analizados.

3.2.3.2. MTBF

El Tiempo Medio entre Fallas (MTBF) es un indicador que mide el tiempo promedio de operación de un sistema reparable entre la ocurrencia de una falla y la siguiente. A diferencia del MTTF, este parámetro se utiliza en equipos que pueden ser restaurados a condiciones operativas mediante reparación o sustitución de partes, como motores eléctricos, bombas, compresores o sistemas electrónicos.

Según Blanchard y Fabrycky (2014), el MTBF constituye un parámetro esencial en la gestión de confiabilidad y disponibilidad, ya que refleja la capacidad de los equipos reparables de mantenerse en operación continua y permite evaluar la eficiencia del plan de mantenimiento implementado.

El MTBF se define como el cociente entre el tiempo total de operación y el número de fallas ocurridas:

$$MTBF = \frac{T_{op}}{N_f} \quad (3)$$

T_{op} = Tiempo total de operación observado.

N_f = Número de fallas registradas en ese intervalo.

3.2.4. Disponibilidad

La disponibilidad se define como la proporción de tiempo durante el cual un sistema, equipo o componente está en condiciones de realizar su función requerida bajo

condiciones normales de operación. Este indicador permite cuantificar la capacidad real de un activo para cumplir con su propósito, considerando tanto los tiempos de operación como los periodos de inactividad.

Blanchard y Fabrycky (2014) señalan que la disponibilidad representa la probabilidad de que un sistema esté operativo en un instante dado, constituyendo un indicador clave para evaluar el desempeño del mantenimiento y la eficiencia de los procesos. Además, relaciona directamente la confiabilidad y la mantenibilidad mediante los parámetros MTBF (Mean Time Between Failures) y MTTR (Mean Time To Repair), permitiendo calcular la disponibilidad como:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100 \quad (4)$$

D = Disponibilidad

MTBF = Tiempo medio entre fallas

MTTR = Tiempo medio de reparación

3.3. Mantenibilidad

3.3.1. Definición

La mantenibilidad se define como la facilidad y rapidez con la que un sistema, equipo o componente puede ser reparado o restaurado a su estado operativo después de una falla, bajo condiciones de operación normales. Este concepto es fundamental en la ingeniería de sistemas y en la gestión de mantenimiento, ya que influye directamente en la disponibilidad de los activos y en la eficiencia de los procesos productivos.

3.3.2. MTTR

El MTTR (*Mean Time To Repair*), o Tiempo Medio de Reparación, es un indicador de mantenibilidad que refleja el tiempo promedio que tarda un sistema, equipo o componente en ser restaurado a su estado operativo tras una falla. Este parámetro es

fundamental para evaluar la eficiencia del mantenimiento, la rapidez de respuesta ante fallas y su impacto en la disponibilidad de los activos industriales.

Según Blanchard y Fabrycky (2014), el MTTR se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$MTTR = \frac{\sum \text{tiempo total de reparaciones}}{N} \quad (5)$$

Σ tiempo total de reparaciones = Tiempo invertido en reparaciones.

N = Número total de reparaciones realizadas durante el período de observación.

3.3.3. Indicador OEE

El OEE (Overall Equipment Effectiveness o Eficiencia Global de Equipos) es un indicador clave utilizado para medir la efectividad general de un equipo de producción o maquinaria. El OEE mide la eficiencia de un equipo de producción en relación con tres aspectos clave: Disponibilidad, Rendimiento y Calidad. Estos tres componentes reflejan los principales tipos de pérdidas que pueden afectar a un equipo o proceso productivo. El OEE se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$OEE = \text{Disponibilidad} \times \text{Rendimiento} \times \text{Calidad} \quad (6)$$

La disponibilidad mide el tiempo en el que un equipo está realmente disponible para producir, comparado con el tiempo total planificado para su funcionamiento. Las pérdidas de disponibilidad incluyen paradas programadas y no programadas, como fallas mecánicas, tiempos de cambio o mantenimiento. La fórmula para la disponibilidad es:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo de funcionamiento planificado}}{\text{Tiempo de funcionamiento real}} \quad (7)$$

El rendimiento evalúa la velocidad a la que un equipo produce en comparación con su velocidad máxima teórica o diseñada. Las pérdidas de rendimiento ocurren cuando el equipo opera a una velocidad inferior a la óptima, como cuando se producen tiempos de inactividad o reducción de la velocidad por causas operativas. La fórmula para el rendimiento es:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Producción real}}{\text{Producción máxima teórica}} \quad (8)$$

La calidad mide la cantidad de productos buenos producidos en relación con el total producido, es decir, los productos que cumplen con los estándares sin necesidad de retrabajo o rechazo. Las pérdidas de calidad incluyen productos defectuosos o fuera de especificación que deben ser descartados o retrabajados. La fórmula para la calidad es:

$$\text{Calidad} = \frac{\text{Unidades buenas}}{\text{Unidades totales producidas}} \quad (9)$$

3.4. Tipos de mantenimiento

3.4.1. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo se entiende como el conjunto de acciones que se llevan a cabo después de que un equipo o componente ha presentado una falla, con el propósito de restituir su capacidad operativa y permitir que continúe desempeñando la función para la cual fue diseñado. Se caracteriza por ser una estrategia de carácter reactivo, ya que no se anticipa al fallo, sino que actúa una vez que este ha ocurrido, ocasionando en la mayoría de los casos la detención del proceso productivo y la necesidad de una intervención inmediata (Blanchard & Fabrycky, 2014).

En la literatura especializada, se diferencia entre dos tipos de mantenimiento correctivo:

- Correctivo planificado, que se realiza cuando, a partir de inspecciones previas, se ha detectado un deterioro progresivo o una condición inestable que inevitablemente provocará una falla, y por tanto, se programa su reparación.
- Correctivo no planificado, que surge de manera inesperada a raíz de una falla súbita, obligando a detener el equipo y repararlo de inmediato.

Este tipo de mantenimiento suele implicar altos costos asociados a la inactividad, además de posibles repercusiones en la seguridad de las operaciones y en la calidad de los productos. Sin embargo, es inevitable en cualquier sistema, puesto que siempre existirán fallas imprevistas. Lo recomendable es que su frecuencia sea mínima dentro de un plan integral de mantenimiento, limitándose a situaciones de urgencia en las que el restablecimiento rápido de la funcionalidad es la única alternativa disponible.

3.4.2. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo se define como un conjunto de actividades técnicas y de gestión que se ejecutan de forma planificada y periódica, con el objetivo de evitar que ocurran fallas inesperadas y preservar la confiabilidad de los equipos (Moubray, 1997). Este tipo de mantenimiento parte de la premisa de que resulta más económico y seguro prevenir los problemas que afrontarlos una vez que han ocurrido.

Las actividades preventivas incluyen inspecciones regulares, revisiones de parámetros operativos, limpieza de componentes, lubricación de partes móviles, ajustes de calibración, pruebas de seguridad, y el reemplazo de piezas que presentan desgaste por el uso normal. Estas acciones pueden realizarse en función del tiempo transcurrido, de las horas de operación, o del número de ciclos de trabajo del equipo.

El mantenimiento preventivo ofrece múltiples beneficios, entre ellos:

- Disminución en la probabilidad de fallas graves.
- Reducción de los tiempos de inactividad no planificada.
- Mayor disponibilidad y confiabilidad de la maquinaria.

- Extensión de la vida útil de los activos.
- Mejor planificación de recursos humanos, materiales y financieros.

No obstante, esta estrategia también conlleva ciertas desventajas, como el hecho de que algunas intervenciones se realizan, aunque los equipos no presenten aún síntomas de falla, lo que puede generar un costo adicional en materiales y mano de obra.



3.5. Diagrama de flujo

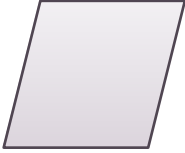

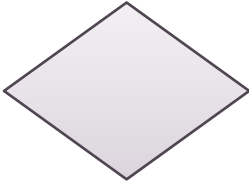
El diagrama de flujo, también conocido como diagrama de actividades, es una representación gráfica que ilustra un algoritmo o proceso, mostrando de manera secuencial y estructurada los pasos necesarios para llevar a cabo una tarea o alcanzar un objetivo determinado.

Los diagramas de flujo son herramientas esenciales, ya que proporcionan una forma visual de representar el flujo de información dentro de un sistema o proceso. Permiten realizar un análisis detallado de los procedimientos o actividades involucradas, facilitando la comprensión y evaluación de los pasos necesarios para el desarrollo de un programa o la consecución de un objetivo.

Tabla 4

Simbología de diagrama de flujo.

Símbolo	Nombre	Función
	Inicio/Final	Representa el inicio y el final de un proceso
	Línea de flujo	Indica el orden de la ejecución de las operaciones. La flecha indica la siguiente instrucción

	Entrada/Salida	Representa la lectura de datos en la entrada y la impresión de datos en la salida
	Proceso	Representa cualquier tipo de operación
	Decisión	Permite analizar una situación, con base a los valores verdadero o falso

Fuente: Damelio, R. (2011). The basics of process mapping (2nd ed.)

3.6. Cursograma analítico

El cursograma analítico es una herramienta gráfica utilizada en el ámbito de la gestión de procesos y análisis de sistemas para representar de forma estructurada y detallada los pasos que conforman un procedimiento. A través de esta representación, se busca visualizar claramente las actividades, interacciones y decisiones dentro de un proceso, permitiendo así un análisis exhaustivo de su estructura y funcionamiento. Esta herramienta es esencial en la optimización de procesos, la mejora continua y la toma de decisiones informadas en diversas áreas, incluyendo la industria, gestión empresarial, ingeniería y gestión de proyectos.

3.7. Método Ishikawa

También conocido como diagrama de causa-efecto o diagrama de espina de pescado, es una herramienta de gestión de calidad que permite identificar, organizar y visualizar de manera sistemática las posibles causas que originan un problema específico. Fue

desarrollado en 1943 por el profesor japonés Kaoru Ishikawa, reconocido como uno de los principales referentes en el ámbito del control de calidad.

Este método se representa gráficamente mediante un esquema en forma de espina de pescado, donde la “cabeza” corresponde al problema o efecto a analizar, y las “espinas mayores” representan las categorías principales de causas, que a su vez se subdividen en causas secundarias y terciarias.

Tradicionalmente, las categorías más utilizadas en la aplicación del método son conocidas como las 6M, que corresponden a:

- Método: Procedimientos, instrucciones o formas de trabajo que pueden generar errores si no se aplican correctamente.
- Mano de obra: Factores humanos como capacitación insuficiente, errores por descuido, fatiga o falta de experiencia.
- Máquina: Fallos relacionados con los equipos, herramientas, desgaste, calibración inadecuada o falta de mantenimiento.
- Material: Problemas en las materias primas, insumos o componentes empleados en el proceso.
- Medio ambiente: Condiciones externas como temperatura, iluminación, ruido, humedad o vibraciones que influyen en el desempeño.
- Medición: Errores en la calibración de instrumentos, registros incorrectos o falta de exactitud en los controles.

El diagrama de Ishikawa se utiliza ampliamente en entornos industriales y de servicios, ya que fomenta el trabajo en equipo, la participación de diferentes áreas y la identificación exhaustiva de factores que inciden en un problema. Además, constituye una herramienta clave en procesos de mejora continua, auditorías de calidad, gestión de mantenimiento y metodologías como el ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act) o Lean Manufacturing.

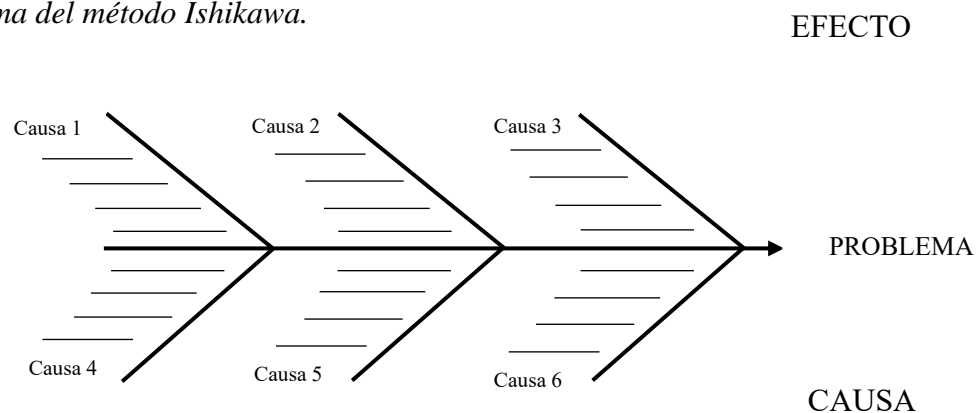
Entre sus principales ventajas se destacan:

- Permite una visión estructurada y visual de las causas de un problema.
- Favorece la identificación de relaciones causa-efecto.
- Facilita la detección de la causa raíz y no solo de los síntomas.
- Potencia el trabajo colaborativo y la discusión en equipo.

En conclusión, el método Ishikawa es una herramienta esencial dentro de la gestión de la calidad y del mantenimiento, ya que permite analizar de manera integral los factores que afectan a los equipos y procesos, sirviendo como base para diseñar estrategias correctivas y preventivas que mejoren la eficiencia operativa.

Figura 8

Esquema del método Ishikawa.



Fuente: Antony, J. The influence of quality management practices on the success of organizations.

3.8. Análisis de criticidad

El análisis de criticidad es un proceso que se utiliza para evaluar la importancia relativa de los diferentes componentes o elementos de un sistema, con el fin de identificar aquellos que tienen el mayor impacto en la operación continua y la seguridad. Según Smith y Hinchcliffe (2004), esta metodología se enfoca en determinar la probabilidad de fallos y el impacto de dichos fallos sobre el sistema completo, permitiendo así

priorizar las acciones correctivas o preventivas necesarias. El análisis de criticidad es fundamental para la gestión de mantenimiento, ya que ayuda a asignar los recursos de manera eficiente, asegurando que las intervenciones se realicen primero en los equipos más críticos, lo cual mejora la fiabilidad y disponibilidad de los sistemas. Además, este análisis permite reducir el riesgo de paradas imprevistas y mejorar la planificación de la vida útil de los equipos (Smith, D. J., & Hinchcliffe, G. (2004). *Reliability and Maintenance Engineering*).

3.9. Gestión de mantenimiento

La gestión de mantenimiento puede definirse como el conjunto de acciones técnicas, administrativas y de planificación orientadas a conservar, restaurar y optimizar los activos físicos de una organización, con el fin de asegurar que los equipos e instalaciones se mantengan en condiciones adecuadas de operación durante su ciclo de vida útil. Se trata de un proceso que no solo abarca la reparación de fallas, sino también la prevención de fallas, la optimización de recursos y la mejora continua de los sistemas productivos (Kelly, 2006).

En un sentido amplio, la gestión de mantenimiento implica coordinar el uso de mano de obra, materiales, herramientas, información y tecnologías para garantizar que los activos cumplan con los requisitos de disponibilidad, confiabilidad, seguridad y costo-eficiencia. En este marco, el mantenimiento deja de ser una actividad meramente reactiva y se transforma en un proceso estratégico que contribuye a la competitividad y sostenibilidad de las organizaciones.

Dentro de la gestión moderna del mantenimiento se consideran cuatro funciones esenciales:

1. **Planificación:** comprende la identificación de las necesidades de mantenimiento, el diseño de programas de trabajo, la asignación de recursos y la definición de objetivos específicos.

2. Programación: consiste en la calendarización de las tareas de mantenimiento, tomando en cuenta la criticidad de los equipos, la disponibilidad de la planta y la reducción de los tiempos de inactividad.
3. Ejecución: es la realización de las actividades planificadas, que pueden incluir inspecciones, reparaciones, reemplazos de componentes, ajustes, lubricación y limpieza.
4. Control y mejora: implica el seguimiento y evaluación de los resultados del mantenimiento mediante indicadores clave (como disponibilidad, confiabilidad, MTBF, MTTR y costos), así como la implementación de acciones correctivas y mejoras continuas.

La importancia de una adecuada gestión de mantenimiento radica en que permite minimizar las fallas imprevistas, mejorar la confiabilidad de los procesos, garantizar la seguridad de los trabajadores y reducir costos operativos. Además, una gestión eficiente facilita la toma de decisiones estratégicas en torno a la renovación de equipos, la adquisición de repuestos y la optimización de la vida útil de los activos.

3.9.1. Plan de mantenimiento

El plan de mantenimiento puede definirse como un documento técnico y de gestión integral que organiza y establece, de manera estructurada y organizada, todas las actividades necesarias para mantener los equipos, maquinarias e instalaciones en condiciones óptimas de operación durante su vida útil. Este plan es una herramienta clave para garantizar la disponibilidad, confiabilidad, seguridad y eficiencia de los activos físicos, y está basado en la anticipación y prevención de fallas que podrían generar paradas no programadas o pérdidas económicas debido a interrupciones en los procesos productivos (Amendola, 2003).

Los objetivos de un plan de mantenimiento no se limitan únicamente a la conservación de los equipos, sino que también buscan optimizar el uso de los recursos disponibles, reducir los costos operativos y maximizar la vida útil de los activos. La planificación de mantenimiento eficiente es un elemento estratégico que permite a las organizaciones

aumentar la productividad y minimizar el tiempo de inactividad no planificado. Además, permite asegurar que los equipos operen dentro de los estándares de calidad y en condiciones seguras para el personal, lo que contribuye directamente a la seguridad industrial.

Los componentes clave del Plan de Mantenimiento están dados por: los tipos de mantenimiento, frecuencia de las actividades, asignación de responsabilidades, gestión de recursos e indicadores de desempeño.

3.10. Matriz MEFI

Concepto de la Matriz MEFI

La Matriz de Evaluación de Factores Internos (MEFI) es una herramienta estratégica utilizada para analizar de manera sistemática los factores internos que afectan a una organización, proyecto o proceso. Su objetivo principal es identificar y evaluar tanto las fortalezas como las debilidades de la organización, considerando recursos, capacidades, habilidades y limitaciones internas que influyen en su desempeño y en la eficacia de su gestión (David, 2011; Thompson, 1998).

Factores internos

Los factores internos son aquellos elementos propios de la organización que determinan su capacidad para alcanzar objetivos. Se clasifican en fortalezas, que son aspectos positivos que la organización puede potenciar para mejorar su desempeño, y debilidades, que son limitaciones internas que requieren atención y corrección para reducir su impacto negativo (David, 2011).

Peso y calificación

En la MEFI, a cada factor interno se le asigna un peso relativo, que indica su importancia en relación con el logro de los objetivos organizacionales, y un calificador, que refleja la eficacia con la que la organización maneja cada factor. Generalmente, el

calificador se establece en una escala de 1 a 4, donde 1 representa una respuesta deficiente y 4 una respuesta superior (Thompson, 1998).

Interpretación y utilidad

El puntaje ponderado, obtenido al multiplicar el peso por la calificación, permite priorizar los factores más relevantes y evaluar de manera cuantitativa la capacidad de la organización para aprovechar sus fortalezas y corregir sus debilidades. Valores cercanos a 4 indican un manejo efectivo de los factores internos, mientras que valores cercanos a 1 reflejan áreas críticas que requieren atención. La MEFI es esencial para la planificación estratégica, ya que orienta la toma de decisiones basada en un análisis objetivo de los recursos y capacidades internas (David, 2011).

3.11. La Matriz de Poder/Interés

La Matriz de Poder/Interés es una herramienta de gestión estratégica que permite identificar, clasificar y priorizar a los actores o partes interesadas de un proyecto u organización según su nivel de influencia (poder) y el grado de interés que tienen en los resultados. Esta matriz ayuda a comprender cómo gestionar las relaciones con cada actor y planificar estrategias de comunicación y participación adecuadas (Freeman, 1984; Mendelow, 1991).

Eje del Poder

El eje del poder representa la capacidad que tiene un actor para influir en las decisiones, recursos o resultados del proyecto. Los actores con alto poder pueden afectar significativamente el éxito o fracaso del proyecto, por lo que requieren una atención especial en su gestión y comunicación. Los actores con bajo poder tienen influencia limitada y pueden ser monitoreados con menor intensidad.

Eje del Interés

El eje del interés refleja el grado de preocupación o implicación que tiene un actor respecto a los objetivos y resultados del proyecto. Los actores con alto interés están muy preocupados por lo que ocurre y desean participar o ser informados activamente. Los actores con bajo interés requieren comunicación mínima, ya que su involucramiento no afecta de manera significativa la ejecución del proyecto.

Según la posición de los actores en la matriz, se pueden identificar cuatro categorías:

- Alta influencia / Alto interés: Actores clave que deben ser gestionados de cerca y con comunicación constante.
- Alta influencia / Bajo interés: Actores poderosos que deben mantenerse satisfechos, evitando conflictos.
- Baja influencia / Alto interés: Actores interesados que requieren información periódica y participación limitada.
- Baja influencia / Bajo interés: Actores que requieren monitoreo mínimo y comunicación ocasional (Mendelow, 1991)

Figura 9

Matriz Poder/Interés.



Fuente: Bourne, L. Stakeholder relationship management.

3.12. NORMA BOLIVIANA NB 12017:2020

3.12.1. Definición

Establece los requisitos para un Sistema de Gestión de Mantenimiento de Activos (SGMA), con el objetivo de garantizar que las organizaciones planifiquen, implementen, controlen y mejoren de manera sistemática las actividades de mantenimiento de sus activos. Esta norma proporciona un marco que permite optimizar la disponibilidad, confiabilidad y vida útil de los equipos, minimizar fallas y tiempos de inactividad, y asegurar la eficiencia y eficacia en la gestión del mantenimiento, aplicable a organizaciones de cualquier tamaño y sector (IBNORCA, 2020).

3.12.2. Modelo de gestión de la Norma NB 12017

El modelo de gestión de la NB 12017:2020 se fundamenta en el ciclo PVHA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar), que facilita una gestión dinámica y orientada a resultados. En la fase de planificación, se establecen los objetivos y procesos clave del sistema de mantenimiento, considerando el contexto organizacional y las necesidades de las partes interesadas. Durante la ejecución, se implementan las acciones planificadas, mientras que en la verificación se evalúa el desempeño mediante indicadores de gestión y auditorías internas. Finalmente, en la fase de actuación, se introducen mejoras basadas en los resultados obtenidos, cerrando el ciclo de mejora continua.

3.12.3. Estructura y requisitos de la norma

La NB 12017:2020 está estructurada en diez capítulos, organizados de la siguiente manera:

Capítulos 1 al 3: Definen el objeto y campo de aplicación, las referencias normativas y los términos y definiciones necesarios para la correcta interpretación de la norma.

Capítulo 4: Aborda el contexto de la organización, incluyendo la comprensión de la misma y las necesidades de las partes interesadas.

Capítulo 5: Establece los requisitos para el liderazgo y la política de mantenimiento, asegurando el compromiso de la dirección.

Capítulo 6: Detalla la planificación del SGM, con énfasis en la gestión de riesgos y oportunidades.

Capítulo 7: Cubre el soporte necesario para el SGM, incluyendo recursos, competencias y comunicación.

Capítulo 8: Se enfoca en la operación del sistema, con lineamientos para el control operacional y la preparación para emergencias.

Capítulos 9 y 10: Establecen los requisitos para la evaluación del desempeño y la mejora continua, mediante auditorías internas y revisiones por la dirección.

Esta estructura asegura que el SGM sea integral, cubriendo desde la planificación estratégica hasta la ejecución y evaluación, promoviendo la adaptación y mejora constante del sistema.

3.12.4. Propuesta del plan de mantenimiento basado en la NB 12017:2020

La implementación de un plan de mantenimiento basado en la Norma Boliviana NB 12017:2020 se justifica por la necesidad de optimizar la gestión de activos en la organización. Este plan busca reducir los tiempos de inactividad, minimizar los costos operativos y prolongar la vida útil de los equipos, alineándose con los objetivos estratégicos de la empresa. La adopción de un sistema estructurado de mantenimiento permite mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los activos críticos, garantizando la continuidad operativa y la competitividad del negocio.

Además, el plan contribuye al cumplimiento de estándares de calidad y seguridad, mejorando la eficiencia operativa y la satisfacción de los clientes internos. La aplicación de la metodología PVHA asegura que las actividades de mantenimiento sean planificadas, ejecutadas y evaluadas de manera sistemática, facilitando la toma de decisiones basada en datos.

3.12.5. Metodología de implementación basada en la NB 12017:2020

La metodología propuesta sigue el ciclo PVHA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar), integrando los requisitos de la norma. El proceso inicia con un diagnóstico del estado actual de los activos, seguido de la planificación de actividades, ejecución, evaluación y mejora continua. La participación activa de todas las áreas de la organización es clave para asegurar el éxito del plan.

Contexto organizacional y alcance del plan

- Identificación y caracterización de los activos críticos.
- Análisis de las partes interesadas y sus necesidades.
- Delimitación del alcance y riesgos asociados.

Liderazgo y Política de Mantenimiento

- Compromiso de la dirección y asignación de responsabilidades
- Elaboración de la política de mantenimiento
- Mecanismos de comunicación y motivación del personal.

Planificación del plan de mantenimiento

Aplicación del ciclo PVHA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar)

Planificar: Establecer objetivos, metas y planes de acción, considerando los recursos disponibles y las necesidades de la organización.

Hacer: Ejecutar las actividades de mantenimiento según lo programado, utilizando procedimientos estandarizados y herramientas adecuadas.

Verificar: Monitorear el desempeño del mantenimiento mediante indicadores y auditorías internas.

Actuar: Implementar mejoras basadas en los resultados obtenidos, cerrando el ciclo de mejora continua.

Estructura y recursos para el mantenimiento

- Organigrama del departamento de mantenimiento
- Asignación de recursos humanos, materiales y financieros.
- Plan de capacitación y desarrollo del personal.

Procesos de mantenimiento propuestos

- Mantenimiento preventivo: técnicas, frecuencias y procedimientos.
- Mantenimiento correctivo: protocolos y gestión de repuestos.
- Procedimientos estandarizados y documentación técnica.
- Comunicación y seguimiento durante la ejecución.

Seguimiento, evaluación y mejora continua

- Indicadores clave de desempeño (KPIs) para el mantenimiento.
- Mecanismos de monitoreo y revisión periódica.
- Acciones correctivas y preventivas.

Documentación y gestión de la información

- Registros y trazabilidad de las intervenciones.

CAPÍTULO IV

DIAGNÓSTICO

4.1. Situación actual de la línea de producción de yogurt

Este capítulo se enfoca en analizar las condiciones actuales de la línea de producción de yogurt en la planta EBA - Planta San Lorenzo, con el propósito de identificar fallas, oportunidades de mejora y establecer una base técnica que sirva como referencia para el diseño del plan de mantenimiento preventivo propuesto en el presente estudio.

4.1.1. Diagrama de flujo de producción de yogurt

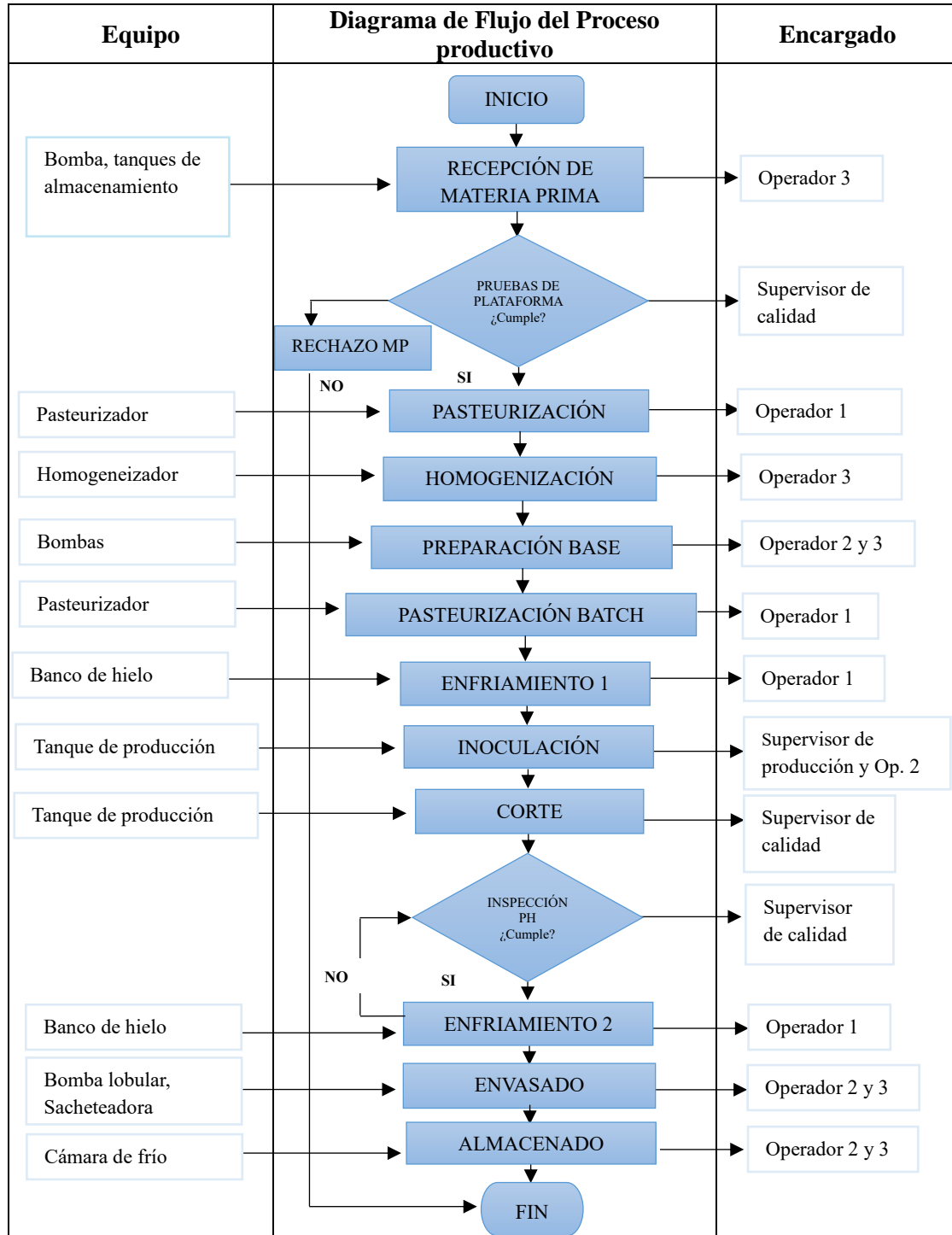
Con el fin de establecer un diagnóstico técnico más preciso, el presente estudio se enfoca en el análisis de la línea de producción de yogurt de EBA - Planta San Lorenzo, cubriendo todas las etapas del proceso, desde la recepción de la leche hasta el envasado final del producto. Para facilitar la comprensión de las etapas involucradas, se ha elaborado un diagrama de flujo que representa de manera clara, estructurada y ordenada cada uno de los pasos del proceso productivo, incluyendo las operaciones principales, los responsables de cada tarea y los equipos utilizados en cada fase.

Este diagrama de flujo no solo proporciona una representación gráfica del proceso, sino que también facilita la visualización de la interacción entre las diferentes etapas y permite identificar áreas críticas del proceso. La representación visual hace evidente el flujo de trabajo, lo que ayuda a identificar las operaciones claves que afectan directamente la eficiencia y la calidad del producto final.

Al tener una visión clara de las etapas, se pueden detectar los puntos de riesgo donde se podrían generar fallas o interrupciones, permitiendo una mejor comprensión de las interrelaciones entre las diferentes fases del proceso.

Figura 10

Diagrama de flujo combinado de la producción de yogurt.



Fuente: Elaboración propia 2025.

4.2. Descripción de los equipos de la línea de producción de yogurt

4.2.1. Bomba centrífuga

La bomba se encuentra instalada en la zona de recepción de materia prima en la planta, cumple con una función fundamental dentro del proceso, esta es la encargada de transferir la leche cruda desde la tina de recepción hasta los tanques de almacenamiento que se encuentran dentro del área de fermentados.

Cuando el vehículo con tachos de leche cruda llega a la planta, la leche es descargada y vaciada de manera manual a una tina la cual está conectada a la bomba centrífuga. Al encenderla, su motor hace girar una pieza interna llamada impulsor, que al girar con rapidez hace que la leche entre por el centro y sea empujada hacia afuera, aumentando su presión y permitiendo que avance fácilmente por las tuberías hasta el lugar donde será almacenada.

El equipo asegura un flujo constante, evitando la formación de burbujas de aire o espuma que podrían afectar la calidad del producto. La bomba está fabricada en acero inoxidable con un diseño sanitario que facilita su limpieza y evita la contaminación, y además es conectada con los sistemas CIP, lo cual permite su lavado interno sin necesidad de desmontarla. Gracias a este equipo, se garantiza una transferencia rápida, higiénica y eficiente de la leche cruda desde su recepción hasta las etapas posteriores, manteniendo las condiciones de inocuidad y calidad requeridas en EBA.

Figura 11

Imagen de la bomba centrífuga.



Fuente: DirectIndustry. “Bomba centrífuga para productos lácteos” 2025.

4.2.2. Tanque de almacenamiento

Los tanques de almacenamiento de la planta son equipos fabricados de acero inoxidable grado alimenticio, estos equipos se encargan de recepcionar, almacenar y conservar la leche cruda que es entregada por los proveedores, de la misma manera la leche pasteurizada bajo condiciones higiénicas y de temperatura controlada.

La función principal es mantener la calidad del producto evitando su contaminación y asegurando su estabilidad hasta la siguiente etapa del proceso, también tienen agitadores internos que garantizan la homogeneidad del producto y evitan la separación de la grasa.

Su limpieza se realiza mediante un sistema CIP, que asegura la desinfección automática del interior sin necesidad de desmontarlo.

Figura 12

Imagen del tanque de almacenamiento.



Fuente: Sepak Industries – Full Product Catalogue 2025.

4.2.3. Pasteurizador

El pasteurizador de la planta es un equipo fundamental dentro del proceso productivo, diseñado para eliminar microorganismos patógenos y reducir la carga microbiana de la leche mediante la aplicación controlada de calor. Su función principal es asegurar la

inocuidad del producto, preservando al mismo tiempo sus propiedades nutricionales y organolépticas.

El pasteurizador cuenta con bombas de impulsión, válvulas automáticas, intercambiadores de calor, sensores de temperatura, manómetros, termorreguladores y un panel de control, que permite monitorear los parámetros de operación y registrar las condiciones del proceso. Además, posee válvulas de seguridad y desvío automático, que redirigen la leche hacia el tanque de retorno en caso de que la temperatura no alcance el nivel requerido para garantizar la pasteurización.

En la primera pasteurización se realiza a la leche cruda, el equipo opera en un circuito cerrado, donde la leche se calienta hasta una temperatura de aproximadamente 72–75 °C durante 15 a 20 segundos, y posteriormente se enfría rápidamente a 4 °C, evitando su contaminación.

Figura 13

Imagen del equipo pasteurizador.



Fuente: Sepak Industries – Full Product Catalogue 2025.

4.2.4. Homogeneizador

El homogeneizador de la planta procesadora de leche EBA San Lorenzo es un equipo esencial dentro del proceso lácteo, cuya función principal es reducir y uniformar el tamaño de los glóbulos de grasa presentes en la leche o en las mezclas lácteas, logrando una distribución homogénea del contenido graso y una textura más estable y cremosa

en el producto final. Este proceso evita la separación de la nata y mejora la calidad sensorial y la digestibilidad del producto.

El equipo está fabricado en acero inoxidable grado alimenticio y funciona mediante un sistema hidráulico de alta presión. La leche que ya está previamente pasteurizada es impulsada por una bomba de pistones hacia una válvula homogeneizadora, donde es sometida a presiones que pueden variar entre 1.500 y 2.500 psi.

El homogeneizador requiere limpieza diaria mediante el sistema CIP, además de revisiones periódicas de las válvulas, sellos, pistones, empaques, manómetros y sistema de lubricación.

Figura 14

Imagen del equipo homogeneizador.



Fuente: Sepak Industries – Full Product Catalogue 2025.

4.2.5. Tanques de producción

Los tanques de producción también llamados tanques de fermentación son equipos diseñados para realizar el proceso de fermentación controlada del yogurt, estos tanques permiten mantener condiciones higiénicas y térmicas adecuadas para el desarrollo de los cultivos lácticos. En el proceso, la leche pasteurizada y homogeneizada se deposita en estos tanques, donde se inoculan los cultivos lácticos. Luego, el producto se mantiene a una temperatura entre 40 °C y 45 °C durante el tiempo entre 4 a 6 horas,

permitiendo que las bacterias conviertan la lactosa en ácido láctico, lo que provoca la coagulación y formación del yogurt. Finalizada la fermentación, el tanque pasa al modo de enfriamiento, reduciendo la temperatura, para detener la actividad bacteriana y conservar la textura deseada antes del envasado.

Cada tanque está fabricado en acero inoxidable grado alimenticio, lo que garantiza resistencia a la corrosión, fácil limpieza y cumplimiento de normas sanitarias.

Su diseño incluye una chaqueta de refrigeración y calentamiento para la circulación de agua caliente o fría. Además, cuentan con agitadores internos de baja velocidad, que aseguran una mezcla uniforme del yogurt durante la fermentación o enfriamiento.

Figura 15

Imagen del tanque de producción.



Fuente: Nutrinex Machine – Dairy Processing Plant and Machines 2025.

4.2.6. Bomba lobular

La bomba lobular está diseñada para transferir productos de alta viscosidad y delicados, como el yogurt o mezclas lácteas, sin alterar su estructura ni calidad. Este tipo de bomba se caracteriza por su capacidad de mover el producto de forma suave y continua, manteniendo la integridad del alimento y evitando la incorporación de aire durante el transporte.

Su funcionamiento se basa en dos lóbulos rotativos que giran en direcciones opuestas dentro de una cámara. A medida que los lóbulos giran, se crean cavidades de succión en el lado de entrada, que aspiran el producto, y luego lo impulsan hacia la salida.

La bomba está fabricada en acero inoxidable sanitario, con sellos mecánicos higiénicos, que facilitan su desmontaje y limpieza. Además, cumple con las normas sanitarias de la industria alimentaria

Figura 16

Imagen de la bomba lobular.



Fuente: Alfa Laval 2025.

4.2.7. Cinta transportadora

La cinta transportadora es un equipo mecánico-electromecánico diseñado para el traslado de envases de manera continua y controlada. Está fabricada en acero inoxidable AISI 304, lo que le proporciona resistencia a la corrosión, facilidad de limpieza, durabilidad y cumplimiento de normas de higiene alimentaria.

La estructura incluye una banda transportadora, poleas motrices y de retorno, rodillos de soporte y motores eléctricos que permiten el movimiento de la banda de forma confiable y uniforme.

La banda y los rodillos están diseñados para soportar cargas constantes y ofrecer superficies resistentes a la abrasión y fáciles de desinfectar. Además, el equipo puede incorporar sensores de control para monitorear la posición y velocidad de la banda, garantizando seguridad y precisión en la operación.

Figura 17

Imagen de la cinta transportadora.



Fuente: EBA - Planta San Lorenzo 2025.

4.2.8. Tolva de envasado

Este equipo está diseñado para el llenado de envases de yogurt, integrando una tolva de almacenamiento con boquillas de dosificación operadas manualmente. Está fabricado en acero inoxidable AISI 304, lo que garantiza su compatibilidad con productos alimenticios y facilita la limpieza.

El equipo incluye varias boquillas de dosificación, cada una equipada con válvulas de control manual que permiten ajustar de forma precisa el flujo del yogurt. Este sistema asegura un llenado exacto y uniforme en cada envase.

El equipo también incorpora un agitador interno que mantiene el yogurt en movimiento, evitando que se formen sedimentos o separaciones y asegurando una consistencia homogénea durante el proceso de llenado.

Figura 18

Imagen de la tolva de envasado.



Fuente: Sepak Industries – Full Product Catalogue 2025.

4.2.9. Codificadora Videojet

Es un equipo industrial diseñado para realizar la impresión de información variable sobre los envases de productos alimenticios, tales como fechas de caducidad, números de lote y códigos de trazabilidad. En la línea de producción de yogurt, esta codificadora cumple un papel esencial al garantizar que cada envase cuente con la información necesaria para el cumplimiento de las normas sanitarias y regulatorias, asegurando así la correcta distribución y comercialización del producto.

Este equipo opera mediante tecnología de inyección de tinta de alta precisión, permitiendo imprimir sobre diversos tipos de materiales de envase, como plástico flexible, cartón y vidrio.

Su velocidad y confiabilidad están alineadas con el ritmo de producción de la línea, de manera que no interrumpe el flujo de trabajo y mantiene la integridad de la información impresa en cada unidad de yogurt.

Figura 19

Imagen de la codificadora Videojet.



Fuente: Videojet Technologies. “Industrial Coding and Marking Solutions.” 2055.

4.2.10. Sacheteadoras

El equipo está fabricado en acero inoxidable grado alimenticio (AISI 304) y funciona mediante un sistema form-fill-seal: el film plástico se forma en tubo, se llena con el volumen exacto de yogurt a través de mangas de dosificación, y se realiza el sellado longitudinal y transversal para obtener los sachets individuales.

1. **Sacheteadora de 2 mangas:** este equipo permite llenar simultáneamente dos líneas de sachets, lo que duplica la capacidad de producción y mejora la eficiencia. Está diseñado para manejar grandes volúmenes de yogurt, asegurando una alta velocidad de envasado. La máquina utiliza un sistema form-fill-seal, donde el film plástico se forma en un tubo, se llena con yogurt a través de las mangas de dosificación y se sella longitudinal y transversalmente. Esto garantiza un llenado preciso y sellado hermético, lo que prolonga la frescura del producto y mejora su conservación.

Sacheteadora de 1 manga: este equipo es ideal para lotes más pequeños o volúmenes específicos de yogurt. Utiliza una sola manga de dosificación para llenar los sachets, lo que ofrece mayor flexibilidad en la producción. Aunque tiene una capacidad menor en comparación con la máquina de 2 mangas.

Proceso de Funcionamiento (Form-Fill-Seal): ambos equipos operan mediante el proceso form-fill-seal, donde el film plástico se forma en un tubo, se llena con el yogurt a través de las mangas de dosificación y luego se sella para formar sachets individuales. Este sistema asegura que el llenado sea preciso, que el producto esté herméticamente sellado y que el yogurt permanezca fresco hasta el momento del consumo.

Figura 20

Imagen de la sacheteadora simple.



Fuente: Sepak Industries – Full Product Catalogue 2025.

4.2.11. Caldero

El caldero está fabricado en acero al carbono de alta resistencia, diseñado para soportar altas presiones y temperaturas. Su estructura principal incluye varios componentes clave que permiten su funcionamiento eficiente y seguro. La cámara de combustión es donde se lleva a cabo la combustión del gas, generando calor que es transferido al agua a través de tubos intercambiadores de calor, convirtiendo el agua en vapor a alta presión. El tanque de agua almacena el agua de alimentación que, al entrar en contacto con los tubos intercambiadores, se convierte en vapor.

El caldero también cuenta con un quemador altamente eficiente que asegura la combustión del gas para generar la energía térmica necesaria, y una chimenea de salida

de gases que expulsa los gases generados en el proceso de combustión, manteniendo el ambiente seguro y controlado.

Además, está equipado con sistemas de control y seguridad que supervisan continuamente el funcionamiento del caldero, garantizando su operación segura y evitando riesgos como sobrepresiones o temperaturas excesivas.

Figura 21

Imagen del caldero.



Fuente: EBA -Planta San Lorenzo 2025.

4.2.12. Chiller

El chiller de la planta también es un equipo de refrigeración diseñado para enfriar agua, que luego se utilizan para mantener temperaturas bajas en los tanques de almacenamiento, líneas de pasteurización y en los procesos de elaboración de yogurt. Su función principal es extraer el calor del fluido de proceso, garantizando que la leche o el yogurt se conserven a la temperatura adecuada para mantener su calidad e inocuidad.

El equipo está construido en acero inoxidable y materiales anticorrosivos, con aislamiento térmico para evitar pérdidas de frío, el agua enfriada que produce el chiller suele tener una temperatura de salida de 1 a 4 °C, la cual se almacena en el banco de hielo.

Figura 22

Imagen del chiller.



Fuente: INOXPA – Industrias lácteas 2025.

4.2.13. Banco de frío

Es un equipo del sistema de refrigeración, la función principal es producir, almacenar y suministrar agua helada para los procesos que requieren control térmico, como ser el enfriamiento de la leche en los tanques de almacenamiento, el sistema de pasteurización y el circuito CIP y al momento de realizar el envasado.

El banco de hielo está compuesto por un tanque de acero inoxidable o acero al carbono revestido, que contiene una solución de agua con anticongelante. En su interior se ubican tubos o serpentines de acero inoxidable por los cuales circula gas refrigerante, al enfriar la superficie de estos serpentines, el agua que los rodea se congela parcialmente, formando una capa de hielo alrededor de los tubos.

Figura 23

Imagen del banco de frío.



Fuente: EBA – Planta San Lorenzo 2025.

Tabla 4

Tabla de equipos involucrados en el proceso de producción de yogurt.



N.º	Nombre	Operación	Código	Antig. (años)	Cant.	Origen/ Proveedor
1	Bomba centrífuga de recepción de MP	Trasportar líquidos	RPM-BOM-03	12	1	Italia
2	Tanques de almacenamiento	Guardar y conservar la MP	FER-TAN-01 FER-TAN-02	12	2	Bolivia
3	Pasteurizador	Eliminar microorganismos patógenos presentes en la MP	FER-PAS-07	17	1	Irán
4	Homogeneizador	Homogenizar las partículas de MP	FER-HOM-08	17	1	Irán
5	Tanques de producción	Fermentación controlada del yogurt	FER-TAN-03 FER-TAN-04 FER-TAN-05 FER-TAN-06	12	4	Bolivia
6	Bomba lobular	Trasportar productos viscosos	FER-BLO-11	12	1	Italia
7	Cinta transportadora	Trasladar envases continuamente	ALM-CTR-02	12	1	China
8	Tolva de envasado	Almacenar y dosificar	FER-TOL-01	12	1	Bolivia
9	Codificadora Videojet	Imprimir información variable	ALM-CTR-01	1	1	China
10	Sacheteadora simple	Envasar yogurt en pequeños sachets	FER-SAC-09	17	1	Irán
11	Sacheteadora doble	Envasar yogurt en pequeños sachets	FER-SAC-10	17	1	Irán
12	Cardero de valor	Proporcionar vapor al área de fermentados	SER-CAL-02	12	1	Irán
13	Banco de hielo	Enfriar agua para el proceso de fermentados	SER-BAH-03	12	1	Irán
14	Chiller	Enfriar al retorno de agua helada	SER-CHI-04	12	1	Bolivia

Fuente: Información proporcionada por EBA - Planta San Lorenzo. Elaboración propia 2025.

Tabla 5

Equipos complementarios.

NOMBRE	IMAGEN	DESCRIPCIÓN
Balanza industrial		Es utilizada para pesar cada uno de los moldes de queso y registrar cuanto es el resultado obtenido del batch.
Balanza		Se utiliza al momento de cortar el queso a 500 gramos cada unidad y también los descartes.
Mesas		La mesa de trabajo se utiliza en industrias lácteas de menor tamaño, donde predominan las operaciones manuales
Tachos para homogenizar los insumos		Son tanques de acero de 50 litros que se utiliza para diluir el azúcar y los demás insumos antes de incorporar a los tanques grandes.
Tachos		Se utilizan más que todo para la desinfección de las botellas antes de envasar.
Baldes		Son usados para lavar todo tipo de materiales como trapos, currillos, etc. También los de 50 litros son utilizados para obtener los derrames al momento de envasar.

Phmetro para leche cruda y yogurt		Se utiliza en laboratorio para conocer el pH y la temperatura del yogurt como también de la leche.
Lactosan		Equipo de laboratorio que sirve para conocer todas las características que tiene la leche que se está almacenando.
Termómetro		Permite el control rápido y sencillo de la temperatura, durante el proceso de fabricación como de producto acabado.



Fuente: EBA – Planta San Lorenzo 2025.

4.2.14. Herramientas de apoyo de mantenimiento

El presente cuadro muestra con detalle las herramientas empleadas para el mantenimiento de los equipos.

Tabla 6

Herramientas empleadas para el mantenimiento de los equipos.

DESCRIPCIÓN	IMAGEN	DESCRIPCIÓN
Soldadura TIG		Técnica de soldadura que utiliza un electrodo de tungsteno no consumible para fundir los metales.
Manómetro portátil		Dispositivo portátil usado para medir la presión de gases o líquidos en sistemas cerrados.

Llaves combinadas		Con un extremo de llave fija y otro de llave de boca, útil para apretar o aflojar tuercas.
Llaves Allen		En forma de "L" que se usa para apretar o aflojar tornillos con cabezas hexagonales.
Destornilladores cruz		Utilizada para apretar o aflojar tornillos con una ranura en cruz.
Martillo de goma		Con cabezas de goma, utilizado para golpear sin dañar las superficies delicadas.
Destornilladores planos		Con una hoja plana para apretar o aflojar tornillos de ranura recta.
Alicate pinza		Utilizada para sujetar o manipular objetos, ajustable en tamaño.
Pinzas		Usada para sujetar, doblar o cortar materiales.

Mascara de soldar		Equipo de protección utilizado para proteger los ojos y la cara de las chispas y radiación de la soldadura.
Taladro		Utilizado para perforar materiales como madera, metal o plástico.
Amoladora		Utilizado para pulir, cortar o desbastar materiales con discos abrasivos.
Cinta métrica		Flexible y enrollable, utilizada para medir longitudes o distancias.
Juego de dados		Conjunto de piezas con forma hexagonal o cuadrada, utilizadas con una llave para apretar o aflojar tuercas y pernos.
Extractor de rodamientos		Utilizada para retirar rodamientos de ejes o alojamientos sin dañarlos.
Tester		Dispositivo electrónico utilizado para medir magnitudes como voltaje, corriente y resistencia.

Fuente: Información proporcionada por EBA - Planta San Lorenzo 2025.

4.2.15. Materiales de apoyo de mantenimiento

El presente cuadro despliega con detalle los materiales empleados en las labores de mantenimiento para los equipos.

Tabla 7

Materiales empleados para el mantenimiento.

NOMBRE	IMAGEN	DESCRIPCIÓN
Cinta aislante		Cinta adhesiva usada para aislamiento eléctrico, previene cortocircuitos y protege cables.
Sellador, (siliconas)		Sellante para juntas y grietas, ofrece resistencia al agua, aire y polvo.
Aceite fg 100		Aceite lubricante para maquinaria industrial y sistemas hidráulicos, con alta viscosidad.
Aceite vg 320		Aceite de alta viscosidad para sistemas hidráulicos, mejora eficiencia y protección de equipos.
Electrodo de tungsteno		Electrodo para soldadura TIG, resistente a altas temperaturas, mejora la estabilidad del arco.

Gas de protección		Gas inerte (argón, helio) usado en soldadura para proteger piezas y electrodos de contaminantes.
Alcohol		Líquido desinfectante y limpiador, usado en la preparación y limpieza de superficies y equipos.
Cepillos		Herramienta para limpiar superficies, eliminar polvo o residuos.
Esponjas		Material absorbente usado para limpiar y secar superficies en entornos industriales.
Guantes térmicos		Guantes que protegen del calor extremo, ideales para soldadura y trabajos de alta temperatura.
Paños industriales		Tela absorbente y resistente para limpiar y secar superficies en entornos industriales.

Fuente: Información proporcionada por EBA - Planta San Lorenzo 2025.

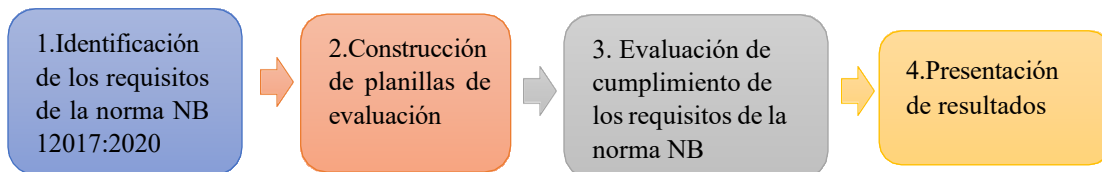
4.3. Diagnóstico de la situación actual de la empresa según el cumplimiento de los requisitos de la norma NB 12017:2020

El objetivo de esta sección es identificar y medir en qué grado las actividades diarias de la empresa, en el área de mantenimiento, cumplen con los requerimientos establecidos por la norma. Esto permite determinar la brecha entre la gestión de mantenimiento actual y el modelo propuesto por la NB 12017:2020.

4.3.1. Metodología

La metodología se estructura en cuatro etapas. En la primera, se identifican todos los requisitos establecidos en la norma NB 12017:2020 que son aplicables a EBA - Planta San Lorenzo. En la segunda etapa, se diseñan, mediante hojas de cálculo, planillas para la evaluación y visualización de los resultados. La tercera etapa consiste en evaluar el cumplimiento de los requisitos de la NB 12017:2020 por parte de la empresa. Finalmente, la cuarta etapa se centra en la presentación de los resultados y la elaboración del informe de cumplimiento de los requisitos.

Etapas para la evaluación de cumplimiento de requisitos de la NB 12017.



Se hizo una adecuación a la metodología original ya que la misma es usualmente aplicada para la evaluación de cumplimiento de requisitos de la norma ISO 9001:2015.

4.3.2. Identificación de requisitos, evaluación y diagnóstico de la NB 12017:2020

De acuerdo con el procedimiento planteado y atendiendo a la primera etapa, se determinan todos los requisitos de la norma NB 12017:2020 que son relevantes y aplicables a EBA - Planta San Lorenzo. El cuadro siguiente muestra el nivel de cumplimiento, expresado en porcentajes, de los requisitos de cada capítulo de la norma NB 12017:2020 según el diagnóstico realizado. (Ver Anexo 3).

Este diagnóstico proporciona una visión clara de las áreas en las que la organización cumple con los requisitos de la norma, así como aquellas que requieren atención inmediata a mejorar.

Tabla 8

Cumplimiento de requisitos de la NB 12017:2020.

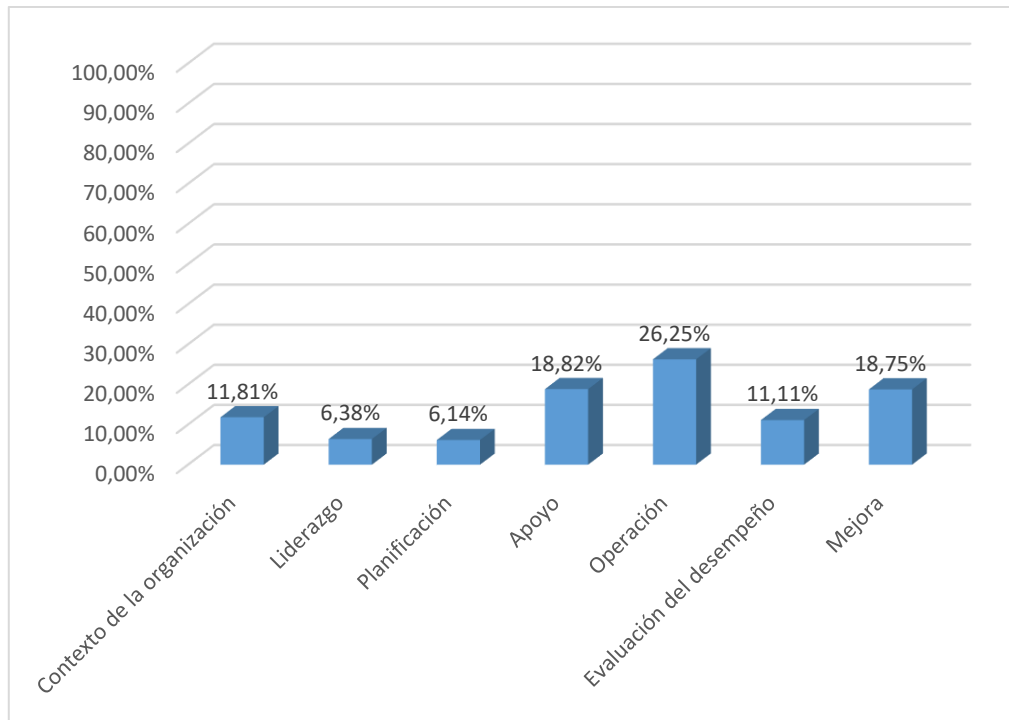
Cap.	Nombre	Nro. de requisitos	Nro. de requisitos cumplidos	% de cumplimiento
4	Contexto de la organización	24	3	11,81%
5	Liderazgo	22	1	6,38%
6	Planificación	25	2	6,14%
7	Apoyo	37	7	18,82%
8	Operación	5	1	26,25%
9	Evaluación del Desempeño	20	2	11,11%
10	Mejora	6	1	18,75%
Total de requisitos		139	16	14,18

Fuente: Elaborado en base a la Norma Boliviana NB 12017:2020 “Sistemas de Gestión de mantenimiento de Activos- Requisitos”.

Todos los capítulos evaluados presentan porcentajes de cumplimiento inferiores al 27%, el bajo nivel de cumplimiento actual revela importantes brechas en la gestión de activos, lo que probablemente se traduce en mayores costos por fallas imprevistas, menor disponibilidad de equipos y riesgos operativos elevados.

Figura 24

Histograma del cumplimiento de requisitos NB 12017.



Fuente: Elaboración propia 2025.

De acuerdo con los resultados de la evaluación, el actual sistema de gestión de mantenimiento de la empresa alcanza únicamente un 14,18 % de cumplimiento con los requisitos establecidos en la norma NB 12017:2020.

No debe pasar desapercibido que los capítulos 5 (liderazgo), 6 (planificación) y 9 (evaluación de desempeño), son aquellos campos de la norma que menos se ajustan con al actual estilo de trabajo del área de mantenimiento de la planta y son, por ende, aquellos puntos los que más atención demandarán.

4.4. Selección de equipos críticos

La selección de equipos críticos es un proceso fundamental dentro del mantenimiento, cuyo objetivo es identificar aquellos equipos que presentan un mayor índice de fallas y que, debido a su impacto en la producción, seguridad o calidad, requieren una atención especial. Esta selección se basa en un análisis detallado de las fallas pasadas.

4.4.1. Datos de los equipos de la línea de producción de yogurt

Tabla 9

Datos de la bomba centrífuga de recepción de MP.

Nº	Tipo de falla	Número de fallas semestre	T. prom. parada (min.)	T. total parada semestral (min.)
1	Ajuste hidráulico	1	510,00	510,00
2	Cambio de sellos internos	1	105,00	105,00
TOTAL		2	615,00	615,00

Fuente: Información proporcionada por EBA - Planta San Lorenzo. Datos primer semestre del año 2025. Elaboración propia.

El análisis de fallas muestra que la bomba centrífuga de recepción de materia prima presenta dos tipos de fallas durante el semestre, evidenciando que no existen fallas repetitivas, pero sí una dispersión de problemas que requiere atención. El ajuste hidráulico provoca un tiempo promedio de parada de 510,00 minutos, mientras que el cambio de sellos internos alcanza 105,00 minutos por intervención. En conjunto, el tiempo total semestral de parada es de 615,00 minutos, equivalente a 10,25 horas, siendo el ajuste hidráulico la falla de mayor criticidad.

Tabla 10

Datos de los tanques de almacenamiento.

Nº	Tipo de falla	Número de fallas semestre	T. prom. parada (min.)	T. total parada semestral (min.)
1	Reacondicionamiento del pasador	1	315,00	315,00
TOTAL		1	315,00	315,00

Fuente: Información proporcionada por EBA - Planta San Lorenzo. Datos primer semestre del año 2025. Elaboración propia.

Durante el período evaluado, los tanques de almacenamiento presentan una intervención registrada durante el semestre. La falla corresponde al reacondicionamiento del pasador, la cual provoca un tiempo de parada de 315,00 minutos, siendo la operación más extensa y necesaria para mantener la seguridad y la integridad estructural de los tanques.

El tiempo total semestral de parada es de 315,00 minutos, equivalente a 5,25 horas, lo que indica que, aunque la frecuencia de fallas es baja, la duración de la intervención impacta de manera significativa la disponibilidad del equipo.

Tabla 11

Datos del pasteurizador.

Nº	Tipo de falla	Número de fallas semestre	T. prom. parada (min.)	T. total parada semestral (min.)
1	Cambio de pulsador del tablero	1	279,60	279,60
2	Lubricación de rodamientos	4	172,50	690,00
3	Cambio de empaques	7	360,00	2.520,00
4	Cambio de sellos mecánicos	5	109,08	545,40
5	Alineación del ventilador de la bomba de agua caliente	1	64,80	64,80
TOTAL		18	985,98	4.099,8

Fuente: Información proporcionada por EBA - Planta San Lorenzo. Datos primer semestre del año 2025. Elaboración propia.

Durante el semestre, el pasteurizador presenta cinco tipos de fallas, con una frecuencia total de 18 eventos, lo que refleja una incidencia moderada de fallas y una diversidad de causas mecánicas y operativas. El cambio de empaques se destaca como la intervención más recurrente, con siete ocurrencias, seguido por el cambio de sellos mecánicos con cinco eventos.

El tiempo total de parada acumulado asciende a 4.099,80 minutos, equivalentes a 68,33 horas, siendo el cambio de empaques la falla más crítica, con 2.520,00 minutos, lo que representa aproximadamente el 61,5 % del tiempo total de inactividad.

Le sigue la lubricación de rodamientos, con 690,00 minutos acumulados, evidenciando la necesidad de fortalecer las rutinas de engrase para reducir el desgaste por fricción. El cambio de sellos mecánicos, con 545,40 minutos, también tiene un impacto relevante, ya que estos componentes son esenciales para evitar fugas y mantener la presión interna del sistema.

Por otro lado, las intervenciones como el cambio de pulsador del tablero y la alineación del ventilador de la bomba de agua caliente, aunque menos frecuentes, son indispensables para garantizar la operatividad eléctrica y la eficiencia térmica del equipo. En conjunto, la información evidencia que las tareas de mantenimiento preventivo enfocadas en empaques, rodamientos y sellos mecánicos son fundamentales para optimizar la disponibilidad y confiabilidad del pasteurizador durante la operación continua.

Tabla 12

Datos del homogeneizador.

Nº	Tipo de falla	Número de fallas semestre	T. prom. parada (min.)	T. total parada semestral (min.)
1	Cambio de retenes	7	229,00	1.603,00
2	Cambio de O -rings a válvula de impacto	6	136,00	816,00
3	Cambio de correas	6	155,00	930,00
4	Cambio de soportes	1	120,00	120,00
TOTAL		20	640,00	3.469,00

Fuente: Información proporcionada por EBA - Planta San Lorenzo. Datos primer semestre del año 2025. Elaboración propia.

Durante el período de análisis, el homogeneizador presentó cuatro tipos de fallas, con un total de 20 intervenciones registradas en el semestre. Las fallas más frecuentes

fueron el cambio de retenes (7 veces), el cambio de O-rings a la válvula de impacto (6 veces) y el cambio de correas (6 veces), mientras que el cambio de soportes se presentó solo una vez. Esta distribución evidencia que ciertos componentes principalmente retenes, O-rings y correas son los más susceptibles al desgaste y requieren mantenimiento más recurrente. Por otro lado, el cambio de soportes, aunque poco frecuente, implica un trabajo más especializado para garantizar la correcta alineación y estabilidad del equipo.

El cambio de retenes, con un tiempo total de 1.603,00 minutos, fue la intervención más repetida, le sigue el cambio de correas, con 930,00 minutos acumulados, cuya función es esencial para la transmisión de potencia. Por su parte, el cambio de O-rings representó 816,0 minutos de parada, lo que subraya la necesidad de mantener un sellado óptimo para evitar fugas y pérdida de presión. Finalmente, el cambio de soportes demandó 120,0 minutos, asegurando la estabilidad estructural del homogeneizador.

En conjunto, las intervenciones acumulan un tiempo total de parada de 3.469,00 minutos, equivalente a 57,81 horas, lo que impacta de manera significativa en la disponibilidad operativa del homogeneizador.

Tabla 13

Datos de los tanques de producción

Nº	Tipo de falla	Número de fallas semestre	T. prom. parada (min.)	T. total parada semestral (min.)
1	Cambio de rodamiento	1	90,00	90,00
TOTAL		1	90,00	90,00

Fuente: Información proporcionada por EBA - Planta San Lorenzo. Datos primer semestre del año 2025. Elaboración propia.

En el período analizado, el tanque de producción registró una sola intervención, correspondiente al cambio de rodamiento, con un tiempo de parada de 90,00 minutos. Aunque la falla fue única, su atención fue necesaria para mantener la operación confiable del equipo.

El cambio de rodamiento es una operación mecánica esencial que garantiza el correcto funcionamiento de los componentes giratorios, previniendo desgastes adicionales y posibles daños en otras partes del tanque.

Tabla 14

Datos de la bomba lobular

Nº	Tipo de falla	Número de fallas semestre	T. prom. parada (min.)	T. total parada semestral (min.)
1	Inspección y limpieza	1	108,60	108,60
2	Arranque provisional de bomba lobular	1	300,00	300,00
TOTAL		2	408,60	408,60

Fuente: Información proporcionada por EBA - Planta San Lorenzo. Datos primer semestre del año 2025. Elaboración propia.

En este período de evaluación, la bomba lobular presentó 2 tipos de fallas, cada una con una sola intervención, sumando un total de 408,60 minutos de parada. Esto indica que, aunque la frecuencia de fallas es baja, cada evento tiene un impacto significativo en la disponibilidad del equipo.

La inspección y limpieza, con 108,60 minutos de duración, Por su parte, el arranque provisional de la bomba lobular, con un tiempo de 300,00 minutos.

Tabla 15

Datos de la cinta transportadora.

Nº	Tipo de falla	Número de fallas semestre	T. prom. parada (min.)	T. total parada semestral (min.)
1	Inspección y limpieza de la banda transportadora	1	150,00	150,00
TOTAL		1	150,00	150,00

Fuente: Información proporcionada por EBA - Planta San Lorenzo. Datos primer semestre del año 2025. Elaboración propia.

En este período de evaluación, la cinta transportadora presentó 1 tipo de falla con 1 intervención, sumando un total de 150,00 minutos de parada. Esto indica que, aunque la frecuencia de fallas es baja, cada evento tiene un impacto significativo en la disponibilidad del equipo.

Tabla 16

Datos de la tolva de envasado.

Nº	Tipo de falla	Número de fallas semestre	T. prom. parada (min.)	T. total parada semestral (min.)
1	Reparación de válvulas	1	120,00	120,00
TOTAL		1	120,00	120,00

Fuente: Información proporcionada por EBA - Planta San Lorenzo. Datos primer semestre del año 2025. Elaboración propia.

La tolva de envasado presentó 1 tipo de falla con 1 intervención, sumando un total de 120,00 minutos de parada. Esto indica que, aunque la frecuencia de fallas es baja, cada evento requiere tiempo considerable para restablecer el funcionamiento.

Tabla 17

Datos de la codificadora Videojet

Nº	Tipo de falla	Número de fallas semestre	T. prom. parada (min.)	T. total parada semestral (min.)
1	Limpieza printhead	1	169,80	169,80
TOTAL		1	169,80	169,80

Fuente: Información proporcionada por EBA - Planta San Lorenzo. Datos primer semestre del año 2025. Elaboración propia.

La codificadora Videojet registró 1 falla, limpieza de printhead, con 1 intervención, generando 169,80 minutos de parada. Pese a su baja frecuencia, esta falla afecta directamente la trazabilidad y el cumplimiento normativo del yogur envasado.

Tabla 18

Datos de las sacheteadora simple.

N°	Tipo de falla	Número de fallas semestre	T. prom. parada (min.)	T. total parada semestral (min.)
1	Calibración de sellado	2	142,50	285,00
2	Ajuste de codificador térmico	4	180,00	720,00
3	Cambio de resistencia eléctrica	2	180,00	360,00
TOTAL		8	502,50	1.365,00

Fuente: Información proporcionada por EBA - Planta San Lorenzo. Datos primer semestre del año 2025. Elaboración propia.

La sacheteadora simple presenta tres tipos principales de fallas durante el primer semestre de 2025, con un total de ocho intervenciones registradas. Las fallas identificadas son la calibración de sellado, el ajuste de codificador térmico y el cambio de resistencia eléctrica. Aunque no ocurren con frecuencia extremadamente alta, generan tiempos de parada significativos que afectan la disponibilidad del equipo y la eficiencia operativa de la línea de envasado en la planta San Lorenzo.

El ajuste de codificador térmico es la falla más frecuente (cuatro intervenciones, 50% del total), con 180,00 minutos promedio por parada, sumando 720,00 minutos (52,75% del downtime total). El cambio de resistencia eléctrica ocurre en dos ocasiones, con 180 minutos promedio, totalizando 360,00 minutos (26,37%). La calibración de sellado también registra dos intervenciones, pero con 142,50 minutos promedio, acumulando 285,00 minutos (20,88%).

En total, las paradas suman 1.365,00 minutos (22,75 horas), lo que representa un impacto relevante en la productividad. El ajuste del codificador térmico destaca como la causa crítica principal y requiere atención prioritaria mediante mantenimiento preventivo y análisis de causas raíz.

Tabla 19

Datos de las sacheteadora doble.

Nº	Tipo de falla	Número de fallas semestre	T. prom. parada (min.)	T. total parada semestral (min.)
1	Calibración de sellado	5	156,00	780,00
2	Cambio de resistencia eléctrica	3	96,60	289,80
3	Ajuste de codificador térmico	1	150,00	150,00
4	Cambio de reten	1	120,00	120,00
TOTAL		10	522,60	1.339,80

Fuente: Información proporcionada por EBA - Planta San Lorenzo. Datos primer semestre del año 2025. Elaboración propia.

La sacheteadora doble registra cuatro tipos de fallas principales en el primer semestre de 2025, alcanzando un total de diez intervenciones. Entre las fallas detectadas destacan la calibración de sellado, el cambio de resistencia eléctrica, el ajuste de codificador térmico y el cambio de reten. Si bien varias de estas ocurren de manera esporádica, cada intervención implica tiempos de parada considerables que reducen la disponibilidad del equipo y comprometen la eficiencia de la línea de envasado en la planta San Lorenzo.

La calibración de sellado lidera como la más recurrente (cinco intervenciones, 50% del total), con un promedio de 156 minutos por parada, acumulando 780,00 minutos y representando el 58,24% del tiempo total de inactividad. Le sigue el cambio de resistencia eléctrica, con tres casos (30%), un promedio de 96,60 minutos y 289,80 minutos totales (21,64%). El ajuste del codificador térmico y el cambio de reten se presentan solo una vez cada uno, aportando 150,00 minutos (11,19%) y 120,00 minutos (8,96%), respectivamente.

El tiempo total de parada asciende a 1.339,80 minutos, equivalentes a 22,33 horas, la calibración de sellado se consolida como el factor crítico dominante.

Tabla 20*Datos del caldero.*

N°	Tipo de falla	Número de fallas semestre	T. prom. parada (min.)	T. total parada semestral (min.)
1	Ajuste de sensor de llama	1	120,00	120,00
TOTAL		1	120,00	120,00

Fuente: Información proporcionada por EBA - Planta San Lorenzo. Datos primer semestre del año 2025. Elaboración propia.

El caldero presenta una única intervención, correspondiente al ajuste del sensor de llama, con un tiempo de parada de 120,00 minutos. Aunque la intervención es breve, resulta fundamental para garantizar la seguridad y el correcto funcionamiento del sistema de combustión.

Tabla 21*Datos del chiller.*

N°	Tipo de falla	Número de fallas semestre	T. prom. parada (min.)	T. total parada semestral (min.)
1	Limpieza del condensador	1	150,00	150,00
TOTAL		1	150,00	150,00

Fuente: Información proporcionada por EBA - Planta San Lorenzo. Datos primer semestre del año 2025. Elaboración propia.

El registro de mantenimiento del chiller muestra que se realiza una intervención durante el semestre. La falla registrada corresponde a la limpieza del condensador, la cual provoca un tiempo de parada de 150,00 minutos. En conjunto, el tiempo total semestral de parada es de 150,00 minutos, equivalente a 2,50 horas, lo que indica que, aunque la frecuencia de fallas es baja, la intervención genera un bajo impacto directo en la disponibilidad del equipo.

Tabla 22*Datos del banco de frío.*

Nº	Tipo de falla	Número de fallas semestre	T. prom. parada (min.)	T. total parada semestral (min.)
1	Cambio de sensor de temperatura	1	64,98	64,98
2	Ajuste de sensor de temperatura	1	94,8	94,8
TOTAL		2	159,78	159,78

Fuente: Información proporcionada por EBA - Planta San Lorenzo. Datos primer semestre del año 2025. Elaboración propia.

El registro de mantenimiento del banco de frío indica que se realizan dos intervenciones distintas, cada una ejecutada una sola vez. El cambio de sensor de temperatura implica 65,00 minutos de parada, mientras que el ajuste del sensor de temperatura requiere 95,00 minutos. Aunque las intervenciones son relativamente pocas, los tiempos de parada, moderados pero acumulativos, reflejan un área clave de oportunidad para optimizar la eficiencia operativa del banco de frío y minimizar interrupciones en la cadena de frío.

Ambas fallas están relacionadas con el sensor de temperatura, lo que sugiere un posible desgaste prematuro o calibración inadecuada del componente, afectando la precisión en el control térmico esencial para la preservación de productos.

En total, estas intervenciones suman 160,00 minutos, equivalentes a 2,67 horas de parada. Esta cantidad, aunque no crítica en un semestre, genera un impacto acumulativo en la operatividad si se repiten, potencialmente elevando costos energéticos o riesgos de calidad en los productos almacenados. El registro de mantenimiento resalta la importancia de un control detallado de cada intervención para evaluar el desempeño del equipo e identificar patrones recurrentes a futuro.

Tabla 23

Frecuencia de fallas de los equipos de la línea producción de yogurt.

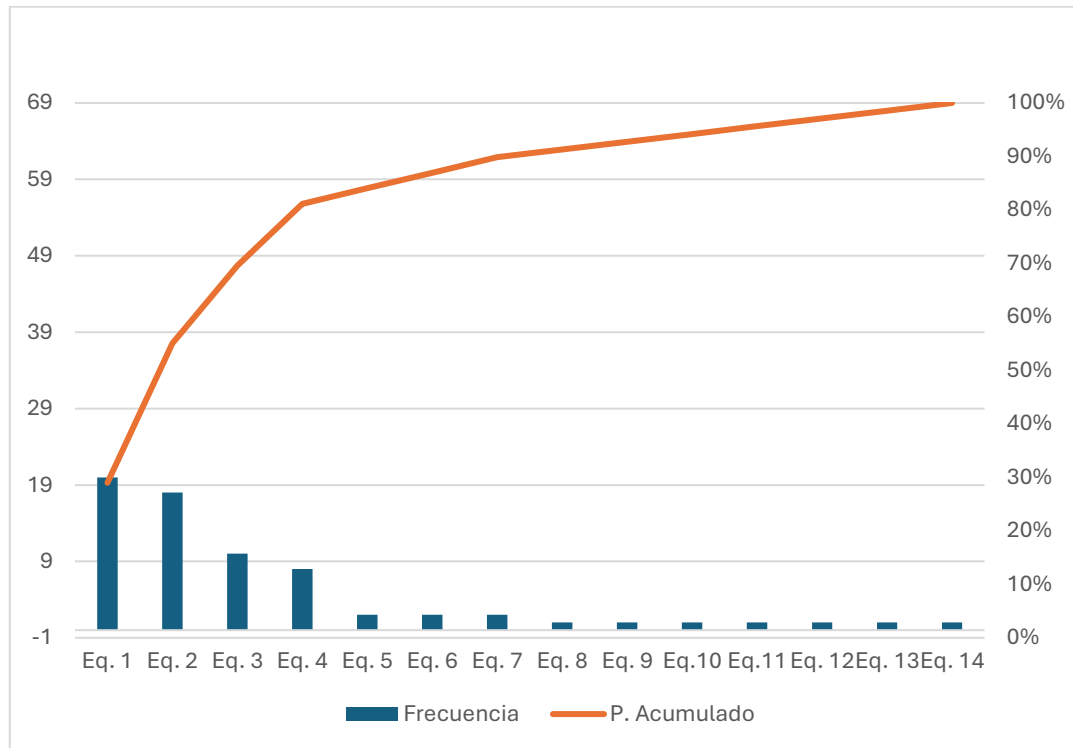
N°	Equipo	Número de fallas semestre	%	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado%
Eq. 1	Homogeneizador	20	29%	20	29%
Eq. 2	Pasteurizador	18	26%	38	55%
Eq. 3	Sacheteadora doble	10	14%	48	70%
Eq. 4	Sacheteadora simple	8	12%	56	81%
Eq. 5	Bomba centrífuga de recepción de MP	2	3%	58	84%
Eq. 6	Bomba lobular	2	3%	60	87%
Eq. 7	Banco de frío	2	3%	62	90%
Eq. 8	Chiller	1	1%	63	91%
Eq. 9	Tanques de almacenamiento	1	1%	64	93%
Eq.10	Tanque de producción	1	1%	65	94%
Eq.11	Caldero	1	1%	66	96%
Eq.12	Cinta transportadora	1	1%	67	97%
Eq.13	Codificadora Videojet	1	1%	68	99%
Eq.14	Tolva de envasado	1	1%	69	100%
TOTAL		69	100%		

Fuente: Información proporcionada por EBA - Planta San Lorenzo. Datos primer semestre del año 2025. Elaboración propia.

El análisis de frecuencia de fallas de los equipos de la línea de producción de yogurt, se evidencia que los primeros cuatro equipos concentran la mayor parte de las incidencias, representando aproximadamente el 81 % del total de fallas registradas durante el semestre. Esto indica que estos equipos son los más críticos para la operación y requieren una atención prioritaria en el plan de mantenimiento.

Figura 25

Diagrama de Pareto de frecuencia de fallas de los equipos de la línea producción de yogurt.



Fuente: Elaboración propia 2025.

4.5. Análisis de criticidad

Para optimizar las estrategias de mantenimiento y garantizar la continuidad operativa de la línea de producción de yogurt resulta fundamental identificar los equipos que tienen mayor relevancia y aquellos cuyo fallo generaría un impacto más significativo. Las tablas que se presentan a continuación sintetizan los principales datos y aspectos del análisis de criticidad, considerando factores como la frecuencia de fallas, el impacto en la seguridad, la producción, los costos y la detectabilidad de las mismas.

4.5.1. Criterios de criticidad

El análisis de criticidad se basa en la identificación de criterios cuantificables y verificables que facilitan la evaluación del nivel de importancia de cada equipo. En esta

sección se detallan los factores considerados para determinar la criticidad de los equipos pertenecientes a la línea de producción de yogurt, empleando una escala ponderada para cada uno.

Los aspectos evaluados comprenden el impacto en la producción, la frecuencia de fallas, la incidencia en la higiene, seguridad y el medio ambiente, costos directos de fallos y el impacto operacional, de acuerdo con lo definido en la tabla de evaluación.

4.5.2. Análisis de criticidad

El método de análisis se aplica para analizar y jerarquizar los activos y equipos, específicamente el homogeneizador, pasteurizador y sacheteadoras, considerando dos factores esenciales: la recurrencia de las fallas y el nivel de repercusión o efecto que dichas fallas provocan en las operaciones.

Tabla 24

Criterio de frecuencia de fallas (FA)

Puntaje	Nivel de impacto	Descripción
1-2	Sin impacto	Al menos una ocurrencia posterior a los 6 meses
3-4	Alerta mínima	Al menos una ocurrencia de 4 meses
5-6	Relevante	Al menos una ocurrencia de 2 meses
7-8	Crítica	Al menos una ocurrencia de 1 vez al mes
9-10	Catastrófico	Al menos una ocurrencia a la semana

Fuente: Elaboración a base de criterios propios, combinados con los lineamientos evaluación de su criticidad, y los enfoques de Blanchard y Fabrycky (2010) en Systems Engineering and Analysis.

Por consiguiente, se deben determinar los rangos de probabilidad y consecuencias en cada rubro que consideremos (ISM, FO, IO). En el caso de la matriz de criticidad se establece 5 rangos para la estimación de frecuencia y 5 rangos para la estimación de las consecuencias.

Tabla 25

Criterios de consecuencias de impacto en la seguridad y medio ambiente (ISM).

Puntaje	Nivel de impacto	Descripción
1-2	Sin consecuencias	No se presentan impactos sobre la seguridad de las personas ni sobre el medio ambiente
3-4	Situación de advertencia	Se detecta una condición que genera preocupación en materia de seguridad y/o un incidente ambiental sin repercusiones legales.
5-6	Situación con daños leves	Se registran afectaciones menores a la integridad física y/o incidentes ambientales de baja severidad
7-8	Situación con lesiones graves	Se presenta un hecho que ocasiona lesiones significativas y/o un impacto ambiental que puede ser controlado.
9-10	Situación catastrófica	Ocurre un hecho que provoca la muerte de una persona y/o causa un impacto ambiental severo y de gran magnitud.

Fuente: Elaboración a base de criterios propios, combinados con los lineamientos evaluación de su criticidad, y los enfoques de Blanchard y Fabrycky (2010) en Systems Engineering and Analysis.

Tabla 26

Criterios de consecuencias de flexibilidad operacional (FO)

Puntaje	Nivel de impacto	Descripción
1-2	Muy baja dependencia	El equipo no es esencial para el proceso; su falla no interrumpe la operación y existen varias alternativas funcionales.
3-4	Dependencia parcial	El proceso dispone de un equipo o sistema de respaldo que permite continuar las operaciones con mínima afectación.
5-6	Dependencia moderada	Existen opciones operativas temporales o de baja eficiencia que permiten mantener la operación por un corto periodo.
7-8	Alta dependencia	La producción puede continuar parcialmente mediante procedimientos manuales o equipos auxiliares, pero con una reducción significativa del rendimiento.

9-10	Total dependencia	El equipo es indispensable para la continuidad del proceso; su falla detiene completamente la producción y no existen equipos de respaldo o vías alternas de operación.
-------------	-------------------	---

Fuente: Elaboración a base de criterios propios, combinados con los lineamientos evaluación de su criticidad, y los enfoques de Blanchard y Fabrycky (2010) en Systems Engineering and Analysis.

Tabla 27

Criterios de consecuencias de impacto operacional (IP)

Puntaje	Nivel de impacto	Descripción
1-2	Sin impacto	No produce alteraciones en la capacidad ni en la calidad del proceso; la operación continúa normalmente.
3-4	Alerta mínima	Causa una reducción leve en la capacidad de tratamiento, afectando parcialmente la operación sin detenerla.
5-6	Relevante	Provoca fallas que comprometen la capacidad y calidad del proceso, incumpliendo algunos estándares de producción o tratamiento.
7-8	Crítica	Afecta más del 50 % de la capacidad y calidad del tratamiento, generando impactos significativos en la operación.
9-10	Catastrófico	Provoca la parada total de la planta o desviaciones graves en el efluente, deteniendo completamente el proceso productivo.

Fuente: Elaboración a base de criterios propios, combinados con los lineamientos evaluación de su criticidad, y los enfoques de Blanchard y Fabrycky (2010) en Systems Engineering and Analysis.

4.5.3. Rangos de criticidad

Tabla 28

Rangos de criticidad.

Tipo	Rango del Índice	Nivel de Criticidad
Tipo C	1 - 4 puntos	Baja
Tipo B	5 - 7 puntos	Media
Tipo A	8 - 10 puntos	Alta

Fuente: Elaboración a base de criterios propios 2025.

Tabla 29

Análisis de criticidad para el equipo homogeneizador.

Tipo de falla	FF	ISM	FO	IP	IC promedio	Tipo
Cambio de retenes	9	6	9	8	8	Tipo A
Cambio de correas	6	5	8	7	7	Tipo B
Cambio de O-rings	6	5	8	7	7	Tipo B
Cambio de soportes	1	4	7	6	5	Tipo B

Fuente: Elaboración a base de criterios propios, combinados con los lineamientos evaluación de su criticidad, y los enfoques de Blanchard y Fabrycky (2010) en Systems Engineering and Analysis.

Se analiza la criticidad de las fallas del homogeneizador evaluando su impacto en la continuidad del proceso de homogeneización, la transmisión mecánica y la estabilidad del equipo.

Cambio de retenes, nivel de criticidad alta, con un índice de criticidad promedio de 8. Afecta la eficiencia del equipo, provoca fugas y posibles paradas completas. Se prioriza su mantenimiento preventivo con inspecciones periódicas y reemplazo programado.

Cambio de correas, con un nivel de criticidad media. Impacta la transmisión mecánica y genera paradas parciales. Se revisa periódicamente y se reemplaza según desgaste.

Cambio de O-rings, con un nivel de criticidad media y un índice de criticidad promedio de 7. Afecta el sellado de válvulas, genera fugas. Se controla con inspecciones periódicas y reemplazo preventivo.

Cambio de soportes, con un nivel de criticidad media y un índice de criticidad promedio de 5. Mantiene la estabilidad estructural del equipo y previene desalineaciones. Se incluye en el mantenimiento rutinario mensual.

Tabla 30

Análisis de criticidad para el equipo pasteurizador.

Tipo de falla	FF	ISM	FO	IP	IC promedio	Tipo
Cambio de empaques	9	5	8	9	9	Tipo A
Cambio de sellos mecánicos	5	6	7	8	7	Tipo B
Lubricación de rodamientos	4	3	6	5	5	Tipo B
Cambio de pulsador	1	2	5	4	3	Tipo C
Alineación ventilador bomba agua caliente	1	2	5	4	3	Tipo C

Fuente: Elaboración a base de criterios propios, combinados con los lineamientos evaluación de su criticidad, y los enfoques de Blanchard y Fabrycky (2010) en Systems Engineering and Analysis.

La criticidad de las fallas de la sacheteadora simple se evalúa según su impacto en la precisión del sellado y la calidad de los envases. Esto permite priorizar las intervenciones de mantenimiento, optimizar la disponibilidad del equipo y garantizar la producción de envases conformes con los estándares de calidad.

Cambio de empaques, nivel de criticidad alta, con un índice de criticidad promedio de 9, provoca fugas y pérdida de temperatura, detiene parcialmente la producción. Se planifica su reemplazo antes del fin de vida útil.

Cambio de sellos mecánicos, nivel de criticidad media, con un índice de criticidad promedio de 7. Mantiene la presión interna, genera pérdidas de producto y desgaste de

componentes. Se gestiona mediante un plan de mantenimiento preventivo.

Lubricación de rodamientos, nivel de criticidad media, con un índice de criticidad promedio de 5. Previene fricción y desgaste prematuro. Se realiza periódicamente y se registra en el plan de mantenimiento.

Cambio de pulsador, nivel de criticidad baja, con un índice de criticidad promedio de 3. Asegura la operatividad eléctrica sin impactar la producción. La alineación ventilador bomba agua caliente, nivel de criticidad baja, con un índice de criticidad promedio de mantiene la eficiencia térmica sin detener la operación.

Tabla 31

Análisis de criticidad para el sacheteadora simple.

Tipo de falla	FF	ISM	FO	IP	IC promedio	Tipo
Ajuste codificador térmico	9	6	9	8	8	Tipo A
Calibración de sellado	3	2	7	6	5	Tipo B
Cambio de resistencia eléctrica	4	2	7	6	5	Tipo B

Fuente: Elaboración a base de criterios propios, combinados con los lineamientos evaluación de su criticidad, y los enfoques de Blanchard y Fabrycky (2010) en Systems Engineering and Analysis.

La criticidad de las fallas de la sacheteadora simple se evalúa según su impacto en la precisión del sellado y la calidad de los envases.

Ajuste del codificador térmico, nivel de criticidad alta, con un índice de criticidad promedio de 8. Controla la temperatura y sincronización del sellado. Su falla genera defectos en los envases, por lo que se realiza mantenimiento preventivo semanal. Garantiza la continuidad de la operación y reduce pérdidas de producto.

Calibración de sellado, nivel de criticidad media, con un índice de criticidad promedio de 5. Mantiene la integridad del envase y eficiencia de la línea. Fallas pueden generar

sellados inconsistentes; se recomienda mantenimiento quincenal. Contribuye a uniformidad en la producción y mejora la vida útil del producto. También se tiene el cambio de resistencia eléctrica, con un nivel de criticidad media, con un índice de criticidad promedio de 5.

Tabla 32

Análisis de criticidad para el sacheteadora doble.

Tipo de falla	FF	ISM	FO	IP	IC promedio	Tipo
Calibración de sellado	9	5	9	8	9	Tipo A
Cambio de resistencia eléctrica	4	2	7	6	5	Tipo B
Ajuste codificador térmico	1	2	6	5	4	Tipo C
Cambio de reten	1	3	7	6	4	Tipo C

Fuente: Elaboración a base de criterios propios, combinados con los lineamientos evaluación de su criticidad, y los enfoques de Blanchard y Fabrycky (2010) en Systems Engineering and Analysis.

La criticidad de las fallas de la sacheteadora doble considerando su impacto en la continuidad del envasado y la calidad del producto.

Calibración de sellado, nivel de criticidad alta, con un índice de criticidad promedio de 9. Afecta la continuidad del envasado y la calidad del producto. Se prioriza mantenimiento preventivo antes de cada producción.

Cambio de resistencia eléctrica, nivel de criticidad media, con un índice de criticidad promedio de 5. Impacta parcialmente la operación y se gestiona preventivamente.

Cambio de reten y ajuste codificador térmico, ambos con un nivel de criticidad baja.

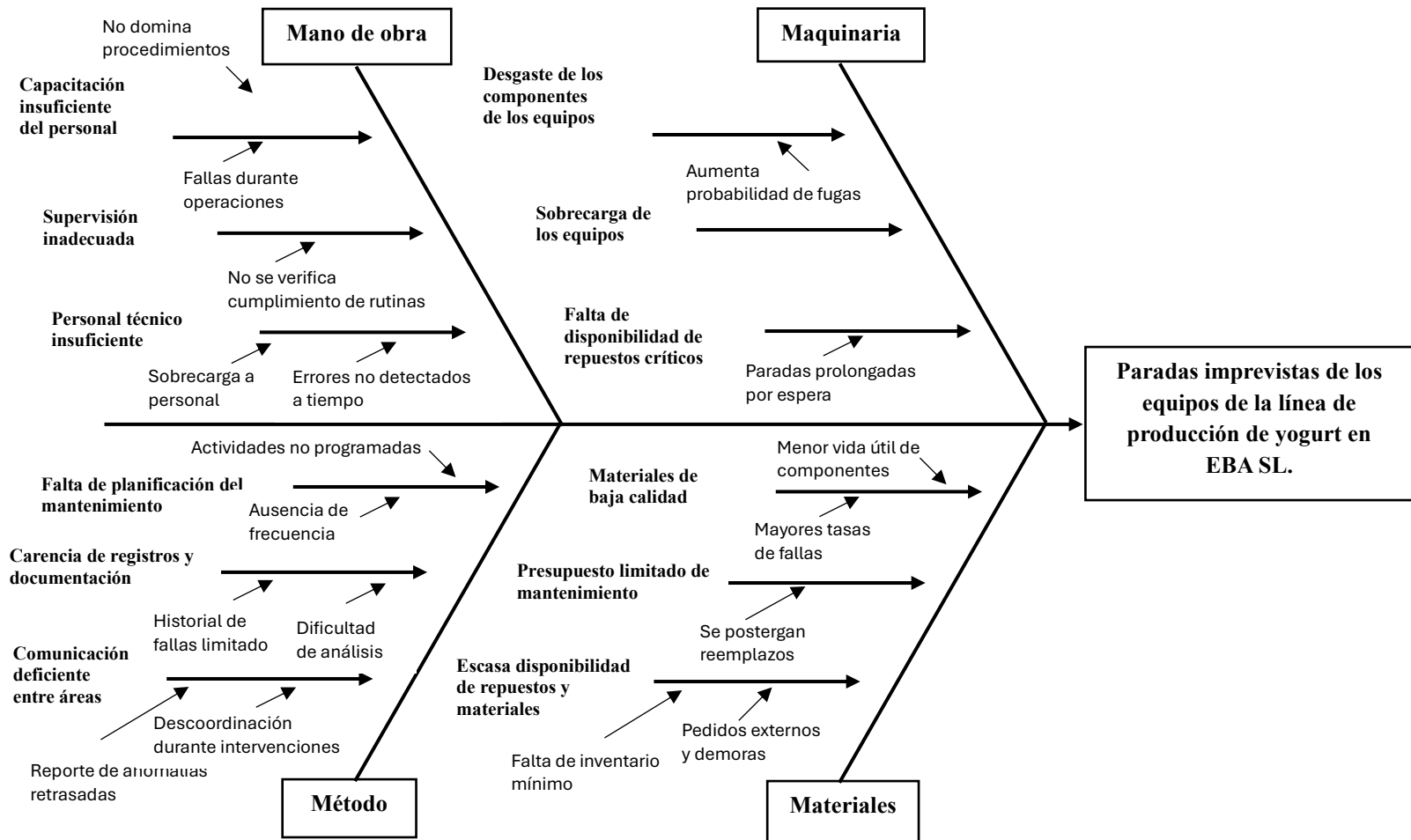
Tabla 33*Resultados del análisis de criticidad.*

N°	Equipo	Falla	FF	ISM	FO	IP	IC promedio	Tipo de criticidad
1	Pasteurizador	Cambio de empaques	9	5	8	9	9	Tipo A
2	Sacheteadora doble	Calibración de sellado	9	5	9	8	9	Tipo A
3	Homogeneizador	Cambio de retenes	9	6	9	8	8	Tipo A
4	Sacheteadora simple	Ajuste codificador térmico	9	6	9	8	8	Tipo A
5	Homogeneizador	Cambio de correas	6	5	8	7	7	Tipo B
6	Homogeneizador	Cambio de O-rings	6	5	8	7	7	Tipo B
7	Pasteurizador	Cambio de sellos mecánicos	5	6	7	8	7	Tipo B
8	Pasteurizador	Lubricación de rodamientos	4	3	6	5	5	Tipo B
9	Sacheteadora simple	Calibración de sellado	3	2	7	6	5	Tipo B
10	Sacheteadora simple	Cambio de resistencia eléctrica	4	2	7	6	5	Tipo B
11	Sacheteadora doble	Cambio de resistencia eléctrica	4	2	7	6	5	Tipo B
12	Homogeneizador	Cambio de soportes	1	4	7	6	5	Tipo B
13	Sacheteadora doble	Cambio de reten	1	3	7	6	4	Tipo C
14	Sacheteadora doble	Ajuste codificador térmico	1	2	6	5	4	Tipo C
15	Pasteurizador	Cambio de pulsador	1	2	5	4	3	Tipo C
16	Pasteurizador	Alineación ventilador bomba agua caliente	1	2	5	4	3	Tipo C

Fuente: Elaboración a base de criterios propios 2025.

Figura 26

Esquema del método Ishikawa.



Fuente: Elaboración propia 2025.

4.6. Análisis del mantenimiento actual

El análisis del mantenimiento actual se realiza con el propósito de evaluar cómo se están llevando a cabo las actividades de mantenimiento en el presente y detectar las debilidades o problemas que afectan el buen funcionamiento de los equipos, se empleara un análisis de Pareto para identificar y priorizar las causas más importantes para enfocar los esfuerzos en las causas que tienen mayor impacto y evitar dispersar recursos en soluciones innecesaria.

Este enfoque se asegura que los recursos se asignen estratégicamente para atacar os factores cruciales que están afectando la planificación, evaluación y control de las operaciones del departamento de mantenimiento.

Se procede con la elaboración de la tabla en la cual las frecuencias designadas se basan en la observación realizada directamente durante el análisis de los procesos de mantenimiento en la planta y experiencias del personal operativo y técnico.

Tabla 34

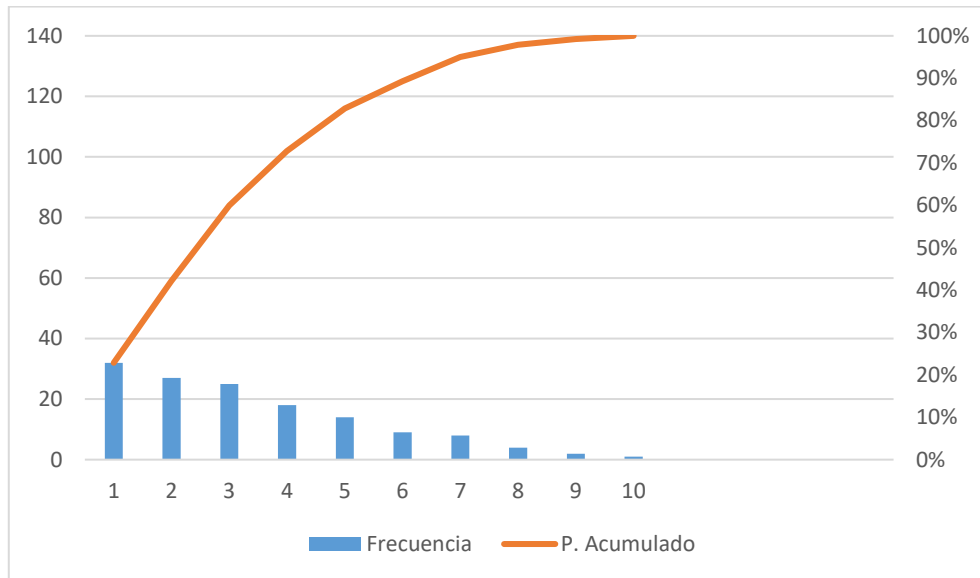
Análisis del mantenimiento actual.

Nº	Causas de paradas inesperadas	Frecuencia	% Relativo	% Acumulado
1	Falta de planificación de mantenimiento	32	23%	23%
2	Carencia de registros y documentación	27	19%	42%
3	Escasa disponibilidad de repuestos o materiales	25	18%	60%
4	Capacitación insuficiente al personal	18	13%	73%
5	Supervisión inadecuada	14	10%	83%
6	Presupuesto limitado para mantenimiento	9	6%	89%
7	Personal técnico insuficiente	8	6%	95%
8	Desgastes de componentes de equipos	4	3%	98%
9	Comunicación deficiente entre áreas	2	1%	99%
10	Sobre carga a los equipos	1	1%	100%
Total		140	100%	

Fuente: Elaboración propia 2025.

Figura 27

Diagrama de Pareto de causas de paradas inesperadas.



Fuente: Elaboración propia 2025.

El diagrama de Pareto desarrollado muestra que las causas principales se centran principalmente en las 3 primeras, falta de planificación de mantenimiento (23%), carencia de registros y documentación (19%) y escasa disponibilidad de repuestos (18%), representan el 60% de los problemas, lo que indica que son las más críticas y deben ser priorizadas al diseñar un plan de mantenimiento más eficiente. Otras causas, como la capacitación insuficiente del personal (13%), supervisión inadecuada (10%) y presupuesto limitado (6%), también tienen incidencia, aunque menor. Y finalmente, causas como el desgaste de componentes, comunicación deficiente entre áreas y sobrecarga de equipos representan menos del 4% de las fallas, siendo de menor prioridad.

Esto indica que, enfocando los esfuerzos y recursos en estas causas críticas, se puede mejorar significativamente la eficiencia del mantenimiento, reducir las paradas imprevistas en los equipos y optimizar el uso de recursos.

4.6.1. Estructura organizacional del mantenimiento actual

La estructura organizacional de mantenimiento en EBA – Planta San Lorenzo, está conformado por un número reducido del personal, aunque es funcional para cubrir las necesidades inmediatas, presenta limitaciones en la distribución de responsabilidades y carga de trabajo, lo que puede afectar la eficiencia y el control del mantenimiento, especialmente cuando se presentan múltiples fallas o tareas simultáneas.

4.6.1.1. Descripción de la estructura organizacional

Jefe de Planta

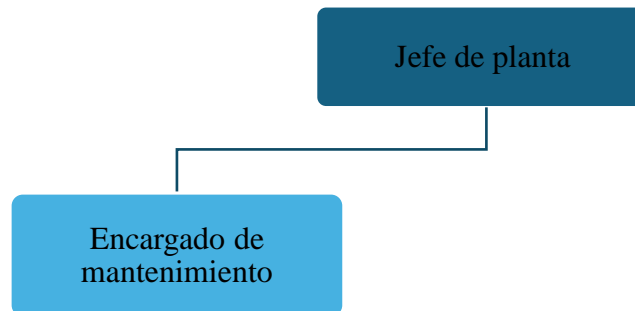
Es la máxima autoridad dentro del área operativa y tiene a su cargo la supervisión general de todas las actividades productivas y de mantenimiento, coordinando con el encargado de mantenimiento la programación de trabajos, aprobando las intervenciones y controlando el cumplimiento de las normas de seguridad. Su rol implica también la toma de decisiones clave sobre los procesos operativos, asegurando la eficiencia y calidad en la producción. Es responsable de gestionar los recursos, tanto humanos como materiales, y de autorizar las compras o reposiciones de repuestos y herramientas necesarias para las tareas de mantenimiento. Además, trabaja estrechamente con otros departamentos para garantizar la optimización de los recursos y el cumplimiento de los objetivos estratégicos de la planta.

Encargado de Mantenimiento

El Encargado de Mantenimiento es el responsable directo de planificar, organizar y ejecutar las labores de mantenimiento dentro de la planta. Supervisa las condiciones de funcionamiento de los equipos, identifica fallas y se asegura de que las reparaciones se realicen de manera segura y eficiente. Además, debe asegurar que se cumplan los plazos establecidos para las intervenciones de mantenimiento, gestionando las prioridades según la criticidad de los equipos. También se encarga de registrar las actividades realizadas, elaborar reportes técnicos y comunicar los avances o dificultades al jefe de planta. Su función incluye la capacitación continua del personal de mantenimiento y el control de inventarios de repuestos y herramientas.

Figura 28

Organigrama del área de mantenimiento.



Fuente: Elaboración propia 2025.

4.6.2. Descripción de proceso del mantenimiento actual de los equipos críticos de la línea de yogurt

En la EBA - Planta San Lorenzo, el mantenimiento se basa principalmente en el mantenimiento correctivo, lo que implica que las reparaciones se efectúan cuando los equipos o maquinarias ya presentan fallas. Es decir, las acciones se realizan una vez ocurrido el problema, lo que ocasiona paradas imprevistas en la producción. Las actividades de mantenimiento se ejecutan de la siguiente forma:

1. Detección y reporte de falla

En esta etapa, los operadores son los encargados de identificar cualquier problema o funcionamiento anormal de los equipos durante su operación diaria. Observan señales como ruidos extraños, vibraciones, fugas, disminución en la eficiencia o paradas inesperadas.

Una vez que detectan la falla, la registran y reportan al área de mantenimiento, desarrollando una solicitud y en ocasiones de manera verbal indicando el equipo afectado, los síntomas observados y el momento en que ocurrió el problema.

2. Diagnóstico por parte de los técnicos de mantenimiento

El diagnóstico es la etapa en la que el personal de mantenimiento analiza la falla reportada para identificar su causa exacta. Aquí se revisa el equipo, se observan los síntomas y se realizan inspecciones necesarias para determinar qué componente o sistema está dañado.

Además, durante el diagnóstico y ya viendo si el problema es mayor se hace una coordinación del momento de la reparación, se preparan las herramientas necesarias, pero por lo general este tipo de diagnóstico, solo se observan los síntomas superficiales y se toman decisiones rápidas sin analizar profundamente el problema.

3. Desmontaje de equipo

Es la etapa en la que se desarma la máquina o el equipo que tiene una falla para poder llegar a la parte dañada y repararla. Durante este proceso, el personal de mantenimiento retira las piezas con cuidado, usando las herramientas correctas y siguiendo medidas de seguridad.

4. Reparación de equipos

Se procede a reparar el componente en el sitio si es posible, se reemplaza la pieza dañada por una nueva si es necesario. Una vez que la reparación o el reemplazo se ha completado, el encargado de mantenimiento realiza pruebas funcionales para asegurar que el equipo vuelve a operar correctamente.

5. Puesta en marcha

El personal de producción y el técnico confirman que la máquina funciona de manera óptima y que la falla ha sido completamente resuelta. Si funciona sin problemas, se autoriza su uso nuevamente en la producción. En caso de detectarse alguna irregularidad, se realizan los ajustes necesarios antes de entregarlo definitivamente para su operación normal.

6. Registro de la actividad de mantenimiento

Consta de documentar todo lo que se realizó durante el mantenimiento, incluyendo la falla encontrada, las reparaciones efectuadas, las piezas cambiadas, el tiempo utilizado y el personal que participó.

El registro es muy importante, sin embargo, el encargado no lo realiza de manera adecuada y ordenada provocando así falta de documentación para poder llevar un control de los equipos.

4.6.3. Descripción del mantenimiento de las fallas por equipo

En esta etapa del estudio, tras el análisis de criticidad donde se evaluó las fallas de cada uno de los equipos críticos, se identificó cual presenta el mayor nivel de criticidad. Por lo tanto, fue seleccionada para su análisis y descripción detallada, los cuales se presentan a de la siguiente manera.

4.6.3.1. Equipo homogeneizador

El homogeneizador es un equipo fundamental en la elaboración de yogurt, ya que se encarga de romper los glóbulos de grasa presentes en la leche, logrando una mezcla uniforme y una textura más fina y estable del producto. Sin embargo, durante su funcionamiento presenta fallas frecuentemente y en base al análisis de criticidad se identificó la que presenta mayor nivel, la cual se describe a continuación.

- **Cambio de retenes**


Para realizar el mantenimiento de esta falla se toma los siguientes pasos:

1. **Identificación de la falla:** consiste en detectar los síntomas del problema. Los operadores son los que detectan ruidos anormales, aumento de temperatura, etc., durante la operación diaria. Una vez identificada la anomalía, se informa al personal de mantenimiento para proceder con la revisión.

2. **Análisis de falla:** el personal de mantenimiento hace una revisión al equipo para confirmar la falla y procede a realizar la parada segura del equipo para evitar accidentes.
3. **Desmontaje y extracción:** Se retiran las tapas de protección y los elementos que impiden el acceso al área del sello, se desmontan las cubiertas frontales o los bloques de válvulas para tener acceso a los émbolos y con cuidado, se extraen los retenes dañados usando herramientas.
4. **Instalación de los nuevos retenes:** Se limpia el alojamiento y los ejes para así colocar los nuevos retenes, asegurándose de que sean del mismo tipo y medida que los originales. Antes del montaje, se lubrica ligeramente con grasa alimentaria para facilitar el deslizamiento y evitar daños en el labio del retén. El retén debe insertarse alineado y sin torsión.
5. **Montajes:** Después de colocar los nuevos retenes, se vuelven a montar los émbolos, tapas y componentes retirados siguiendo el orden inverso del desmontaje. Se verifica que todas las juntas, pernos y conexiones estén en buen estado y correctamente ajustadas.
6. **Prueba de funcionamiento:** Una vez armado el homogeneizador, se realiza una prueba de funcionamiento con agua o leche de descarte, verificando que no existan fugas visibles ni pérdidas de presión. Si el funcionamiento es estable y no hay filtraciones, el cambio de retenes se considera satisfactorio
7. **Registro de actividad:** Consta de documentar todo lo que se realizó durante el mantenimiento, incluyendo la falla encontrada, las reparaciones efectuadas, las piezas cambiadas, el tiempo utilizado y el personal que participó.

Figura 29

Cursograma analítico del proceso de mantenimiento actual de la falla cambio de retenes del equipo homogeneizador.

CURSOGRAMA ANALÍTICO							Hoja:		
Método actual	X	Método propuesto	RESUMEN						
CURSOGRAMA N°			Actividad	Símbolo	Actual	Prop.	Economía		
	Proceso:	Cambio de retenes	Operación	●	9				
	Producto:	Yogurt	Inspección	■	3				
	Fecha:		Transporte	➡	2				
	Lugar:	EBA- San Lorenzo	Operación – Inspeccion	●	0				
	Cantidad:		Espera	●	1				
	Lote:		Almacenamiento	▼	0				
	Nombre de op.		Tiempo del proceso			229			
	Elaborado por:	Luis Fabian Vaca López	Cantidad			81			
N°	ACTIVIDAD	SIMBOLOS					Tiempo del proceso (min)	Distancia (m)	OBSERVACIONES
1	Operador detecta anomalías	●					5	2	
2	Notifica al supervisor de producción						3	25	
3	Supervisor llena formulario de mant.	●					3	0	
4	Inspección visual por parte del técnico	●					15	5	
5	Confirma falla y parada de equipo	●					5	0	
6	Verifica disponibilidad de repuestos	●					10	20	
7	Espera la llegada de repuesto					●	88	0	
8	Desmontaje de tapas de protección	●					15	5	
9	Extracción de retenes dañados	●					15	5	
10	Aplicación de grasa	●					5	2	
11	Instalación de retenes nuevos	●					15	5	
12	Montaje de tapas	●					15	2	
13	Ajuste de pernos	●					10	1	
14	Confirmación de reparación					●	5	5	
15	Limpieza final					●	10	2	
16	Registro de actividad	●					10	2	
	TOTAL						229	81	

Fuente: Elaboración propia 2025.

El cursograma presenta de manera detallada el proceso de cambio de retenes del equipo homogeneizador en la planta EBA - San Lorenzo, desde la detección inicial de la anomalía en el equipo hasta la finalización de la reparación y el registro de la actividad. Muestra claramente cada etapa del mantenimiento, que incluye la notificación de la falla, la inspección visual, la confirmación de la falla, la verificación de repuestos y la ejecución de las tareas de reparación, como el desmontaje de componentes, la extracción de retenes dañados, la aplicación de grasa, la instalación de los nuevos retenes y el montaje de las tapas de protección.

Uno de los puntos clave que resalta el cursograma es el largo tiempo de espera por la llegada de los repuestos (88 minutos), lo cual representa un área crítica donde se podría optimizar el proceso para reducir el tiempo total de mantenimiento. A pesar de este retraso, el proceso de reparación en sí mismo se lleva a cabo de manera ordenada, con tiempos definidos para cada actividad.

En total, el proceso de cambio de retenes tarda 229 minutos, lo que refleja una estructura detallada del mantenimiento, con tiempos asignados a cada tarea y la identificación de posibles áreas para mejorar la eficiencia y reducir los tiempos muertos, especialmente en la espera por repuestos.

4.6.3.2. Equipo pasteurizador

El equipo pasteurizador es una máquina esencial en el proceso de elaboración de yogurt, encargada de calentar la leche a una temperatura controlada para eliminar microorganismos y garantizar la inocuidad del producto. Sin embargo, durante su funcionamiento presenta fallas frecuentemente y en base al análisis de criticidad se identificó la que presenta mayor nivel, la cual se describe a continuación.

- **Cambio de empaques**

Para realizar el mantenimiento de esta falla se toma los siguientes pasos:





























1. **Identificación de la falla:** consiste en detectar los síntomas del problema. Los operadores son los que detectan ruidos anormales, aumento de temperatura,

etc., durante la operación diaria. Una vez identificada la anomalía, se informa al personal de mantenimiento para proceder con la revisión.

2. **Análisis de falla: el personal de mantenimiento hace una revisión al** equipo para confirmar la falla y procede a realizar la parada segura del equipo para evitar accidentes.
3. **Drenado y limpieza del equipo:** antes del desmontaje se drena completamente en contenido del producto y agua del sistema. Se realiza una limpieza externa para retirar residuos.
4. **Desmontaje del intercambiador de calor:** en esta etapa se aflojan los pernos y se separan los marcos del intercambiador, utilizando herramientas adecuadas. Las placas se retiran cuidadosamente una por una, colocándolas en orden sobre una superficie limpia para mantener su secuencia.
5. **Retiro de empaques:** se retiran los empaques antiguos, que suelen estar alojados en ranuras o adheridos mediante pegamento. Se eliminan con cuidado usando una espátula plástica o un cepillo suave. Cada placa se lava para eliminar residuos de grasa o producto.
6. **Instalación de los nuevos empaques:** Se verifica que la superficie esté completamente limpia, seca y se colocan los nuevos empaques en las ranuras correspondientes. Es importante asegurarse de que no queden torcidos o estirados, ya que esto puede provocar fugas durante la operación
7. **Ensamblaje del intercambiador:** se reensambla el conjunto de placas en el mismo orden en que fueron retiradas. Este paso debe hacerse de manera uniforme para evitar deformaciones o fugas entre las placas.
8. **Pruebas de funcionamiento:** se pone en marcha el equipo para verificar que el mantenimiento haya sido exitoso, observando aspectos como nivel de ruido, temperatura y vibración.
9. **Registro de actividad:** Consta de documentar todo lo que se realizó durante el mantenimiento, incluyendo la falla encontrada, las reparaciones efectuadas, las piezas cambiadas, el tiempo utilizado y el personal que participó.

Figura 30

Cursograma analítico del proceso de mant. actual de la falla cambio de empaques del equipo pasteurizador.

CURSOGRAMA ANALÍTICO							Hoja:		
Método actual	X	Método propuesto	RESUMEN						
CURSOGRAMA N° 1			Actividad	Símbolo	Actual	Prop.	Economía		
	Proceso:	Cambio de empaques	Operación		13				
	Producto:	Yogurt	Inspección		4				
	Fecha:		Transporte		2				
	Lugar:	EBA- San Lorenzo	Operación – Inspeccion		0				
	Cantidad:		Espera		1				
	Lote:		Almacenamiento		0				
	Nombre de op.		Tiempo del proceso		360				
	Elaborado por:	Luis Fabian Vaca López	Cantidad		105				
N°	ACTIVIDAD	SIMBOLOS					Tiempo del proceso (min)	Distancia (m)	OBSERVACIONES
1	Operador detecta anomalías								
2	Notifica al supervisor de producción								
3	Supervisor llena formulario de mant.								
4	Inspección visual por parte del técnico								
5	Confirma falla y parada de equipo								
6	Verifica disponibilidad de repuestos								
7	Espera la llegada de repuesto								
8	Preparación de equipo (drenado)								
9	Desmontaje de intercambiador								
10	Identificación de la zona dañada								
11	Retiro de empaques								
12	Limpieza de ranuras								
13	Instalación de empaque nuevos								
14	Alineación y ajuste								
15	Ensamblaje de equipo								
16	Reconexión de equipo								
17	Pruebas al vacío y con producto								
18	Confirmación de reparación								
19	Limpieza final								
20	Registro de actividad								
	Total						360	105	

Fuente: Elaboración propia 2025.

El cursograma describe detalladamente el proceso de cambio de empaques del equipo pasteurizador en la planta EBA - San Lorenzo, desde la detección de la anomalía en el equipo hasta la finalización de la reparación y el registro de la actividad. El proceso comienza cuando el operador detecta una anomalía en el equipo, lo que toma 5 minutos. A continuación, el operador notifica al supervisor de producción en 3 minutos, quien llena el formulario de mantenimiento para formalizar la situación en 3 minutos.

El técnico realiza una inspección visual para confirmar la falla, lo cual toma 15 minutos. Después de esto, el supervisor confirma la falla y detiene el equipo en 5 minutos para evitar mayores problemas. Se verifica la disponibilidad de los repuestos necesarios, lo cual toma 10 minutos. Un aspecto clave es el tiempo de espera por la llegada de los repuestos, que se extiende por 120 minutos, lo que representa un área crítica que podría optimizarse para reducir el tiempo total de mantenimiento.

Una vez que los repuestos están disponibles, se procede a la preparación del equipo, específicamente al drenado, lo cual toma 10 minutos. Luego, se realiza el desmontaje del intercambiador, un proceso que dura 35 minutos. Tras desmontarlo, se identifica la zona dañada en 10 minutos. A continuación, se retiran los empaques dañados, lo cual toma 20 minutos, y se realiza la limpieza de las ranuras en 12 minutos.

Una vez que la zona está lista, se procede con la instalación de los nuevos empaques, que lleva 20 minutos. Posteriormente, se realiza la alineación y ajuste de los componentes en 5 minutos y se ensambla el equipo en 32 minutos. El proceso continúa con la reconexión del equipo, que lleva 10 minutos, seguida de las pruebas al vacío y con producto para verificar el correcto funcionamiento, las cuales toman 20 minutos. Finalmente, se confirma la reparación en 5 minutos, se realiza una limpieza final en 10 minutos y se registra la actividad en 10 minutos.

4.6.3.3. Equipo sacheteadora doble

La sacheteadora doble en base al análisis de criticidad se identificó la falla que presenta mayor nivel de criticidad, la cual se describe a continuación.


Calibración de sellado:

Para realizar el mantenimiento de esta falla se toma los siguientes pasos:

1. **Identificación de la falla:** Los operadores detectan ruidos anormales, aumento de temperatura, entre otros, durante la operación diaria. Al identificar la anomalía, informan al personal de mantenimiento para su revisión.
2. **Análisis de falla:** El personal de mantenimiento revisa el equipo, confirma la falla y realiza la parada segura para evitar accidentes.
3. **Limpieza de mordazas:** Se limpia las superficies de sellado, eliminando residuos de plástico, grasa o polvo. Se inspeccionan las resistencias térmicas y los sensores de temperatura.
4. **Ajustes de temperatura de sellado:** En modo calibración, se verifica la temperatura en el controlador digital y se ajusta según el material plástico, realizando una prueba de sellado con material de muestra.
5. **Ajuste de la presión y alineación de las mordazas:** Se ajusta la presión de contacto entre las mordazas, asegurando un cierre parejo sin zonas con menor contacto.
6. **Ajuste del tiempo de sellado:** Se regula el tiempo desde el panel de control o temporizador, realizando varias pruebas hasta encontrar el equilibrio adecuado entre velocidad y calidad.
7. **Pruebas de verificación:** Se realizan pruebas de funcionamiento con producto o sachets vacíos, usando los parámetros ajustados (temperatura, presión y tiempo).
8. **Registro de actividad:** Se documenta todo el proceso de mantenimiento, incluyendo la falla encontrada, reparaciones realizadas, piezas cambiadas, tiempo utilizado y personal involucrado.

Figura 31

Cursograma analítico del proceso. de mant. actual de la falla calibración de sellado del equipo sacheteadora doble.

CURSOGRAMA ANALÍTICO							Hoja:			
Método actual	X	Método propuesto	RESUMEN							
CURSOGRAMA N° 1			Actividad	Símbolo	Actual	Prop.	Economía			
	Proceso:	Calibración de sellado	Operación	●	10					
	Producto:	Yogurt	Inspección	■	5					
	Fecha:		Transporte	→	2					
	Lugar:	EBA- San Lorenzo	Operación – Inspeccion	●	0					
	Cantidad:		Espera	■	1					
	Lote:		Almacenamiento	▼	0					
	Nombre de op.		Tiempo del proceso			156				
	Elaborado por:	Luis Fabian Vaca López	Cantidad			101				
N°	ACTIVIDAD		SIMBOLOS					Tiempo del proceso (min)	Distancia (m)	OBSERVACIONES
1	Operador detecta anomalías		●					5	2	
2	Notifica al supervisor de producción							3	25	
3	Supervisor llena formulario de mant.		●					3	0	
4	Inspección visual por parte del técnico		●					15	5	
5	Confirma falla y parada de equipo		●					5	0	
6	Verifica disponibilidad de repuestos		●					10	20	
7	Espera la llegada de repuesto						■	31	0	
8	Limpieza completa de las mordazas		●					10	5	
9	Inspección de resistencias térmicas y sensores de temperatura		●					4	5	
10	Encendido de equipo en modo calibración		●					5	1	
11	Ajuste de temperatura de sellado		●					5	2	
12	Ajuste de la presión entre mordazas		●					10	2	
13	Ajuste de tiempo de sellado		●					5	2	
14	Pruebas con material de muestras		●					10	10	
15	Evaluación de sellado		●					10	10	
16	Confirmación de reparación		●					5	5	
17	Limpieza final		●					10	5	
18	Registro de actividad		●					10	2	
	TOTAL							156	101	

Fuente: Elaboración propia 2025.

El cursograma describe el proceso de calibración de sellado en la planta EBA-San Lorenzo. Comienzo con la detección de anomalías en el equipo por parte del operador, quien inmediatamente notifica al supervisor de producción. El supervisor llena el formulario de mantenimiento para documentar la situación y continuar con el proceso.

Luego, un técnico realiza una inspección visual para confirmar la falla, y el supervisor confirma la falla y ordena la parada del equipo para evitar daños mayores. A continuación, se verifica la disponibilidad de repuestos necesarios para la reparación. Un punto clave es el tiempo de espera por los repuestos, que toma 31 minutos, lo que podría mejorarse para optimizar el proceso y reducir el tiempo total.

Una vez que los repuestos están disponibles, realizo la limpieza completa de las mordazas, luego se inspeccionan las resistencias térmicas y los sensores de temperatura. Enciende el equipo en modo calibración, y luego hago ajustes como la temperatura de sellado, la presión entre las mordazas y el tiempo de sellado. A continuación, realizo pruebas con material de muestras para asegurarme de que el sellado es adecuado, y finalmente hago una evaluación de sellado para confirmar que el proceso fue exitoso.

El proceso termina con la confirmación de la calibración, una limpieza final del área de trabajo y el registro de la actividad realizada. El total del proceso es de 156 minutos.

Este cursograma refleja un proceso estructurado, pero el tiempo de espera por repuestos es un área clave que puedo optimizar. Reducir este tiempo podría mejorar la eficiencia del proceso de calibración, lo que contribuiría a la optimización del tiempo total del mantenimiento.

4.6.3.4. Equipo sacheteadora simple

La sacheteadora simple es una máquina utilizada para envasar yogurt en presentaciones individuales, generalmente de 120 ml. Su función principal es dosificar el producto y sellar los envases de manera hermética, Sin embargo, durante su funcionamiento presenta fallas frecuentemente y en base al análisis de criticidad se identificó la que presenta mayor nivel, la cual se describe a continuación.


- **Ajuste de codificador térmico**

Para realizar el mantenimiento de esta falla se toma los siguientes pasos:

1. **Identificación de la falla:** consiste en detectar los síntomas del problema. Los operadores son los que detectan ruidos anormales, aumento de temperatura, etc., durante la operación diaria. Una vez identificada la anomalía, se informa al personal de mantenimiento para proceder con la revisión.
2. **Análisis de falla:** el personal de mantenimiento hace una revisión al equipo para confirmar la falla y procede a realizar la parada segura del equipo para evitar accidentes.
3. **Verificación de la alineación del codificador:** Con la máquina detenida, se coloca una bolsa de prueba en la posición de sellado y se observa se ajusta la posición del codificador hasta ubicarlo correctamente respecto al área de sellado. Una vez alineado, se vuelven a ajustar firmemente los tornillos.
4. **Calibración de temperatura y tiempo de impresión:** Se enciende la máquina y se accede al panel de control del codificador, ajustando los valores de temperatura y tiempo de contacto o duración de la impresión.
5. **Prueba de funcionamiento:** Se realizan pruebas sobre una muestra para comprobar que la impresión sea nítida, sin exceso de calor o falta de temperatura.
6. **Registro de actividad:** Consta de documentar todo lo que se realizó durante el mantenimiento, incluyendo la falla encontrada, las reparaciones efectuadas, las piezas cambiadas, el tiempo utilizado y el personal que participó.

Figura 32

Cursograma analítico del proc. de mant. actual de la falla ajuste de codificador térmico del equipo sachetadora simple.

CURSOGRAMA ANALÍTICO							Hoja:		
Método actual	X	Método propuesto		RESUMEN					
CURSOGRAMA N°			Actividad	Símbolo	Actual	Prop.	Economía		
	Proceso:	Ajuste de codificador térmico	Operación	●	12				
	Producto:	Yogurt	Inspección	■	4				
	Fecha:		Transporte	→	2				
	Lugar:	EBA- San Lorenzo	Operación – Inspeccion	●	0				
	Cantidad:		Espera	■	1				
	Lote:		Almacenamiento	▼	0				
	Nombre de op.		Tiempo del proceso		180				
	Elaborado por:	Luis Fabian Vaca López	Cantidad		91				
N°	ACTIVIDAD	SIMBOLOS					Tiempo del proceso (min)	Distancia (m)	OBSERVACIONES
		●	■	→	●	■	▼		
1	Operador detecta anomalías	●					5	2	
2	Notifica al supervisor de producción						3	25	
3	Supervisor llena formulario de mant.	●					3	0	
4	Inspección visual por parte del técnico	●					15	5	
5	Confirma falla y parada de equipo	●					5	0	
6	Verifica disponibilidad de repuestos	●					10	20	
7	Espera la llegada de repuesto						44	0	
8	Retiro de tapas o cubiertas del codificador	●					5	5	
9	Limpieza de cabezal	●					10	10	
10	Ajuste de posición y alineación de codificador	●					10	5	
11	Apretado de tornillos	●					5	5	
12	Encendido del sistema	●					5	4	
13	Calibración de tiempo y temperatura	●					10	2	
14	Colocado de bolsa de muestra	●					5	5	
15	Prueba con bolsa de muestra	●					10	1	
16	Evaluación de calidad de impresión	●					10	0	
17	Confirmación de reparación	●					5	5	
18	Limpieza final	●					10	5	
19	Registro de actividad	●					10	2	
	TOTAL						180	101	

Fuente: Elaboración propia 2025.

El cursograma detalla el proceso de ajuste de codificador térmico del equipo sacheteadora simple de la planta EBA - San Lorenzo. El proceso comienza cuando el operador detecta una anomalía en el codificador térmico y notifica al supervisor de producción sobre el problema. El supervisor llena un formulario de mantenimiento para documentar la situación y proceder con la intervención.

A continuación, el personal realiza una inspección visual para confirmar la falla en el equipo, y el supervisor confirma la falla y decide parar el equipo para evitar mayores daños. Luego, se verifica la disponibilidad de repuestos necesarios para realizar la reparación. Un paso crucial en el proceso es la espera por los repuestos, que toma 44 minutos, lo que podría ser optimizado para reducir los tiempos de inactividad.

Cuando los repuestos están disponibles, se procede a retirar las tapas o cubiertas del codificador, seguido de la limpieza del cabezal. Después, se realiza el ajuste de la posición y alineación del codificador y el apretado de tornillos para asegurar que todo quede correctamente instalado. Luego, se enciende el sistema y se ajustan los parámetros de tiempo y temperatura para calibrar el equipo.

A continuación, se coloca una bolsa de muestra y se realiza una prueba con la bolsa de muestra para comprobar el correcto funcionamiento del sellado. Después, se lleva a cabo una evaluación de la calidad de impresión para asegurar que todo esté conforme a los estándares. El técnico confirma la reparación cuando todo está en orden.

Finalmente, se realiza la limpieza final del área de trabajo y se registra la actividad realizada en el sistema para dejar constancia de la reparación.

El tiempo total del proceso es de 180 minutos. El cursograma refleja un proceso bien organizado, pero el tiempo de espera por repuestos es un punto clave que podría mejorar para hacer el proceso más eficiente y reducir los tiempos de mantenimiento.










4.7. Gestión de repuestos

Actualmente la empresa cuenta con un inventario y stock bastante reducido en cuanto a repuestos, en algunos casos la compra de materiales necesarios se realiza de manera reactiva, solo cuando ocurre una falla, lo cual no garantiza una respuesta eficiente ante situaciones de emergencia.

No se tiene un sistema de gestión para documentar la entrada y salida de los repuestos utilizados en los equipos, también cabe mencionar que los mismos no cuenta con un sistema de codificación. En base a la información proporcionada por el encargado de mantenimiento a continuación se presenta un cuadro donde se muestra el stock de repuestos actuales con los que cuenta la empresa.

Tabla 35

Check list de repuestos.

N°	Detalle Técnico	Equipo	Cant. Min	En Stock	¿CUMPLE? Si = ✓ No = X	Imagen
1	Aceite ISO 220	Homogeneizador	10 L	4 L	X	
2	O-ring 28x40.5x7	Homogeneizador	8 pzs	2 pzs	X	
3	Correas B74	Homogeneizador	4 pzs	1 pzs	X	
4	Kit empaques pistón	Homogeneizador	1 kit	0 kits	X	
5	Válvulas asiento 316L	Homogeneizador	2 pzs	0 pz	X	
6	Filtros aceite 10 micras	Homogeneizador	2 pz	1 pz	X	
7	Empaques de placas	Pasteurizador	20 pz	5 pz	X	
8	Sello mecánico Type 21	Pasteurizador	1 pz	0 pz	X	
9	Filtro malla 100 micras	Pasteurizador	2 pz	0 pz	X	

10	Válvula neumática 3 vías	Pasteurizador	1 pz	0 pz	X	
11	Resistencia 6 kW	Pasteurizador	3 pz	1 pz	X	
12	Sensor PT100	Pasteurizador	3 pz	0 pz	X	
13	Kit CIP (ácido + álcali)	Pasteurizador	2 kits	0 kits	X	
14	Sellos pistones	Sacheteadora simple	1 kit	0 kits	X	
15	Film sachet	Sacheteadora simple	10 rollos	7 rollos	X	
16	Filtros aire	Sacheteadora simple	4 unid	2 unid	X	
18	Termistores 120-180°C	Sacheteadora simple	4 unid	1 unid	X	
19	Lubricante alimentario	Sacheteadora simple	5 L	3 L	X	
20	Goma siliconada	Sacheteadora simple	3 unid	0 unid	X	
21	Sellos duales	Sacheteadora doble	2 kits	0 kits	X	
22	Film doble ancho	Sacheteadora doble	15 rollos	10 rollos	X	
23	Filtros aire dual	Sacheteadora doble	6 unid	3 unid	X	
24	Cinta doble	Sacheteadora doble	3 m	1 m	X	
25	Termistores duales	Sacheteadora doble	6 unid	2 unid	X	
26	Lubricante doble	Sacheteadora doble	8 L	5 L	X	

Fuente: Datos históricos semestre enero a junio de 2025, elaboración propia.

El análisis detallado del inventario de repuestos críticos de la línea de producción de yogurt revela una situación que, aunque no compromete la operación en este preciso instante, constituye una oportunidad estratégica para fortalecer la resiliencia y la eficiencia operativa del área. De los veintiséis repuestos evaluados, que abarcan los cuatro equipos principales homogeneizador, pasteurizador y los dos sacheteadoras, ninguno alcanza el nivel de stock mínimo recomendado, y once de ellos se encuentran en cero unidades. Esta cobertura insuficiente, que oscila entre el 0 % y el 50 % del estándar definido, limitando la capacidad de respuesta ante mantenimientos correctivos, picos de producción o fallas imprevistos.

Tabla 36

Tiempos de entrega de repuestos críticos actuales.

N°	Equipo	Detalle Técnico	Repuesto necesario (código)	Consumo semestral aprox.	Unidad	Tiempo de entrega (Días)	Criticidad
1	Pasteurizador	Empaques de placas	FER-REP-201	210	pieza	14	ALTA
2	Sacheteadora doble	Sellos duales	FER-REP-001-D	72	pieza	12	ALTA
3	Homogeneizador	Retenes	FER-REP-104	36	pieza	12	ALTA
4	Sacheteadora simple	Sellos pistones	FER-REP-001	108	kit	10	ALTA
5	Homogeneizador	Correas B74	FER-REP-103	6-8	pieza	3	MEDIA
6	Homogeneizador	O-ring 28x40.5x7	FER-REP-102	12-15	pieza	3	MEDIA
7	Pasteurizador	Sello mecánico Type 21	FER-REP-202	2-3	pieza	3	MEDIA
9	Sacheteadora simple	Sellos pistones	FER-REP-001	5-6	kit	2	MEDIA
10	Sacheteadora simple	Termistores 120-180°C	FER-REP-004	6-8	unidad	2	MEDIA
11	Sacheteadora doble	Termistores duales	FER-REP-005-D	8-10	unidad	1	MEDIA
13	Sacheteadora doble	Sellos duales	FER-REP-001-D	4-5	kit	1	MEDIA
14	Sacheteadora doble	Termistores duales + Sellos duales	FER-REP-005-D / FER-001-D	5	unidad / kit	1	BAJA

Fuente: Elaboración propia 2025.

Repuestos de alta criticidad (categoría A)

Los repuestos clasificados en la Categoría A, como los empaques de placas (FER-REP-201), sellos duales (FER-REP-001-D), retenes (FER-REP-104) y sellos pistones (FER-REP-001), presentan tiempos de entrega prolongados (de 10 a 14 días) y consumos mensuales significativos. Estos repuestos son esenciales para el funcionamiento de la planta, ya que su falta podría generar paradas productivas. Debido a su alta criticidad, se deben establecer stocks de seguridad y puntos de reorden para garantizar la disponibilidad de estos repuestos cuando se necesiten, evitando interrupciones en la producción. Los repuestos como sellos duales (FER-REP-001-D) y retenes (FER-REP-104) tienen una alta demanda y tiempos de entrega largos, lo que requiere un manejo cuidadoso de los inventarios.

Repuestos de media criticidad (categoría B)

Los repuestos clasificados en la Categoría B, como las correas B74 (FER-REP-103), O-rings (FER-REP-102), y sello mecánico Type 21 (FER-REP-202), tienen tiempos de entrega más cortos (de 1 a 3 días) y consumos moderados. Aunque no son tan críticos como los de la Categoría A, siguen siendo necesarios para el buen funcionamiento de los equipos. Estos repuestos pueden gestionarse con inventarios moderados, asegurando que haya disponibilidad sin generar un exceso de stock que podría resultar en costos innecesarios. Los tiempos de entrega cortos permiten mantener un flujo constante de repuestos sin la necesidad de acumular grandes cantidades.

Repuestos de baja criticidad (categoría C)

Los repuestos clasificados en la Categoría C, como los termistores 120-180°C (FER-REP-004), termistores duales (FER-REP-005-D) y sellos duales (FER-REP-001-D), son fácilmente adquiribles en el mercado local con tiempos de entrega muy cortos (de 1 a 2 días). Estos componentes tienen un bajo impacto en la operación y se utilizan con alta rotación. Debido a su baja criticidad, se pueden gestionar con inventarios reducidos, lo que asegura su disponibilidad sin generar un exceso de almacenamiento.

4.8. Indicador OEE actual de los equipos

El Overall Equipment Effectiveness (OEE), o Eficiencia General de los Equipos, es un indicador clave en la gestión de mantenimiento industrial que evalúa el rendimiento real de los equipos de producción. Este índice se calcula a partir de tres factores principales: Disponibilidad, que compara el tiempo de funcionamiento efectivo con el tiempo perdido por fallas; Rendimiento, que mide la producción real contra la producción planificada; y Calidad, que determina la proporción de productos conformes frente al total producido.

4.8.1. Cálculo de la producción

La evaluación del diagnóstico actual se centra en analizar el impacto de las fallas alta criticidad en los equipos críticos, considerando tanto las entrevistas, registros y fichas técnicas de los equipos correspondientes para la recolección de datos relevantes.

Equipo homogeneizador

Capacidad de producción de hasta 1.000 L/h. Dato obtenido de la ficha técnica del equipo. Considerando un turno operativo estándar de 3,5 horas diarias, y un rendimiento de actividad real del 0,94 % este dato se obtiene del anexo 3.

$$\text{Capacidad nominal} = \frac{1.000 \text{ L}}{1 \text{ h}} \times \frac{3,5 \text{ h}}{1 \text{ día}} = 3.500 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

$$\text{Producción real al } 0,94 = 3.500 \frac{\text{L}}{\text{día}} * 0,94 = 3.295 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

Equipo pasteurizador

Capacidad de producción de hasta 1.000 L/h. Dato obtenido de la ficha técnica del equipo. Considerando un turno operativo estándar de 3,5 horas diarias, y un rendimiento de actividad real del 0,91 % este dato se obtiene del anexo 3.

$$\text{Capacidad nominal} = \frac{1.000 \text{ L}}{1 \text{ h}} \times \frac{3,5 \text{ h}}{1 \text{ día}} = 3.500 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

$$\text{Producción real al } 0,91 = 3.500 \frac{\text{L}}{\text{día}} * 0,91 = 3.179 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

Equipo sacheteadora doble

Capacidad de producción de hasta 280 L/h. Dato obtenido de la ficha técnica del equipo. Considerando un turno operativo estándar de 1,25 horas diarias, y un rendimiento de actividad real del 0,92% este dato se obtiene del anexo 3.

$$\text{Capacidad nominal} = \frac{280 \text{ L}}{1 \text{ h}} \times \frac{1,25 \text{ h}}{1 \text{ día}} = 350 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

$$\text{Producción real al 0,92} = 350 \frac{\text{L}}{\text{día}} * 0,92 = 322 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

Equipo sacheteadora simple

Capacidad de producción de hasta 165 L/h. Dato obtenido de la ficha técnica del equipo. Considerando un turno operativo estándar de 0,90 horas diarias, y un rendimiento de actividad real del 0,91 % este dato se obtiene del anexo 3.

$$\text{Capacidad nominal} = \frac{165 \text{ L}}{1 \text{ h}} \times \frac{0,90 \text{ h}}{1 \text{ día}} = 150 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

$$\text{Producción real al 0,91} = 150 \frac{\text{L}}{\text{día}} * 0,91 = 136 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

Tabla 37*Indicador OEE actual.*

Equipo	Falla	Tiempo de operación(min)	Paradas por falla(hrs)	Disponibilidad (%)	Producción prevista(L/día)	Producción real (L/día)	Rendimiento (%)	Calidad (%)	OEE
Homogeneizador	Cambio de retenes	930,0	229,0	75%	3.500,0	3.295,0	94%	100%	71%
Pasteurizador	Cambio de empaques	930,0	360,0	61%	3.500,0	3.179,0	91%	100%	56%
Sacheteadora doble	Calibración de sellado	930,0	156,0	83%	350,0	322,0	92%	100%	77%
Sacheteadora simple	Ajuste de codificador térmico	930,0	180,0	81%	150,0	136,0	91%	100%	73%

Fuente: Elaboración propia 2025.

El análisis de los resultados, se evidencia que las pérdidas en la eficiencia global de los equipos se deben principalmente a las paradas por falla y el rendimiento. Seguidamente se tiene el análisis de dichos indicadores relacionados con la falla de alta criticidad del equipo respectivo.

Homogeneizador. - El equipo presenta una disponibilidad del 75%, lo que implica que alrededor del 25% del tiempo se pierde debido a paradas por falla, donde se tiene un tiempo promedio de falla de 229,0 min. A pesar de estas paradas, el rendimiento es del 94%, lo que muestra que, cuando el equipo está en funcionamiento, produce cerca de lo planeado. La calidad es perfecta al 100%. Sin embargo, el OEE se ubica en el 71%, lo que indica que el equipo podría operar con mayor eficiencia si se redujeran las paradas no planificadas.

Pasteurizador: Tiene una disponibilidad aún más baja, con solo un 61%, debido a las paradas por falla que tienen un tiempo promedio de 360,0 min. Este tiempo perdido impacta negativamente en la producción. Aunque el rendimiento es del 91%, lo que refleja una buena producción en relación con la planeada, el OEE cae al 56%. El bajo OEE está principalmente relacionado con el tiempo de inactividad del equipo.

Sacheteadora doble: Este equipo tiene una disponibilidad de 83%, con tiempo de parada promedio por falla de 156,0 min. El OEE alcanza un 77% debido al tiempo perdido por paradas generado por fallas.

Sacheteadora simple: La disponibilidad es del 81%, con tiempo promedio de paradas por falla de 180,0 min. El rendimiento es del 91%, lo que es relativamente bueno, pero no óptimo. Al igual que los demás equipos, la calidad es del 100%. El OEE es del 73%, lo que muestra una eficiencia buena, pero también indica que aún hay margen para mejorar en términos de reducción de paradas y aumento del rendimiento.

4.9. Indicadores MTBF y MTTR actuales

El MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas) y el MTTR (Tiempo Medio para Reparar) son dos métricas fundamentales en la gestión de mantenimiento que permiten evaluar tanto la confiabilidad como la eficiencia operativa de los equipos. El MTBF mide el tiempo promedio que transcurre entre fallas de un equipo, lo que indica la fiabilidad de su funcionamiento. Por otro lado, el MTTR calcula el tiempo promedio necesario para reparar un equipo y devolverlo a su operatividad, lo que refleja la eficacia del proceso de mantenimiento. Al analizar ambos indicadores juntos, se obtiene una visión completa del rendimiento de los activos y se pueden identificar áreas clave para mejorar la gestión de mantenimiento.

Tabla 38

Indicadores actuales de MTBF y MTTR de los equipos críticos respecto a su falla de alta criticidad.

N°	Descripción	Tiempo de operación (sem)	# De fallas (sem)	Tiempo total de reparación (hrs)	MTBF (hrs)	MTTR (hrs)	Disp.	Código de equipo
Fallas de alta criticidad.								
1	Homogeneizador	458,50	7	26,78	65,50	3,83	94,48	FER-HOM-08
2	Pasteurizador	458,50	7	42,00	65,50	6,00	91,61	FER-PAS-07
3	Sacheteadora doble	127,07	5	13,00	25,41	2,60	90,72	FER-SAC-10
4	Sacheteadora simple	91,70	4	11,08	22,93	2,77	89,22	FER-SAC-09

Fuente: Elaboración propia 2025.

El análisis de los indicadores MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas) y MTTR (Tiempo Medio Para Reparar) de los equipos críticos en la línea de producción de yogurt considerando su falla de alta criticidad, proporciona una visión detallada sobre la confiabilidad y eficiencia operativa de los activos.

El homogeneizador presenta un MTBF de 65,50 horas respecto a la falla de cambio de retenes, lo que indica que el equipo falla, en promedio, cada 65,5 horas de operación.

A pesar de contar con una confiabilidad aceptable, el MTTR de 3,83 horas refleja tiempos de reparación relativamente largos, lo que afecta la disponibilidad del equipo, que alcanza un 94,48%. La reducción de los tiempos de intervención durante las reparaciones es fundamental para mejorar la eficiencia operativa y optimizar la disponibilidad del equipo.

El pasteurizador, con un MTBF de 65,50 horas, respecto a su falla de alta criticidad, por lo tanto, indica una menor fiabilidad. Además, el MTTR de 6,00 horas es relativamente elevado, lo que impacta negativamente en la disponibilidad del equipo, que se encuentra en 80,94%. Esto destaca la necesidad de mejorar tanto la fiabilidad del equipo como los procedimientos de reparación para optimizar el tiempo de recuperación y aumentar su disponibilidad.

El sacheteadora doble tiene un MTBF de 12,71 horas. Sin embargo, el MTTR de 2,60 horas es relativamente bajo, lo que permite una recuperación rápida del equipo, resultando en una disponibilidad del 83,01%. Aunque la rapidez en las reparaciones es positiva, es necesario trabajar en la fiabilidad del equipo para reducir el impacto de la falla de alta criticidad y mejorar su desempeño.

El sacheteadora simple, con un MTBF de 22,93 horas. Su MTTR es de 2,77 horas, lo que también permite una recuperación rápida, con una disponibilidad de 89,22%.

En términos globales, el MTBF promedio de los equipos analizados es de 186,17 horas y el MTTR promedio es de 2,89 horas. Estos indicadores proporcionan una base para evaluar el desempeño general de los equipos críticos, y se comparan con los parámetros establecidos para la gestión de mantenimiento. Los resultados sugieren que, aunque la disponibilidad es aceptable, existen oportunidades claras para mejorar la fiabilidad de los equipos y reducir los tiempos de reparación.

CAPÍTULO V

PROPUESTA

5.1. Introducción

El presente capítulo propone un plan de mantenimiento preventivo y correctivo planificado para las fallas con alto nivel de criticidad de los equipos de alta prioridad de EBA - Planta San Lorenzo, basado en el diagnóstico técnico detallado en el capítulo IV. Este diagnóstico identificó 23 fallas de alta criticidad durante el semestre enero-junio de 2025, con un total de 5.623,20 minutos de parada no programada, equivalentes a 93,72 horas, distribuidas en cuatro equipos clave: el homogeneizador, el pasteurizador, y las sacheteadoras simple y doble. Estas paradas no programadas tienen un impacto significativo en la operatividad y eficiencia del proceso de producción, lo que subraya la urgencia de implementar un plan de mantenimiento que minimice los tiempos de inactividad.

El análisis de criticidad realizado para cada uno de estos equipos permite identificar las fallas recurrentes y su impacto directo en la producción. A partir de los datos obtenidos, se prioriza el mantenimiento preventivo para garantizar que los equipos permanezcan en condiciones operativas óptimas, evitando interrupciones en la producción y mejorando la confiabilidad de los equipos. Además, el mantenimiento correctivo se enfocará en resolver las fallas específicas que ya han sido identificadas y que requieren intervención inmediata para restaurar la funcionalidad de los equipos sin afectar la continuidad del proceso productivo.

Este enfoque integral de mantenimiento preventivo y correctivo no solo optimiza los recursos disponibles, sino que también establece acciones específicas para mejorar la fiabilidad de los equipos más críticos. La implementación de este plan, alineado con los procedimientos normativos establecidos en la NB 12017:2020, permitirá gestionar de manera eficiente las intervenciones de mantenimiento, asegurando una reducción de paradas imprevistas y la maximización de la vida útil de los equipos. De esta manera, la planta no solo podrá incrementar la capacidad productiva, sino también garantizar que los estándares de calidad y seguridad alimentaria se mantengan a lo largo de todo el proceso de producción del yogurt.

5.2. Contexto de la organización

5.2.1. Comprensión de la organización y su contexto

5.2.1.1. Misión y Visión

- **Misión:** “Somos una empresa estatal orgullosamente boliviana, que brinda soluciones en producción, entrega y provisión de alimentos nutritivos y saludables a la población, con seriedad, calidad y responsabilidad social.”
- **Visión:** “Ser la empresa estatal más prestigiosa, reconocida y posicionada en nuestros mercados; un referente en la provisión de alimentos nutritivos y saludables a nivel nacional e internacional; un aliado estratégico confiable que contribuye a mejorar la calidad de vida de su entorno.”

La incorporación de misión y visión permite al plan de mantenimiento alinearse con los objetivos estratégicos de EBA, garantizando que la disponibilidad de los equipos críticos asegure la producción continua de alimentos seguros y de calidad.

5.2.1.2. Análisis FODA

El análisis FODA es una herramienta estratégica que permite identificar y clasificar los factores internos y externos que condicionan el desempeño de un sistema técnico. En el contexto del mantenimiento de la línea de producción de yogurt en EBA Planta San Lorenzo, se estructura en cuatro componentes: fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas

Este marco conceptual guía la estructuración del plan, convirtiendo debilidades en fortalezas, neutralizando amenazas y capitalizando oportunidades para garantizar disponibilidad, confiabilidad y cumplimiento normativo sostenibles.

Figura 33

Matriz FODA del área de mantenimiento.

	FORTALEZAS	DEBILIDADES
FACTORES INTERNOS	(F1) Infraestructura adecuada: 5.000 m ² bien distribuidos (recepción, procesamiento, envasado, cámara fría, laboratorio, administración). (F2) Acceso directo a repuestos locales. (F3) Sistema CIP integrado en todos los equipos. (F4) Producción enfocada: Dos líneas claras.	(D1) Mantenimiento altamente enfocado en correctivo. (D2) Ausencia de planificación. (D3) Falta de registros históricos y documentación técnica. (D4) Carencia de inventarios de repuestos. (D5) Bajo cumplimiento de NB 12017:2020.
	OPORTUNIDADES.	AMENAZAS
FACTORES EXTERNOS	(O1) Aplicación de nuevas técnicas y estrategias de mantenimiento preventivo y correctivo. (O2) Cumplimiento normativo NB 12017:2020 (O3) Desarrollo y aplicación de nuevas estrategias de mantenimiento en base a las sugerencias del personal técnico de mantenimiento y su experiencia.	(A1) Pérdida de contratos gubernamentales. (A2) Presión regulatoria inminente. (A3) Riesgo de colapso operativo.

Fuente: Elaboración propia 2025.

5.2.1.3. Matriz MEFE

La MEFE (*External Factor Evaluation Matrix*) es una herramienta analítica que cuantifica la capacidad de respuesta de la organización frente a los factores externos del entorno, clasificados como oportunidades y amenazas. Estructura y procedimiento:

1. Identificación de factores: Se seleccionan factores externos críticos a partir del escaneo ambiental.
2. Asignación de peso: Valor entre 0,0 y 1,0 que refleja la importancia relativa del factor para el logro de los objetivos estratégicos (suma total = 1,0).
3. Calificación de respuesta (escala 1 a 4):
 - 1 = Respuesta muy pobre.
 - 2 = Respuesta por debajo del promedio.
 - 3 = Respuesta promedio.
 - 4 = Respuesta superior.
4. Cálculo del puntaje ponderado = $\text{Peso} \times \text{Calificación}$.
5. Puntaje total = Suma de todos los puntajes ponderados.

5.2.1.4. Evaluación Externa Matriz MEFE

La evaluación externa considera los factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos y ecológicos que afectan el mantenimiento en la planta.

Tabla 39

Matriz de evaluación MEFE.

Factores Externos	Peso	Calificación	Ponderación
(O1) Aplicación de nuevas técnicas y estrategias de mantenimiento preventivo y correctivo	0,20	4	0,80
(O2) Cumplimiento normativo NB 12017:2020	0,25	4	1,00
(O3) Desarrollo y aplicación de nuevas estrategias de mantenimiento basado en la experiencia del personal	0,25	3	0,75
(A1) Pérdida de contratos gubernamentales	0,15	2	0,3
(A2) Presión regulatoria inminente	0,10	2	0,2
(A3) Riesgo de colapso operativo	0,10	1	0,1
Total Ponderado	1,00	—	3,15

Fuente: Elaboración propia 2025.

Puntuación de 3,15/4: La evaluación externa muestra que EBA – San Lorenzo tiene oportunidades importantes para mejorar la eficiencia operativa a través de estrategias de mantenimiento preventivo y el cumplimiento de las normativas. Sin embargo, las amenazas externas como las fallas recurrentes y la presión regulatoria subrayan la necesidad de un enfoque preventivo.

5.2.1.5. Matriz MEFI

La MEFI (*Internal Factor Evaluation Matrix*) es el complemento interno de la MEFE. Se enfoca en evaluar la fortaleza relativa de los recursos, capacidades y procesos internos de la organización, identificando fortalezas y debilidades que determinan su competitividad técnica y operativa.

Estructura y Procedimiento

1. Identificación de factores: elementos internos claves derivados del diagnóstico técnico.
2. Asignación de peso: Entre 0,0 y 1,0 según su impacto en el desempeño del sistema (suma = 1,0).
3. Calificación del impacto (escala 1 a 4):
 - 1 = Debilidad mayor.
 - 2 = Debilidad menor.
 - 3 = Fortaleza menor.
 - 4 = Fortaleza mayor.
4. Puntaje ponderado = Peso \times Calificación.
5. Puntaje total = Suma total.

5.2.1.6. Evaluación Interna con MEFI

La evaluación interna a través de la Matriz de Evaluación de Factores Internos (MEFI) considera los factores internos que afectan la capacidad de la planta para llevar a cabo un mantenimiento adecuado.

Tabla 40*Matriz de evaluación MEFI.*

Factores Internos	Peso	Calificación	Ponderación
(F1) Infraestructura adecuada: 5.000 m ² bien distribuidos (recepción, procesamiento, envasado, cámara fría, laboratorio, administración)	0,20	4	0,80
(F2) Acceso directo a repuestos locales	0,15	3	0,45
(F3) Sistema CIP integrado en todos los equipos	0,25	4	1,00
(F4) Producción enfocada: Dos líneas claras	0,20	3	0,60
(D1) Mantenimiento altamente enfocado en correctivo	0,15	2	0,30
(D2) Ausencia de planificación	0,10	1	0,10
(D3) Falta de registros históricos y documentación técnica	0,10	2	0,20
(D4) Carencia de inventarios de repuestos.	0,10	2	0,20
(D5) Bajo cumplimiento de NB 12017:2020	0,05	1	0,05
Total Ponderado	1,00	—	3,70

Fuente: Elaboración propia 2025.

Puntuación de 3,70/4: esta evaluación muestra que EBA – San Lorenzo tiene fortalezas significativas en su infraestructura y procedimientos, pero también enfrenta debilidades críticas como la falta de planificación y el bajo cumplimiento de las normativas. Estos resultados justifican la necesidad de priorizar un modelo de mantenimiento preventivo y correctivo.

5.2.2. Compresión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas

Tabla 41

Compresión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas

Partes interesadas	Necesidades	Expectativas	Tipo	Objetivos del Plan
Personal técnico de mantenimiento	Herramientas y recursos necesarios para un servicio de mantenimiento de calidad, Adecuadas condiciones laborales, capacitaciones constantes.	Mejorar la administración y planificaciones de las actividades de mantenimiento. Permanencia en la fuente laboral.	Interno	Definir y estandarizar los procesos de mantenimiento de los equipos críticos.
Personal operativo	Contar con equipos en perfecto estado de funcionamiento. Adecuadas condiciones laborales.	No existe riesgo de accidentes laborales por falta de mantenimiento en los equipos, Permanencia en la fuente laboral.	Interno	Identificar riesgos y oportunidades para prevenir y/o reducir imprevistos o impactos negativos.
Alta dirección	Conservar y prolongar el tiempo de vida de los activos.	Inversión de capital en activos sin peligro de deterioros o depreciaciones prematuras.	Interno	Garantizar el correcto mantenimiento y conservación de los activos críticos de la línea de producción
Jefe de planta	Contar con equipos capaces de garantizar el óptimo funcionamiento en la elaboración de productos	Los equipos no presentan fallas de alta criticidad durante el desarrollo de las actividades	Interno	Contribuir con el cumplimiento de los objetivos y requerimientos del plan.

Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural	Supervisar y coordinar la gestión de la planta para asegurar el cumplimiento de objetivos estratégicos.	Garantizar el correcto funcionamiento de los procesos productivos y que los recursos se gestionen eficientemente.	Externo	Asegurar que las actividades de mantenimiento contribuyan al cumplimiento de los objetivos estratégicos de la planta, promoviendo la eficiencia operativa y el cumplimiento normativo.
Alcaldía de San Lorenzo	Proteger el medio ambiente, salvaguardar la salud pública, cumplir con regulaciones normativas.	Cumplimiento de los estándares de calidad del agua tratada, la gestión adecuada de residuos y subproductos, y la prevención de la contaminación del medio ambiente	Externo	Promover la sostenibilidad ambiental y económica a través de prácticas de mantenimiento que minimicen el impacto ambiental.
SENASAG (Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad Alimentaria)	Cumplir con las normativas de inocuidad alimentaria y seguridad sanitaria.	Garantizar que los equipos y procesos de producción cumplan con las normas sanitarias para la seguridad del producto.	Externo	Asegurar que el mantenimiento de los equipos se realice de acuerdo con las normativas de inocuidad alimentaria y seguridad sanitaria.

Fuente: Elaboración propia 2025.

5.2.3. Matriz de Poder/Interés

La Matriz de Poder/Interés es una herramienta para estructurar y priorizar la gestión de las relaciones con las partes interesadas dentro del plan de mantenimiento de activos. Permite identificar cómo manejar y comunicar de forma efectiva con cada grupo, según su nivel de poder y su interés en el mantenimiento de los equipos. Esta clasificación facilita la comprensión de la dinámica de influencia y el impacto que cada parte interesada puede tener sobre el éxito del plan.

Tabla 42

Criterio de Evaluación de Partes Interesadas.

Calificación	Criterio Poder/Interés
1	Bajo poder / Bajo interés
2	Mediano poder / Mediano interés
3	Alto poder / Alto interés
4	Muy alto poder / Muy alto interés

Fuente: Elaboración propia 2025.

Esta herramienta clasifica a las partes interesadas según su poder e interés, lo que facilita la priorización de esfuerzos y la adecuación de estrategias de comunicación y participación para cada grupo. Según los criterios establecidos, se realiza la clasificación de cada una de las partes interesadas en función de sus niveles de poder e interés en el plan de mantenimiento. De esta manera, se pueden identificar qué partes interesadas requieren una gestión activa, cuáles necesitan ser mantenidas informadas y cuáles tienen un impacto mínimo, lo que permite enfocar los recursos y esfuerzos de forma eficiente para lograr el éxito del plan.

Tabla 43

Clasificación de las partes interesadas.

Tipo	Parte interesada	Poder	Interés
Interno	Personal técnico de mantenimiento	1	4
	Personal operativo	2	3
	Alta dirección	4	3
	Jefe de planta	4	4
Externo	Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural	4	2
	SENASAG	3	2
	Alcaldía de San Lorenzo	2	1

Fuente: Elaboración propia 2025.

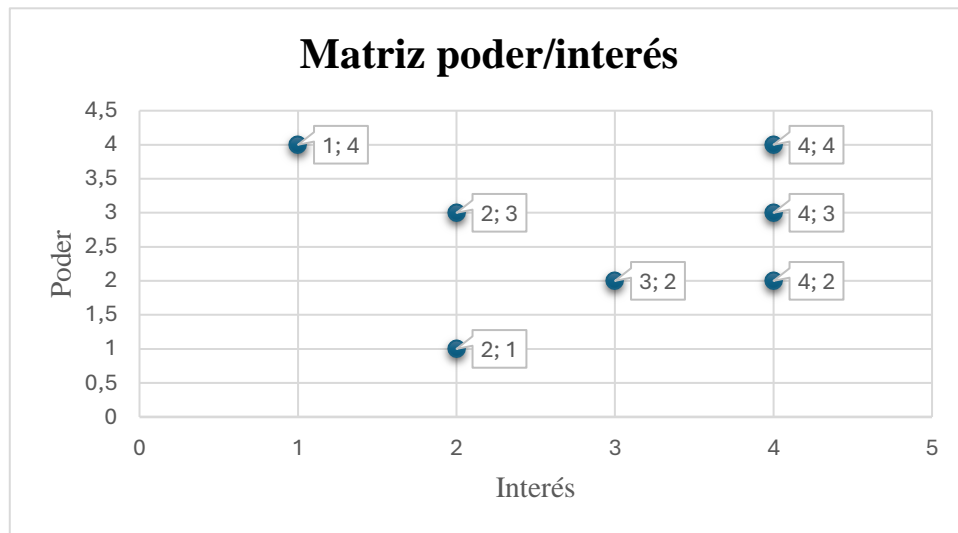
En el grupo interno, el Personal técnico de mantenimiento, con un poder bajo (1) y un alto interés (4), tiene poca capacidad de influencia, pero su alto interés requiere que se mantengan informados y comprometidos en el proceso. El Personal operativo tiene un poder moderado (2) y un interés medio (3), por lo que debe ser involucrado adecuadamente, sin sobrecargar la comunicación, pero atendiendo sus necesidades y preocupaciones. En cuanto a EBA - Planta San Lorenzo, con un alto poder (4) y un interés moderado (3), su influencia en el proyecto es significativa, por lo que se debe mantener alineado con los objetivos generales. Finalmente, el Jefe de planta, con un alto poder (4) y un alto interés (4), es crucial para el éxito del plan y debe ser gestionado de manera cercana y activa.

Respecto al grupo externo, el Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural, con un poder alto (4) pero un interés bajo (2), tiene la capacidad de influir en el proyecto, pero su involucramiento directo es limitado. Se debe asegurar su apoyo y mantenerlos informados sin involucrarlos demasiado en el detalle. El SENASAG, con un poder moderado (3) y un bajo interés (2), tiene una capacidad de influencia

intermedia, pero su bajo interés implica que solo se debe cumplir con sus requerimientos regulatorios. Finalmente, la Alcaldía, con un bajo poder (2) y un interés muy bajo (1), tiene un impacto mínimo en el proyecto, por lo que se le debe dedicar la mínima atención necesaria.

Figura 34

Matriz poder/ interés de las partes interesadas.



Fuente: Elaboración propia 2025.

5.2.4. Determinación del alcance del plan de mantenimiento

El alcance del plan propuesto para EBA - Planta San Lorenzo abarca las fallas de alta criticidad de los equipos críticos de la línea de producción de yogurt, identificadas durante el diagnóstico. Este alcance no se limita únicamente a la ejecución de tareas de mantenimiento, sino que comprende de manera integral todas las actividades de planificación, ejecución, supervisión y control de mantenimiento preventivo y correctivo planificado, así como la gestión de repuestos, documentación técnica, indicadores de desempeño y acciones de mejora continua, en concordancia con los requerimientos de la NB 12017:2020.

5.2.5. Plan de mantenimiento de activos

El Plan de Mantenimiento de Activos es un conjunto organizado de actividades programadas que busca garantizar la operatividad continua y prolongar la vida útil de los equipos. A través de acciones preventivas, se busca evitar fallas de alta criticidad que puedan afectar el rendimiento del proceso. El objetivo es minimizar el tiempo de inactividad, optimizar el uso de recursos y asegurar la disponibilidad de los equipos esenciales, garantizando así la eficiencia operativa y prolongando su vida útil.

5.2.5.1. Procesos del plan de mantenimiento

5.2.5.1.1. Procesos estratégicos

Los procesos estratégicos definen la dirección y los lineamientos generales del plan, asegurando que todas las actividades se alineen con los objetivos de disponibilidad y cumplimiento normativo.

- **Planificación estratégica del mantenimiento:** Define la política de mantenimiento, los objetivos generales y la priorización de equipos críticos. Considera los resultados del diagnóstico enero–junio 2025, indicadores MTBF/MTTR, análisis FMEA y Pareto, y la disponibilidad de recursos humanos y materiales.
- **Gestión normativa y de cumplimiento:** Garantiza que todas las actividades del plan se ejecuten conforme a SENASAG y NB 12017:2020. Incluye auditorías internas semestrales, registro digital y control documental de todas las intervenciones.
- **Programación y coordinación estratégica:** Define cronogramas generales de mantenimiento preventivo y correctivo. Establece recursos y tiempos de intervención, integrando procesos operativos y de apoyo. Alinea las actividades con los objetivos del semestre y del modelo de mantenimiento preventivo y correctivo.

5.2.5.1.2. Procesos clave (operativos)

Los procesos clave constituyen el núcleo del plan, orientados a la ejecución efectiva del mantenimiento y supervisión de los equipos críticos.

- **Mantenimiento preventivo:** Ejecución conforme a cronogramas establecidos: lubricación, calibración y verificación de parámetros operativos. Registro digital de todas las acciones para asegurar trazabilidad.
- **Mantenimiento correctivo:** Intervenciones de fallas detectadas. Priorización según criticidad FMEA/Pareto. Reposición o ajuste de componentes minimizando interrupciones.
- **Supervisión y control operativo:** Monitoreo de la ejecución de actividades. Validación cumplimiento de cronograma. Detección de desviaciones para aplicar correcciones oportunas.
- **Evaluación del desempeño:** Seguimiento de indicadores KPI: disponibilidad, cumplimiento preventivo, paradas no programadas y cumplimiento normativo. Aplicación de metodología de seguimiento de tendencias MTBF/MTTR.

5.2.5.1.3. Procesos de apoyo

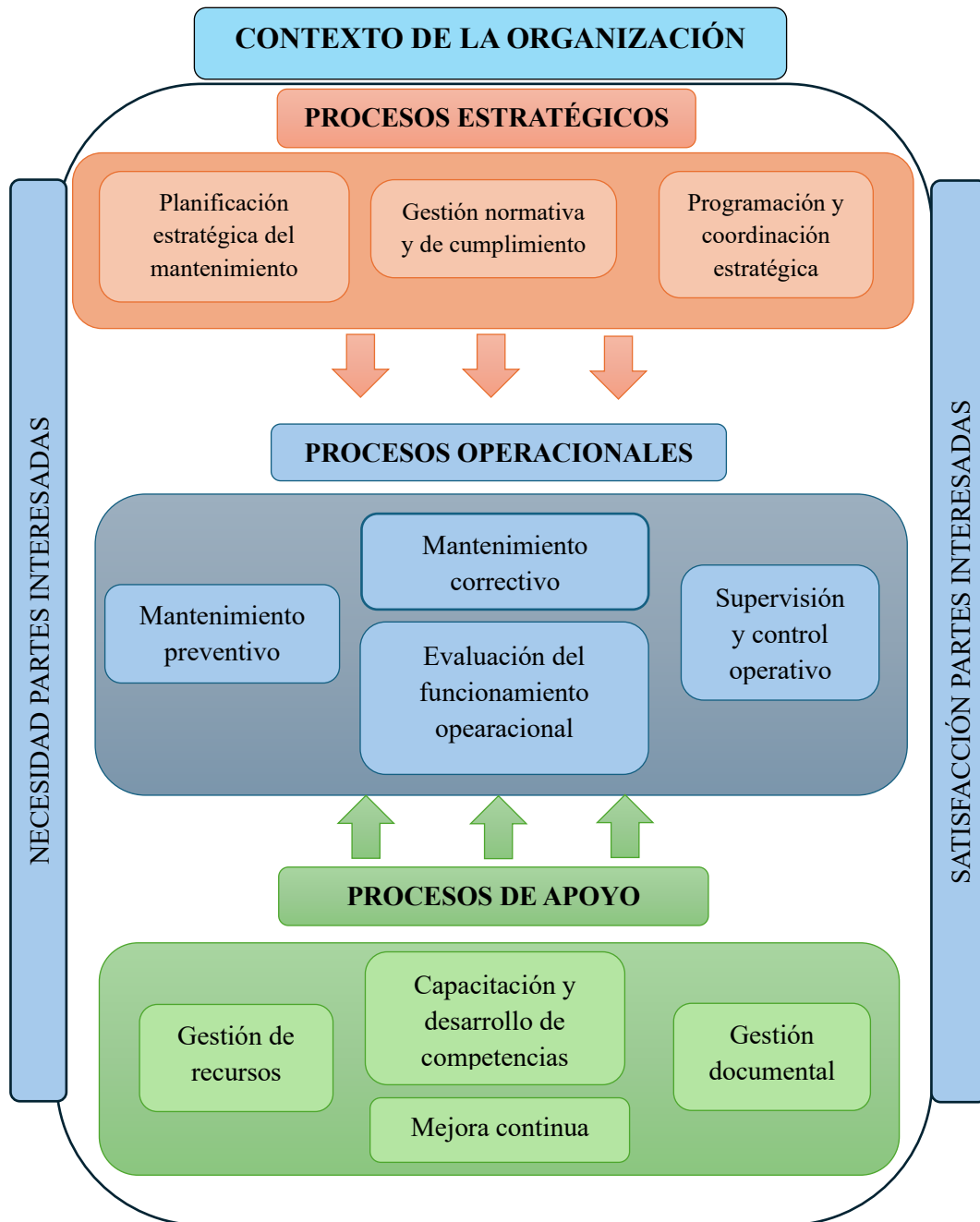
Los procesos de apoyo proporcionan recursos, formación, información y estructura necesarios para que los procesos estratégicos y clave funcionen eficientemente.

- **Gestión de recursos:** Disponibilidad de repuestos, herramientas y stock mínimo de componentes críticos.
- **Capacitación y desarrollo de competencias:** Formación del personal.
- **Gestión documental:** Registros digitales de mantenimiento, KPI y trazabilidad de intervenciones.
- **Mejora continua:** Implementación del ciclo PHVA para ajustes sistemáticos de frecuencia, recursos y procedimientos. Incorporación de lecciones aprendidas para optimizar el sistema.

5.2.5.1.4. Mapa de procesos del plan

Figura 35

Mapa de procesos del plan de mantenimiento.



Fuente: Elaboración propia 2025.

Este mapa evidencia la jerarquía y flujo de los procesos, mostrando cómo los procesos estratégicos guían los operativos, y los procesos de apoyo proporcionan recursos y soporte, alineado con la NB 12017:2020 y el plan de mantenimiento propuesto.

5.3. Liderazgo

El liderazgo se enfoca en garantizar la eficiencia operativa y el cumplimiento de los estándares establecidos. El objetivo es coordinar al equipo de mantenimiento para asegurar que las actividades preventivas y correctivas se ejecuten correctamente, optimizando los recursos y minimizando los tiempos de inactividad.

5.3.1. Política de mantenimiento

La política de mantenimiento de EBA - Planta San Lorenzo tiene como objetivo garantizar que todos los equipos críticos utilizados en la producción de yogurt operen a su máxima capacidad, minimizando el tiempo de inactividad y maximizando la eficiencia operativa, donde es fundamental la gestión de fallas de alta criticidad. Esta política establece un enfoque balanceado entre el mantenimiento preventivo y correctivo, donde se priorizan las tareas de prevención para evitar fallas imprevistas y asegurar la continuidad de la producción.

5.3.1.1. Roles y responsabilidades

El liderazgo en el plan de mantenimiento recae en las siguientes figuras clave, cuyas responsabilidades deben estar bien definidas para asegurar la correcta ejecución del plan:

Jefe de planta (responsable de aprobación y supervisión general):

- Aprobar el plan de mantenimiento y garantizar que se cumpla con los objetivos de disponibilidad, fiabilidad y seguridad de los equipos involucrados.
- Validar los KPI y revisar los resultados operacionales para asegurar el cumplimiento de la política de mantenimiento.
- Coordinar con SENASAG para las auditorías y asegurarse de que el plan cumpla con la normativa boliviana.

Encargado de mantenimiento (responsable de la ejecución del plan):

- Elaborar el cronograma de mantenimiento preventivo y correctivo, priorizando los equipos críticos y gestión de fallas de alta criticidad.
- Supervisar las acciones de mantenimiento y garantizar que se realicen según lo programado.
- Gestionar los recursos necesarios (repuestos, herramientas, personal capacitado) para la ejecución de las tareas de mantenimiento.
- Asegurar que todas las actividades estén documentadas y actualizadas en los registros de mantenimiento.

Auxiliar de mantenimiento

- Realizar las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo según el cronograma establecido.
- Inspeccionar, reparar y ajustar los equipos, asegurándose de que todos los procedimientos estén alineados con las políticas de mantenimiento.
- Registrar todas las actividades de mantenimiento en los informes digitales para facilitar el análisis posterior.

Operarios de producción

- Reportar cualquier anomalía o fallo detectado en los equipos durante la producción.
- Colaborar con los técnicos en la ejecución de las acciones correctivas cuando sea necesario.

Con el objetivo de asegurar el éxito del plan de mantenimiento propuesto, se realiza en los manuales de funciones específicamente para el personal de involucrado en el mantenimiento. A si la incorporación de un nuevo puesto de trabajo.

5.4. Planificación

5.4.1 Planificación del mantenimiento

Es el proceso de organizar y programar de manera sistemática las actividades de mantenimiento de los equipos, con el fin de garantizar su óptimo funcionamiento y prolongar su vida útil. Este proceso abarca la identificación de las necesidades de mantenimiento preventivo y correctivo, la programación de las intervenciones, la asignación de los recursos necesarios y la gestión del tiempo para minimizar los impactos en la producción u operación.

5.4.1.1. Acciones para abordar riesgos y oportunidades

La norma NB 12017:2020 exige identificar riesgos y oportunidades, se realiza mediante la herramienta FMEA y planificar acciones para mitigarlos o capitalizarlos. A partir del diagnóstico, donde el análisis de Pareto revela que el 60 % de las causas radica en la falta de planificación, registros y repuestos, y considerando únicamente las cuatro fallas que son las de alta criticidad (cambio de empaques en pasteurizador, cambio de sellos mecánicos en pasteurizador, ajuste de codificador térmico en sacheteadora simple y calibración de sellado en sacheteadora doble), se detallan a continuación los riesgos y oportunidades identificados.

Tabla 44

Riesgos Identificados (FMEA simplificado, priorizados por probabilidad, según el diagnóstico)

	Modo de Falla	Impacto Potencial	Prob.	Consecuencia
	Falta de planificación	Paradas no programadas	Alta	Impacto en producción, costos.

CAUSAS DE PARADAS INESPERADAS	Ausencia de registros	Diagnóstico erróneo	Alta	MTTR incrementado en 50 %, reducción de fiabilidad
	Escasa disponibilidad de repuestos	Esperas superiores a 2 horas	Alta	Paradas extendidas, productividad reducida en 10 %
	Capacitación insuficiente	Errores en intervenciones	Alta	MTTR elevado, reducción de seguridad
FALLAS DE ALTA CRITICIDAD	Cambio de empaques en pasteurizador	Fugas, pérdida de temperatura, calidad afectada	Alta ocurrencia	Paradas superiores a 2 horas, rechazo de lotes
	Cambio de retenes en el homogeneizador	Fugas, pérdida de presión	Alta ocurrencia	Pérdida de calidad del producto, paradas prolongadas.
	Calibración de sellado en sachetadora doble	Sellado defectuoso, pérdida de hermeticidad	Alta ocurrencia	Sellado no conforme, rechazo de lotes
	Ajuste de codificador térmico en sachetadora simple	Impresión ilegible, incumplimiento de etiquetado	Alta ocurrencia	Paradas superiores a 1 hora, impacto en calidad

Fuente: Elaboración propia 2025.

Tabla 45

Oportunidades aprovechadas del MEFE, alineadas con FODA y diagnóstico.

Oportunidad	Descripción	Beneficio	Acción Planificada
Implementación de mantenimiento preventivo	Aplicación de técnicas basadas en Pareto y FMEA	Reducción de paradas, aumento de vida útil.	Cronogramas. Ciclo PHVA (apoyo: mejora continua)
Capacitación del personal en mantenimiento correctivo y preventivo	Desarrollo de competencias a partir de la experiencia existente	Reducción de MTTR, aumento de disponibilidad.	Programa más certificación NB 12017.
Optimización de la gestión de repuestos	Sistema de stock con proveedores locales	Reducción de esperas, costos disminuidos,	Gestión eficiente de inventarios, base de datos actualizada.

Fuente: Elaboración propia 2025.

Estas acciones transforman las debilidades internas (MEFI) en fortalezas y mitigan las amenazas externas (MEFE), asegurando el cumplimiento normativo y la mejora continua.

5.4.2. Definición de objetivos de mantenimiento

Los objetivos siguen la metodología SMART, claros, medibles y alineados con los objetivos operativos, la misión y visión de EBA, se establecen objetivos SMART:

Tabla 46

Objetivo SMART de mantenimiento

Objetivo de mantenimiento	Descripción	Indicador de Éxito	Formula	F. de seguimiento	Meta	Justificación
Alcanzar un cumplimiento del 60 % de la norma NB 12017:2020	Grado en que la empresa ha logrado implementar y seguir los procedimientos, prácticas, establecidos por la norma en sus procesos de mantenimiento de las fallas de alta criticidad de los equipos críticos.	Cumplimiento de requisitos.	$\frac{\text{Req. Cump}}{\text{Req. aplic.}} \times 100$	Semestral	Cumplir con el 60 %	Alcanzar este nivel de cumplimiento garantiza una implementación sólida de las mejores prácticas en mantenimiento preventivo, gestión de repuestos y capacitación del personal, lo cual incrementa la eficiencia operativa y la fiabilidad de los equipos.
Garantizar el Cumplimiento del 90 % de las actividades programadas en los cronogramas de mantenimiento.	Asegurar la ejecución de todas las actividades programadas en los cronogramas de mantenimiento, garantizando que cada tarea de mantenimiento preventivo y correctivo se realice según el calendario establecido	Cumplimiento de los cronogramas	$\frac{\text{Act. Cump}}{\text{Act. progr.}} \times 100$	Mensual	Cumplir con el 90 %	Asegurar el cumplimiento total del cronograma de mantenimiento es un factor clave para la sostenibilidad operativa de la empresa, ya que previene fallas imprevistas, mejora la eficiencia de los equipos y optimiza los costos
Elaborar la documentación técnica de las fallas con alto nivel de criticidad de los equipos críticos.	Crear una documentación detallada sobre las fallas con alto nivel de criticidad de cada equipo crítico, incluyendo las causas, impactos en la producción, y las acciones preventivas y correctivas necesarias.	Documentación técnica de las fallas con alto nivel de criticidad completada y actualizada.	Documentación estructurada y organizada	Semestral	Tener la documentación técnica y actualizada para todas las fallas con alto nivel de criticidad.	La documentación técnica facilitará la planificación, ejecución y control del mantenimiento preventivo y correctivo, asegurando una rápida identificación y manejo de fallas con alto nivel de criticidad.

Mejorar la disponibilidad operativa	Reducción de MTTR e incremento de MTBF mediante Cronograma de mantenimiento y gestión de stock de repuestos	Disponibilidad de equipos críticos	$\frac{I. \text{ prop.} - I. \text{ act.}}{I. \text{ act.}} \times 1$	Semestral	Incremento del 5 % (meta 95%)	La mejora en la disponibilidad operativa se mejora mediante la reducción del MTTR y el incremento del MTBF
Establecer un sistema de control de repuestos y materiales para las fallas con alto nivel de criticidad	Definir un sistema básico de control de repuestos y materiales, asegurando que las piezas críticas para las fallas con alto nivel de criticidad estén siempre disponibles.	Sistema de control de repuestos y materiales implementado y funcional.	Registro de inventarios y control de repuestos críticos necesarios para las fallas con alto nivel de criticidad.	Mensual	Tener un sistema de control de repuestos operando al 100%, con disponibilidad continua de repuestos críticos.	La falta de repuestos críticos puede aumentar el tiempo de inactividad, afectando gravemente la productividad.
Implementar un programa de capacitación para el personal de mantenimiento con un cumplimiento del 90% y Realizar evaluaciones continuas de desempeño	Ejecutar de manera efectiva un programa de capacitación integral para todo el personal de mantenimiento, debe estar enfocada en fortalecer las competencias técnicas.	Cumplimiento del programa de capacitación	$\frac{\text{Cap. Cump}}{\text{Cap. Progr.}} \times 100$	Semestral	Cumplimiento mayor al 90%	Llevará a un personal mejor capacitado y más competente, lo que tendrá un impacto directo en la reducción de tiempos de inactividad, menor frecuencia de fallas y mayor seguridad en las operaciones de mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia 2025.

5.5. Apoyo

5.5.1. Recursos

Para establecer, mantener y mejorar de manera efectiva el plan de mantenimiento de equipos críticos, la organización debe proveer todos los recursos necesarios para asegurar el correcto funcionamiento del sistema. Esto incluye los medios, sistemas y herramientas esenciales que permiten alcanzar diversos objetivos, como la optimización de la disponibilidad de los equipos críticos, la mitigación de riesgos, la mejora continua del desempeño de los procesos y la rentabilidad organizacional. Los recursos también son fundamentales para satisfacer las expectativas de las partes interesadas, garantizar la seguridad en las operaciones y fomentar la innovación en la gestión del mantenimiento de los activos.

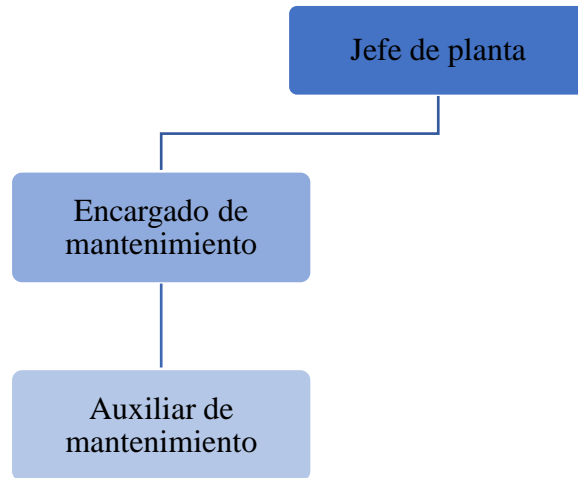
5.5.2. Estructura jerárquica y organizacional

Para asegurar la efectividad del plan de mantenimiento de equipos críticos, se define una estructura jerárquica clara que asigna roles y responsabilidades específicas. Se determinan los puestos clave, los requisitos de capacitación y las competencias necesarias para garantizar la correcta ejecución de las actividades de mantenimiento. El personal técnico se especializa en tareas preventivas y correctivas, mientras que los supervisores aseguran el cumplimiento de los objetivos del plan. Además, se requiere establecer manuales funcionales para cada puesto, detallando funciones, responsabilidades y procesos operativos. Esto garantiza una gestión eficiente de los equipos críticos y fallas de alta criticidad, optimizando los recursos y reduciendo tiempos de inactividad.

Para ello se tiene la figura de la estructura organizacional involucrada en el área de interesada.

Figura 36

Estructura organizacional.



Fuente: Elaboración propia 2025.

5.5.3. Toma de conciencia

El encargado de mantenimiento de la planta EBA – San Lorenzo, bajo la supervisión del jefe de planta, tiene la responsabilidad de garantizar que todo el personal involucrado en el proceso de mantenimiento, tanto de manera directa como indirecta, adquiera una comprensión clara sobre los aspectos esenciales del plan de mantenimiento. Esto incluye:

- Comprender la importancia del plan de mantenimiento y los beneficios que trae a la organización, tales como la optimización de los recursos, la disponibilidad de los equipos y la mejora de la productividad.
- Revisar las políticas y objetivos establecidos dentro del plan, asegurando que las acciones estén alineadas con los objetivos de eficiencia operativa y reducción de riesgos.

- Familiarización con los procesos de mantenimiento, abarcando actividades preventivas y correctivas que garanticen el funcionamiento continuo de los equipos críticos.
- Reconocer la importancia de sus roles y responsabilidades dentro del plan, comprendiendo que cada miembro del equipo contribuye al éxito global del mantenimiento de los equipos críticos.
- Sensibilizar sobre los riesgos asociados con las actividades de mantenimiento y la necesidad de gestionarlos adecuadamente para prevenir fallas de alta criticidad y accidentes.
- Subrayar la importancia del cumplimiento de las medidas de seguridad y salud ocupacional, protegiendo al personal y a los equipos.
- Entender la relevancia de una correcta gestión documental, garantizando que todas las actividades y procedimientos de mantenimiento estén correctamente registrados, lo cual impacta positivamente en el rendimiento global del plan.

Esta toma de conciencia, promovida por el encargado de mantenimiento, asegura que todos los miembros del equipo estén alineados con los valores, objetivos y procedimientos del plan, contribuyendo a una operación coherente y al éxito sostenible del plan de mantenimiento de equipos críticos.

5.5.4. Comunicación

La Matriz de Comunicación es una herramienta que permite organizar y estructurar los flujos de información de manera clara y eficiente. Sus componentes clave incluyen:

1. **Emisor:** Es la persona o grupo que transmite la información.
2. **Mensaje:** Se refiere a la información que se desea comunicar. Puede incluir desde las políticas de mantenimiento, hasta las acciones correctivas derivadas de fallas detectadas, pasando por las solicitudes de servicios y materiales.

3. **Medio:** El canal a través del cual se transmite la información. En la gestión de mantenimiento, los medios comunes son las reuniones, los correos electrónicos, los informes digitales, las capacitaciones u otros medios.
4. **Frecuencia:** Define la periodicidad con la que la información debe ser comunicada. La frecuencia debe adaptarse a la naturaleza de la información: mensual, semestral, o según la necesidad operativa.
5. **Receptor:** Son las personas o grupos que reciben la información. Los receptores en el plan de mantenimiento incluyen a todos los actores involucrados.

La aplicación de la Matriz de Comunicación en el plan de mantenimiento de equipos garantiza que todos los actores involucrados reciban la información necesaria en el momento adecuado.

Tabla 47

Matriz de comunicación de involucrados en el plan de mantenimiento.

Emisor	Mensaje	Medio	Frecuencia	Receptor
Jefe de Planta	Política y objetivos del plan de mantenimiento	Reuniones presenciales o virtuales. Inducciones. Capacitaciones.	Anual. Requerimiento de actualización.	Encargado de Mantenimiento. Auxiliar de Mantenimiento.
Encargado de Mantenimiento	Plan de mantenimiento mensual	Reuniones presenciales o virtuales. Capacitaciones. Correos electrónicos.	Mensual.	Auxiliar de Mantenimiento. Personal operativo.
Encargado de Mantenimiento	Indicadores de rendimiento (KPIs)	Reuniones presenciales o virtuales. Correos electrónicos	Mensual. Requerimientos de actualización.	Jefe de Planta. Auxiliar de Mantenimiento.
Encargado de Mantenimiento	Documentación del plan de mantenimiento (procedimientos, manuales, registros)	Reuniones presenciales o virtuales. Correos electrónicos	Requerimiento de modificaciones y/o actualizaciones.	Jefe de Planta. Auxiliar de Mantenimiento.

Encargado de Mantenimiento	Funciones y responsabilidades del plan	Reuniones presenciales o virtuales. Capacitaciones. Documentación técnica.	Requerimiento de modificaciones y/o actualizaciones.	Auxiliar de Mantenimiento.
Encargado de Mantenimiento	Acciones preventivas y correctivas	Reuniones presenciales o virtuales, Correos electrónicos. Llamadas mediante plataformas digitales.	Cuando aplica.	Jefe de Planta. Auxiliar de Mantenimiento.
Encargado de Mantenimiento	Solicitudes de servicios externos (proveedores)	Correos electrónicos. Llamadas mediante plataformas digitales.	Cuando aplica.	Proveedores. Contratistas.

Fuente: Elaboración propia 2025.

5.5.5. Información documentada

5.5.5.1. Generalidades

El plan de mantenimiento de equipos de EBA - Planta San Lorenzo considera la creación de toda la documentación técnica interna necesaria para las actividades relacionadas con el mantenimiento preventivo y correctivo enfocado en las fallas de alta criticidad de los equipos críticos de la línea de yogurt. La documentación del plan se enfoca en garantizar la eficiencia, la trazabilidad y la aplicabilidad práctica de cada procedimiento, registro o manual técnico.

5.5.5.2. Elaboración y Actualización

La elaboración y actualización de la documentación del plan es una actividad continua que garantiza la consistencia y la vigencia de la información registrada. Cada documento relacionado con el mantenimiento como procedimientos técnicos, instructivos operativos, manuales, registros e informes de inspección se redacta, revisa y aprueba de acuerdo con criterios técnicos establecidos.

Toda la documentación del plan de mantenimiento de equipos sigue un proceso estandarizado que permite su control, registro y almacenamiento, asegurando la integridad de la información. Este manejo documental se desarrolla conforme a los lineamientos de la Norma Boliviana NB 12017:2020, garantizando la coherencia con los objetivos del plan y contribuyendo a la mejora continua de las actividades de mantenimiento.

Tabla 48

Documentación del plan de mantenimiento.

Documentación - Contexto de la Organización		
Comprensión de la organización y su contexto (Matriz FODA)	Registro	EBA-PM-RG-01
Identificación de las partes interesadas, sus necesidades y expectativas	Registro	EBA-PM-RG-02
Mapa de procesos del PM	Registro	EBA-PM-RG-03
Documentación - Liderazgo		
Acta de compromiso	Documento	EBA-PM-DC-01
Política del PM	Documento	EBA-PM-DC-02
Documentación - Requisito 6: Planificación		
Procedimiento para la evaluación de riesgos y oportunidades	Procedimiento	EBA-PM-PR-01
Matriz de evaluación de riesgos	Registro	EBA-PM-RG-04
Criticidad de equipos	Registro	EBA-PM-RG-05
Matriz de objetivos del plan de mantenimiento	Registro	EBA-PM-RG-06
Documentación - Apoyo		
Estructura orgánica del departamento de mantenimiento	Documento	EBA-PM-DC-03
Manual de funciones del Departamento de Mantenimiento	Manual	EBA-MT-MF-01
Matriz de comunicaciones del Plan de Mantenimiento	Registro	EBA-PM-RG-07
Documentación - Operación		
Procedimiento de mantenimiento preventivo	Manual	EBA-MT-MP-01

Plan semestral de mantenimiento preventivo	Registro	EBA-PM-RG-08
Orden de trabajo de mantenimiento	Registro	EBA-PM-RG-09
Procedimiento de mantenimiento correctivo	Manual	EBA-MT-MPC-01
Solicitud de mantenimiento	Registro	EBA-PM-RG-10
Procedimiento para la realización de mantenimiento preventivo del equipo homogeneizador, operación cambio de retenes	Manual	EBA-MT-MPP-HM-CR-01
Procedimiento para la realización de mantenimiento preventivo del equipo pasteurizador, operación cambio de empaques de placas	Manual	EBA-MT-MPP-PT-CE-01
Procedimiento para la realización de mantenimiento preventivo del equipo sacheteadora doble, operación calibración del sellado	Manual	EBA-MT-MPP-SD-CS-01
Procedimiento para la realización de mantenimiento preventivo del equipo sacheteadora simple, operación ajuste del codificador térmico	Manual	EBA-MT-MPP-SS-ACT-01
Instructivo del procedimiento LOTO	Instructivo	EBA-MT-INST-LOTO-01
Instructivo del procedimiento de limpieza CIP	Instructivo	EBA-MT-INST-CIP-01
Registro de solicitud, recepción y ejecución de mantenimiento	Registro	EBA-MT-RG-OT
Check list de preparación antes del mantenimiento	Registro	EBA-MT-RG-CHL
Verificación de equipos de protección personal	Registro	EBA-MT-RG-EPP
Verificación de la correcta aplicación de "LOTO"	Registro	EBA-MT-RG-LOTO
Verificación de limpieza previa	Registro	EBA-MT-RG-LP
Verificación de prueba en operación del pasteurizador	Registro	EBA-MT-RG-PO-PT
Verificación de prueba en operación del homogeneizador	Registro	EBA-MT-RG-PO-HM

Verificación de prueba en operación del Sacheteadora simple	Registro	EBA-MT-RG-PO-SS
Verificación de prueba en operación del sacheteadora doble	Registro	EBA-MT-RG-PO-SD
Documentación - Evaluación del desempeño		
Matriz de indicadores	Registro	EBA-PM-RG-11
Procedimiento para la Realización de Auditorías Interna	Procedimiento	EBA-PM-PR-02
Procedimiento para la selección y evaluación del equipo auditor interno	Procedimiento	EBA-PM-PR-03
Programa de Auditorías Internas	Registro	EBA-PM-RG-12
Plan de Auditorías Internas	Registro	EBA-PM-RG-13
Lista de Verificación de Requisitos	Registro	EBA-PM-RG-14
Informe de Auditorías	Registro	EBA-PM-RG-15
Documentación – Mejora		
Procedimiento de tratamiento de no conformidades e imprevistos	Procedimiento	EBA-PM-PR-04
Solicitud de acciones correctivas	Registro	EBA-PM-RG-16

Fuente: Elaboración propia 2025.

5.6. Operación

El plan de mantenimiento de equipos debe establecer las acciones de coordinación y ejecución de los procesos planificados y programados con el fin de garantizar su correcta realización y la disponibilidad de los equipos críticos de la línea de producción de yogurt.

5.6.1. Ejecución de acciones de coordinación

La organización debe planificar de manera detallada las tareas, los recursos necesarios y los tiempos específicos para llevar a cabo las actividades de mantenimiento. Además, se debe generar la información documentada correspondiente para la ejecución

operativa y comunicarla oportunamente a todas las partes interesadas, como el personal de mantenimiento, los operadores y el jefe de planta, para asegurar la correcta ejecución de las actividades planificadas.

5.6.2. Ejecución operativa interna

La ejecución operativa del mantenimiento requiere que la organización de mantenimiento determine lo siguiente:

- La información documentada aplicable para la ejecución física de las actividades de mantenimiento (procedimientos, manuales, registros).
- El nivel de competencia del personal involucrado, asegurando que cada miembro del equipo tenga las habilidades y conocimientos necesarios para realizar la tarea de manera adecuada.
- Los recursos materiales adecuados (herramientas, repuestos, equipos de seguridad) para garantizar que las actividades se realicen de forma segura y eficiente.
- Las condiciones necesarias para una ejecución operativa efectiva, como la disponibilidad de equipos, la seguridad en el trabajo y la planificación de tiempos para minimizar los impactos en la producción.

Para asegurar la correcta ejecución de estas actividades, se han establecido los procedimientos de mantenimiento preventivo procedimiento de mantenimiento y mantenimiento correctivo. Estos procedimientos garantizan que todas las tareas se realicen conforme a las mejores prácticas de mantenimiento y que se cumplan los objetivos de disponibilidad y fiabilidad de los equipos críticos de la planta.

5.7. Evaluación de desempeño

La evaluación del desempeño permite a la organización implementar acciones de control periódicas y planificadas para evaluar tanto el desempeño de los procesos individuales como el rendimiento global del plan de mantenimiento de equipos críticos.

En este contexto, la Norma Boliviana NB 12017:2020 establece tres componentes esenciales para llevar a cabo estas actividades de manera efectiva:

- Seguimiento, medición y análisis
- Auditorías internas
- Revisión por la Dirección

5.7.1. Seguimiento, medición y análisis

En el marco de seguimiento, medición y análisis, se incluyen actividades específicas relacionadas con el control de procesos y las acciones de control del plan de mantenimiento de equipos. El objetivo es monitorear constantemente el desempeño del mantenimiento de los equipos críticos, evaluar la efectividad de las intervenciones y asegurarse de que las metas establecidas se cumplan de manera eficiente.

5.7.1.1. Control de procesos

Dentro del control de procesos, se implementan acciones que permiten verificar, medir y evaluar tanto la eficacia como la eficiencia de los procesos de mantenimiento. Estas acciones también buscan asegurar el cumplimiento de los objetivos establecidos y evaluar los resultados obtenidos en relación con los objetivos planificados.

Se utilizan indicadores de desempeño definidos en las fichas de caracterización de procesos, que permiten analizar y evaluar el comportamiento de cada proceso de mantenimiento. Estos indicadores facilitan la comparación entre los resultados obtenidos y los resultados planificados, ayudando a identificar desviaciones y oportunidades de mejora.

5.7.1.2. Acciones de control del plan de mantenimiento de equipos

5.7.1.2.1. Indicadores

Para evaluar el grado de cumplimiento de los objetivos del plan de mantenimiento, se definen indicadores específicos que miden los objetivos vinculados a la estructura de

mantenimiento, los objetivos del plan de mantenimiento de equipos y aquellos acordados con las partes interesadas.

Los indicadores se crean de acuerdo con las necesidades del mantenimiento preventivo y correctivo, con un enfoque en las fallas críticas de los equipos. Estos indicadores permiten realizar un seguimiento detallado del desempeño del sistema de mantenimiento, lo que facilita la identificación de posibles áreas de mejora.

Se establece una matriz de indicadores, en la cual se detallan los siguientes aspectos:

- Método de cálculo de cada indicador.
- Límites de tolerancia aceptados para cada indicador.
- Responsable de determinar y analizar los indicadores.

Este sistema de indicadores asegura una gestión eficiente del plan, permitiendo que la organización pueda ajustar las actividades de mantenimiento basadas en el análisis de los resultados obtenidos y tomando decisiones para mejorar continuamente la disponibilidad de los equipos y minimizar las fallas críticas.

Tabla 49

Matriz de indicadores.

OBJETIVOS DEL PM	Objetivo 1	Objetivo 2	Objetivo 3	Objetivo 4	Objetivo 5	Objetivo 6
Indicador	Porcentaje de cumplimiento de la norma NB 12017:2020	Porcentaje de cumplimiento de actividades programadas	Porcentaje de cumplimiento de actividades programadas	Disponibilidad de equipos críticos	Gestión de repuestos críticos	Cumplimiento del programa de capacitación
Fórmula	$\frac{\text{Req. cumpl.}}{\text{Req. aplic.}} * 100 \%$	$\frac{\text{Act. realizadas}}{\text{Total de act.}} * 100\%$	$\frac{\text{Act. realizadas}}{\text{Total de act.}} * 100\%$	$\frac{I. prop. - I. act.}{I. act.} * 100\%$	$\frac{\text{Rep. disp.}}{\text{Rep. crít. req.}} * 100\%$	$\frac{\text{Cap. cumplid.}}{\text{Cap. prog.}} * 100\%$
Tolerancia	> 60%	> 90%	> 90%	> 90%	100%	> 90%
Frecuencia	Semestral	Mensual	Semestral	Semestral	Mensual	Semestral
Resultado	Cumplimiento del 60% de la norma	Cumplimiento del 90% de actividades programadas	Cumplimiento del 90% de actividades programadas	Incremento del 5% en la disponibilidad operativa	Sistema de control de repuestos operando al 100%	Cumplimiento mayor al 90% del programa de capacitación
Plan de acciones	Implementar mejoras en el sistema de gestión de mantenimiento según los requisitos de la norma	Mejorar la programación y ejecución de las actividades mensuales de mantenimiento crítico	Asegurar la correcta ejecución del cronograma anual de mantenimiento y minimizar los riesgos operativos	Revisar y ajustar el cronograma de mantenimiento preventivo para asegurar la disponibilidad de equipos	Implementar un sistema de control de inventarios de repuestos y asegurar su disponibilidad constante	Desarrollar un plan de capacitación continua y evaluar el desempeño del personal de mantenimiento
Responsable de medición y análisis	Jefe de planta	Encargado de Mantenimiento	Encargado de Mantenimiento	Jefe de Planta	Auxiliar de Mantenimiento	Encargado de Mantenimiento
Proceso de planificación	Planificación anual de mantenimiento	Planificación mensual de mantenimiento	Planificación anual de mantenimiento	Mejora continua en disponibilidad operativa	Gestión de repuestos críticos	Programa de capacitación y evaluación de desempeño

Fuente: Elaboración propia 2025.

5.7.2. Auditorías internas

La realización de auditorías internas juega un papel fundamental en la evaluación del plan de mantenimiento propuesto para la línea de producción de yogurt de los equipos críticos en EBA - Planta San Lorenzo. Su principal objetivo es verificar si se cumple con los requisitos establecidos por la norma NB 12017:2020 y evaluar la eficiencia del plan implementado para lograr y mantener los objetivos de mantenimiento.

Estas auditorías ofrecen al encargado de mantenimiento y al jefe de planta la oportunidad de identificar áreas de mejora en sus operaciones, lo que contribuye a optimizar la eficacia de los procedimientos preventivos y correctivos. Además, a partir de los hallazgos, se pueden recomendar a la Alta Dirección planes de mejora con el propósito de elevar la calidad y efectividad del plan en general. Las auditorías internas desempeñan un papel vital en el ciclo PHVA del plan al identificar oportunidades para el fortalecimiento y optimización de los procesos y prácticas de mantenimiento de activos en EBA - Planta San Lorenzo.

Exactamente, las auditorías se basan en un conjunto de principios fundamentales que aseguran su confiabilidad y efectividad en la mejora del desempeño de los equipos críticos y sus fallas de alta criticidad. Estos principios guían el proceso de auditoría y garantizan que se realice de manera objetiva y sistemática. Algunos de estos principios clave incluyen la integridad, imparcialidad, independencia del auditor, evidencia objetiva, confidencialidad, competencia técnica y enfoque basado en riesgos. Al adherirse a estos principios, las auditorías internas se convierten en una herramienta valiosa para identificar oportunidades de mejora y optimización en el plan de mantenimiento, contribuyendo así a una gestión más eficaz y eficiente de los activos críticos de EBA - Planta San Lorenzo. Ver Anexo 13.

Tabla 50*Principios de la auditoría.*

Principio	Descripción
Integridad	Los auditores desempeñan su trabajo con honestidad, diligencia e imparcialidad.
Presentación imparcial	Los hallazgos de auditoría deben reflejar veracidad y exactitud.
Debido cuidado profesional	Los auditores deben demostrar diligencia y capacidad de realizar juicios razonados durante el proceso de auditoría.
Confidencialidad	Los auditores deben proceder con discreción en el uso y cuidado de la información adquirida durante el proceso de auditoría.
Independencia	Los auditores deben ser independientes de la actividad que se está auditando.
Enfoque basado en la evidencia	Toda evidencia de la auditoría debe ser verificable y debidamente respaldada.

Fuente: Elaborado en base a la planeación de la auditoría en un sistema de gestión de calidad tomando como base la norma ISO 19011, adaptado al contexto de EBA - Planta San Lorenzo y el plan de mantenimiento.

Todos los aspectos cruciales para llevar a cabo un proceso de auditoría interna, incluyendo la definición del alcance, la frecuencia, la formación del equipo auditor y otros criterios esenciales, se encuentran establecidos de manera detallada en el procedimiento para la realización de auditorías internas. Este procedimiento proporciona una guía clara y estructurada para la planificación, ejecución y seguimiento de las auditorías internas en el marco del plan de mantenimiento. Al seguir este procedimiento, se asegura que las auditorías se realicen de manera coherente y que los resultados sean confiables y valiosos para la mejora continua del PM y el cumplimiento de los requisitos establecidos por la norma NB 12017:2020.

5.7.3. Revisión por la dirección

La revisión por la dirección es una evaluación de alto nivel realizada por el jefe de planta con participación de la Alta Dirección de EBA. Durante esta revisión se analiza el desempeño de los equipos críticos del plan de mantenimiento de la línea de producción de yogurt y gestión de las fallas de alta criticidad de los mismos, los resultados de las auditorías internas y otras fuentes relevantes.

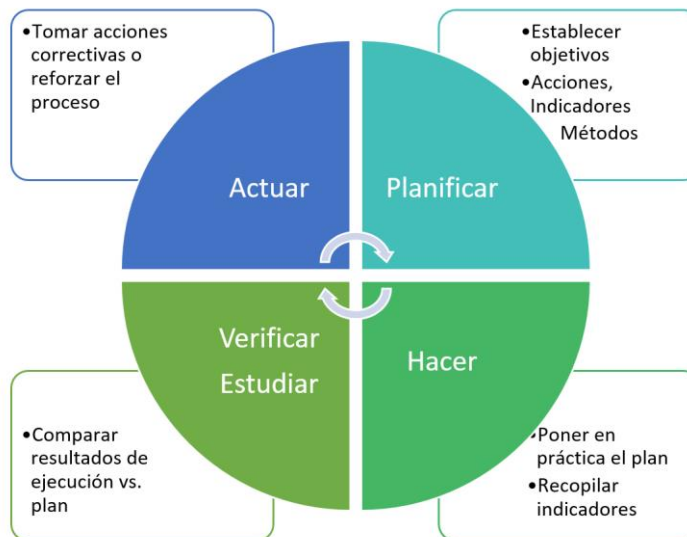
El propósito es tomar decisiones estratégicas para:

- Mantener o mejorar la disponibilidad de los equipos críticos.
- Reducir paradas no programadas y costos asociados.
- Asegurar el cumplimiento normativo (SENASAG, NB 12017:2020).
- Alinear el plan con la misión y visión de EBA.

Una vez concluida, el jefe de planta y el encargado de mantenimiento comunican los resultados y decisiones a todas las partes interesadas mediante los canales establecidos (reuniones, informes, tablero físico).

5.8. Mejora

La mejora continua constituye una actividad periódica destinada a elevar constantemente el nivel de desempeño de la organización. A través de este enfoque, se busca asegurar la excelencia en la calidad del servicio, permitiéndole cumplir de manera efectiva con los requisitos y las expectativas tanto de sus clientes como de las partes interesadas involucradas. En este sentido, se establece un ciclo de mejora constante que abarca diversos aspectos del sistema y los procesos, enfocado hacia el ciclo PHVA.

Figura 37*Ciclo PHVA.*

Fuente: Elaboración propia a base del ciclo PHVA.

La implementación de la mejora continua se traduce en la capacidad de la empresa para mantener y elevar la calidad de sus servicios en línea con los estándares más exigentes. Este proceso engloba múltiples estrategias, tales como la revisión por la dirección, la aplicación del procedimiento de acciones correctivas y no conformidades, evaluaciones regulares a través de indicadores de desempeño, la identificación continua de riesgos y oportunidades, así como la incorporación de mejoras basadas en los comentarios y sugerencias del personal operativo.

Las auditorías internas, en particular, desempeñan un papel esencial al proporcionar una revisión crítica e imparcial del plan de mantenimiento, asegurando su conformidad con los requisitos establecidos y la identificación de áreas que requieren optimización. En conjunto, todas estas prácticas permiten a EBA - Planta San Lorenzo mantener una trayectoria ascendente en su calidad de servicio, lo que finalmente respalda al desarrollo sostenible que se quiere llegar.

Tabla 51

Parámetros para la metodología PHVA.

Categoría	Pertinencia	Abordaje	Causa raíz
VALOR	NO = 0	NO = 0	NO = 0
	SI = 1	SI = 1	SI = 1

Fuente: Elaboración propia 2025.

En la implementación del ciclo PHVA, el responsable o líder del proceso (Encargado de Mantenimiento) es quien debe planificar las acciones necesarias basándose en datos, diagnósticos y objetivos estratégicos.

Pertinencia, este término hace referencia a la relevancia o adecuación de una acción, procedimiento o elemento dentro del ciclo PHVA, en relación con el problema o área que se está evaluando. El abordaje describe la forma en que se va a manejar o tratar un problema o no conformidad dentro del ciclo. La causa raíz es el factor o problema fundamental que origina una no conformidad o situación no deseada.

Tabla 52*Análisis PHVA.*

Categoría	Causa	Pertinencia	Abordaje	Causa raíz	Es factible	No es factible	Acciones correctivas
Mano de obra	Ausencia de un auxiliar de mantenimiento	1	0	1	SI	-	Habilitar un nuevo puesto (auxiliar de mantenimiento)
Equipos	Ausencia de técnicas de diagnóstico de equipos	1	0	0	SI	-	Establecer indicadores de disponibilidad, criticidad de fallos en los equipos críticos.
Método	Ausencia de una metodología de mejora continua	1	0	1	SI	-	Implementar un sistema de gestión basado en el ciclo PHVA, con planes mensuales de revisión y mejora.
Equipos	Carencia en el sistema de control documental (planos, manuales)	0	0	1	SI	-	Crear un procedimiento formal de control de documentos: codificación, revisión, aprobación, actualización y creación de procedimientos.
Mano de obra	Mala comunicación con las distintas áreas	1	1	1	SI	-	Implementar un protocolo de comunicación interna.
Mano de obra	Falta de capacitaciones al personal	1	1	2	SI	-	Diseñar e implementar un Plan Anual de Capacitación, incluyendo temas técnicos, normativos y de mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia, adaptada al contexto de EBA - Planta San Lorenzo 2025.

Tabla 53

Matriz PHVA.

Evidencia	No conformidad	Corrección	Cuando	Causa	Acción correctiva	Quien	Cuando
No existe plan de mantenimiento estructurado	Falta de control en procedimientos y registros de mantenimiento	Incorporar un auxiliar de mantenimiento	20 días	Ausencia de personal suficiente para ejecutar y documentar el plan	P: Asegurar la selección, contratación y capacitación de un auxiliar de mantenimiento que apoye en la ejecución, registro y control del plan.	Jefe de Planta	20 días
					H: Incorporar al auxiliar, asignar funciones, entregar cronogramas y manuales.	Jefe de Planta	30 días
					V: Evaluar el impacto del auxiliar en el cumplimiento de tareas programadas.	Encargado de Mantenimiento	90 días
					A: Incluir al auxiliar en capacitaciones y procesos de mejora continua.	Encargado de Mantenimiento	Continuo
El personal no tiene tareas específicas asignadas	No se aplica cronograma de mantenimiento	Establecer plan maestro de mantenimiento preventivo	30 días	Deficiente planificación en la asignación de tareas	P: Definir criterios claros para distribución de tareas (prioridad, urgencia, especialidad).	Encargado de Mantenimiento	30 días
					H: Ejecutar el plan maestro con asignación de responsables y recursos.	Encargado de Mantenimiento, Auxiliar	90 días
					V: Monitorear % de cumplimiento (programado vs. ejecutado).	Encargado de Mantenimiento	10 días
					A: Ajustar el plan según resultados y retroalimentación.	Encargado de Mantenimiento	Mensual

Documentación técnica incompleta o en otros idiomas	Falta de estandarización en procedimientos	Crear información técnica de equipos	30 días	Carencia de sistema de control documental	P: Establecer sistema de control documental (codificación, revisión, actualización).	Encargado de Mantenimiento	10 días
					H: Implementar el sistema (digitalización, traducción, archivo).	Auxiliar de Mantenimiento	30 días
					V: Verificar acceso y actualización de documentos.	Encargado de Mantenimiento	10 días
					A: Realizar revisiones periódicas del sistema.	Auxiliar de Mantenimiento	Trimestral
No hay registros de capacitaciones ni monitoreo de indicadores	Registros incompletos, falta de KPI	Aplicar metodología de mejora continua (PHVA)	30 días	Ausencia de metodología de mejora continua	P: Establecer objetivos SMART, identificar riesgos y planificar acciones.	Encargado de Mantenimiento	10 días
					H: Implementar acciones y controles del plan (capacitaciones, indicadores).	Encargado de Mantenimiento, Auxiliar	Continuo
					V: Evaluar cumplimiento de KPI (disponibilidad $\geq 95\%$, etc.).	Encargado de Mantenimiento	Trimestral
					A: Ajustar el plan según resultados de auditorías y revisiones.	Encargado de Mantenimiento	Anual

Fuente: Elaboración propia 2025.

5.9. Seguimiento de ejecución de fallas


El seguimiento de ejecución de fallas en la planta EBA - San Lorenzo es un proceso clave para optimizar el mantenimiento preventivo y programado, asegurando la disponibilidad continua de los equipos críticos. Este proceso se enfoca en convertir las fallas imprevistas en intervenciones programadas, lo cual se logra mediante la implementación de un sistema robusto de monitoreo y análisis de fallas, que incluye la creación de manuales de procedimientos, instructivos detallados y el fortalecimiento del mantenimiento preventivo.

Actualmente, la planta registra un total de 23 fallas semestrales en sus equipos más críticos: homogeneizador, pasteurizador, sacheteadora doble y sacheteadora simple. Estas fallas son de alta criticidad, ya que afectan significativamente la operación de la planta. Por esta razón, se propone un enfoque integral para reducir la frecuencia de fallas imprevistas, transformándolas en intervenciones programadas que se realizan de manera planificada y con tiempos de intervención más controlados.

El análisis realizado para cada equipo demuestra que, al utilizar documentación técnica adecuada (procedimientos estandarizados y programación de mantenimientos preventivos), se logran reducir las fallas de alta criticidad. La propuesta es disminuir las 23 fallas semestrales actuales a solo 9 intervenciones planificadas, lo que representa una reducción en la frecuencia de fallas no programadas. Esto mejora la eficiencia operativa, reduce los tiempos de inactividad y asegura un uso más efectivo de los recursos.

Figura 38

Cursograma analítico prop. del proc. de mant. preventivo de la falla cambio de retenes del equipo homogeneizador.

CURSOGRAMA ANALÍTICO							Hoja:		
Método actual	Método propuesto		X	RESUMEN					
CURSOGRAMA N° 1				Actividad	Símbolo	Actual	Prop.	Econ.	
	Proceso:	Cambio de retenes		Operación	●	9	11	0	
	Producto:	Yogurt		Inspección	■	3	2	1	
	Fecha:			Transporte	→	2	2	0	
	Lugar:	EBA- San Lorenzo		Operación – Inspeccion	●	0	0	0	
	Cantidad:			Espera	■	1	1	0	
	Lote:			Almacenamiento	▼	0	0	0	
	Nombre de op.			Tiempo del proceso		229	118	111	
	Elaborado por:	Luis Fabian Vaca López		Cantidad		81	65	16	
N°	ACTIVIDAD			SIMBOLOS			Tiempo del proceso (min)	Distancia (m)	OBSERVACIONES
1	Notificación al área de producción			●			3	2	
2	Verifica disponibilidad de repuestos y materiales			●			10	10	
3	Colocado de señalización, equipo en mant.			●			2	5	
4	Limpieza externa del equipo			●			10	5	
5	Retirar tapas de protección y carcasas			●			12	5	
6	Inspección del estado de los retenes			●			4	2	
7	Extracción de retenes dañados			●			15	5	
8	Aplicar grasa en el alojamiento			●			5	5	
9	Instalación de retenes nuevos			●			15	5	
10	Montaje de tapas de protección			●			12	5	
11	Pruebas al vacío			●			10	2	
12	Confirmación de reparación			●			3	5	
13	Limpieza final			●			10	5	
14	Retiro de señalización			●			2	2	
15	Registro de actividad			●			5	2	
	TOTAL						118	65	

Fuente: Elaboración propia 2025.

El método propuesto para el cambio de retenes en la planta EBA - San Lorenzo mejora significativamente el proceso de mantenimiento en comparación con el método actual, reduciendo el tiempo total del proceso de 229 minutos a 118 minutos. A continuación, se describen las mejoras implementadas en cada fase del proceso:

1. **Notificación y verificación de repuestos:** En el nuevo método, la notificación al área de producción se realiza en 3 minutos, lo que permite que el mantenimiento se inicie de manera rápida y fluida. Además, se verifica la disponibilidad de repuestos y materiales en 10 minutos, asegurando que no haya interrupciones debido a la falta de piezas, lo cual es una mejora respecto al proceso actual.
2. **Preparación del equipo:** El proceso de colocación de señalización y preparación del equipo en mantenimiento se realiza en 2 minutos, lo que optimiza la preparación y asegura que el área de trabajo esté debidamente señalizada y lista para la intervención. La limpieza externa del equipo también se lleva a cabo de manera eficiente en 10 minutos, lo que contribuye a mantener el área de trabajo limpia y en condiciones adecuadas.
3. **Extracción e instalación de retenes:** El retiro de tapas de protección y la extracción de retenes dañados se realizan de manera eficiente en 15 minutos. La instalación de los nuevos retenes también se realiza en 15 minutos, reduciendo el tiempo total de intervención gracias a un proceso más organizado y ágil.
4. **Pruebas y confirmación:** Tras la instalación de los nuevos retenes, se montan las tapas de protección en 12 minutos y se realizan pruebas al vacío en 10 minutos, para garantizar que el sellado sea adecuado. Este proceso permite verificar rápidamente que el equipo esté completamente operativo.
5. **Confirmación de reparación y cierre del proceso:** La confirmación de la reparación se lleva a cabo en 3 minutos, asegurando que todo esté en orden


antes de finalizar el mantenimiento. La limpieza final se realiza en 10 minutos, dejando el área en condiciones adecuadas para su uso posterior.

6. **Retiro de señalización y registro:** El retiro de señalización se completa en 2 minutos, y el registro de la actividad en 5 minutos, lo que agiliza el cierre del proceso de mantenimiento y asegura que se deje constancia de la intervención realizada.

El método propuesto optimiza el proceso de cambio de retenes, reduciendo el tiempo total del proceso de 229 minutos a 118 minutos. Las mejoras en la notificación, la verificación de repuestos, la preparación del equipo, y las pruebas más rápidas permiten una mayor eficiencia operativa y reducción de tiempos muertos, lo que contribuye a un mantenimiento más rápido y efectivo, mejorando la productividad y el uso de los recursos.

Figura 39

Cursograma A. prop. del proceso de mant. preventivo de la falla cambio de empaques del equipo pasteurizador.

CURSOGRAMA ANALÍTICO							Hoja:				
Método actual	Método propuesto		X	RESUMEN							
CURSOGRAMA N° 1				Actividad	Símbolo	Actual	Prop.	Econ.			
	Proceso:	Cambio de empaques		Operación	●	13	10	3			
	Producto:	Yogurt		Inspección	■	4	1	3			
	Fecha:			Transporte	→	2	2	0			
	Lugar:	EBA- San Lorenzo		Operación – Inspeccion	⊙	0	2	0			
	Cantidad:			Espera	●	1	0	0			
	Lote:			Almacenamiento	▼	0	0	0			
	Nombre de op.			Tiempo del proceso		360	160	200			
	Elaborado por:	Luis Fabian Vaca López		Cantidad		105	99	6			
N°	ACTIVIDAD		SIMBOLOS					Tiempo del proceso (min)	Distancia (m)	OBSERVACIONES	
			●	■	→	⊙	●	▼			
1	Notificación al área de producción								3	2	
2	Verifica disponibilidad de repuestos y materiales								10	20	
3	Colocado de señalización, equipo en mant.		●						2	2	
4	Limpieza externa de intercambiador		●						10	5	
5	Retiro y revisión de placas								15	5	
6	Retiro de empaques antiguos		●						20	5	
7	Limpieza de ranuras		●						10	5	
8	Instalación de empaque nuevos		●						20	5	
9	Verificación de la alineación y ajuste								10	3	
10	Colocado de placas en orden		●						15	5	
11	Reconexión de equipo		●						10	5	
12	Pruebas al vacío y con producto		●						15	5	
13	Confirmación de reparación								3	5	
14	Limpieza final		●						10	10	
15	Retiro de señalización		●						2	2	
16	Registro de actividad		●						5	10	
	Total								160	99	

Fuente: Elaboración propia 2025.

El método propuesto para el cambio de empaques del equipo crítico pasteurizador en la planta EBA-San Lorenzo mejora de manera significativa el proceso de mantenimiento en comparación con el método actual, reduciendo el tiempo total del proceso de 360 minutos a 160 minutos. A continuación, se detallan las mejoras implementadas en cada fase del proceso:


1. **Notificación y verificación de repuestos:** En el nuevo método, la notificación al área de producción se realiza de manera más rápida, en 3 minutos, lo que permite que el mantenimiento comience sin demoras. Además, se verifica la disponibilidad de repuestos y materiales en 10 minutos, asegurando que no haya interrupciones durante el proceso debido a la falta de piezas o materiales, lo que representa una mejora significativa respecto al proceso actual, donde los tiempos de espera pueden ser más largos.
2. **Preparación del equipo:** El proceso de colocación de señalización y preparación del equipo en mantenimiento se realiza de forma más eficiente en 2 minutos, optimizando la seguridad y el inicio del proceso de intervención. Además, la limpieza externa del intercambiador se lleva a cabo en 10 minutos, asegurando que el equipo esté en condiciones adecuadas para su intervención sin perder tiempo en tareas adicionales.
3. **Extracción e instalación de empaques:** La extracción de los empaques antiguos y la instalación de los nuevos empaques se realizan en 15 minutos cada una, lo que agiliza considerablemente la intervención. Esta mejora permite realizar estas tareas de manera más eficiente y reduce el tiempo total de intervención al hacer que cada paso sea más rápido y bien organizado.
4. **Alineación y ajuste:** El proceso de alineación y ajuste se realiza en 10 minutos, lo que asegura que todos los componentes estén correctamente posicionados antes de proceder al siguiente paso. Este ajuste más rápido mejora la precisión del trabajo y garantiza que el equipo funcione correctamente tras la instalación de los nuevos empaques.

5. **Pruebas y confirmación:** Después de instalar los nuevos empaques, se realiza la prueba al vacío y las pruebas con producto en 15 minutos, para verificar que el sellado sea adecuado y que el equipo esté operando correctamente. Esta mejora permite comprobar rápidamente el funcionamiento del equipo, lo que reduce la posibilidad de fallos tras la intervención.
6. **Confirmación de reparación y cierre del proceso:** La confirmación de la reparación se lleva a cabo en 3 minutos, lo que asegura que todos los pasos se hayan realizado correctamente antes de finalizar el proceso. La limpieza final del área de trabajo se realiza en 10 minutos, lo que garantiza que el equipo esté completamente limpio y listo para su funcionamiento.
7. **Retiro de señalización y registro:** Finalmente, el retiro de señalización se completa en 2 minutos y el registro de la actividad en 5 minutos, lo que permite cerrar el proceso de manera ágil y asegurando que se deje constancia de todas las actividades realizadas.

El método propuesto optimiza el proceso de cambio de empaques, reduciendo el tiempo total de 360 minutos a 160 minutos. Las mejoras en la notificación, la verificación de repuestos, la preparación del equipo, la extracción e instalación de empaques, las pruebas rápidas, y la reducción de tiempos muertos permiten una mayor eficiencia operativa, contribuyendo a un mantenimiento más rápido, efectivo y organizado. Estas mejoras no solo aceleran el proceso de mantenimiento, sino que también mejoran la productividad y el uso de los recursos, reduciendo el tiempo de inactividad de los equipos y mejorando el rendimiento general de la planta.

Figura 40

Cursograma analítico prop. del proc. de mant. preventivo de la falla calibración de sellado de la sacheteadora doble.

CURSOGRAMA ANALÍTICO							Hoja:		
Método actual	Método propuesto		X	RESUMEN					
CURSOGRAMA N° 1				Actividad	Símbolo	Actual	Prop.	Econ.	
	Proceso:	Calibración de sellado		Operación	●	10	12	0	
	Producto:	Yogurt		Inspección	■	5	3	2	
	Fecha:			Transporte	→	2	2	0	
	Lugar:	EBA- San Lorenzo		Operación – Inspeccion	●	0	1	0	
	Cantidad:			Espera	●	1	0	1	
	Lote:			Almacenamiento	▼	0	0	0	
	Nombre de op.			Tiempo del proceso		156	115	41	
	Elaborado por:	Luis Fabian Vaca López		Cantidad		101	96	5	
N°	ACTIVIDAD	SIMBOLOS					Tiempo del proceso (min)	Distancia (m)	OBSERVACIONES
1	Notificación al área de producción	●					3	25	
2	Verifica disponibilidad de repuestos y materiales		●				10	10	
3	Colocado de señalización, equipo en mant.	●					2	2	
4	Limpieza superficial del área de sellado	●					10	5	
5	Desmontar cubiertas protectoras de mordazas	●					5	5	
6	Inspección y limpieza completa de las mordazas			●			10	5	
7	Inspección de resistencias térmicas y sensores de temperatura		●				5	5	
8	Encendido de equipo en modo calibración	●					5	1	
9	Ajuste de temperatura de sellado	●					5	5	
10	Ajuste de la presión entre mordazas	●					10	5	
11	Ajuste de tiempo de sellado	●					5	2	
12	Pruebas con material de muestras	●					10	5	
13	Evaluación de sellado		●				10	2	
14	Reinstalación de cubiertas protectoras	●					5	5	
15	Confirmación de reparación			●			3	5	
16	Limpieza final	●					10	5	
17	Retiro de señalización	●					2	2	
18	Registro de actividad	●					5	2	
	TOTAL						115	96	

Fuente: Elaboración propia 2025.

El proceso de calibración de sellado en la planta EBA - San Lorenzo se ha optimizado, reduciendo el tiempo total del proceso de 156 minutos a 115 minutos. Las mejoras se implementan en cada fase, permitiendo un mantenimiento más rápido y eficiente.

La notificación al área de producción se realiza en 3 minutos, lo que agiliza el inicio del proceso. La verificación de la disponibilidad de repuestos y materiales se hace en 10 minutos, garantizando que el proceso no se detenga por falta de piezas. La preparación del equipo se optimiza al realizarse en 2 minutos, y la limpieza superficial se lleva a cabo en 10 minutos, asegurando un área de trabajo limpia y lista para la intervención.


El proceso de extracción de cubiertas y limpieza de las mordazas se completa en 15 minutos, mientras que la inspección de resistencias y sensores se hace en 5 minutos. Los ajustes de temperatura, presión y tiempo de sellado se realizan rápidamente, en 5 minutos cada uno, mejorando la eficiencia sin comprometer la calidad.

Las pruebas con material de muestras y la evaluación de sellado se completan en 10 minutos, asegurando que el equipo funcione correctamente. El cierre del proceso se optimiza con la confirmación de la reparación en 3 minutos y la limpieza final en 10 minutos. El retiro de señalización y el registro de actividad se completan de manera eficiente, en 2 minutos y 5 minutos respectivamente.

El método propuesto reduce el tiempo total de 156 minutos a 115 minutos, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo los tiempos muertos en cada fase del proceso de mantenimiento.

Figura 41

Cursograma analítico. prop. del proc. de mant. preventivo de la falla ajuste de codificador térmico del equipo sachetadora s.

CURSOGRAMA ANALÍTICO							Hoja:		
Método actual	Método propuesto		X	RESUMEN					
CURSOGRAMA N° 1				Actividad	Símbolo	Actual	Prop.	Econ.	
	Proceso:	Ajuste de codificador térmico		Operación	●	12	13	0	
	Producto:	Yogurt		Inspección	■	4	2	2	
	Fecha:			Transporte	→	2	2	0	
	Lugar:	EBA- San Lorenzo		Operación – Inspeccion	●	0	1	0	
	Cantidad:			Espera	■	1	0	1	
	Lote:			Almacenamiento	▼	0	0	0	
	Nombre de op.			Tiempo del proceso		180	110	70	
	Elaborado por:	Luis Fabian Vaca López		Cantidad		101	88	13	
N°	ACTIVIDAD	SIMBOLOS					Tiempo del proceso (min)	Distancia (m)	OBSERVACIONES
		●	■	→	●	■	▼		
1	Notificación al área de producción				●			3	25
2	Verifica disponibilidad de repuestos y materiales				●			10	10
3	Colocado de señalización, equipo en mant.	●						2	2
4	Limpieza superficial del área del codificador	●						5	5
5	Desmontaje cubiertas protectoras	●						5	5
6	Verificar y limpiar el cabezal				●			10	5
7	Ajuste de posición y alineación de cabezal	●						10	5
8	Apretado de tornillos	●						5	2
9	Encendido del sistema	●						5	2
10	Calibración de tiempo y temperatura	●						5	5
11	Colocado de bolsa de muestra	●						10	2
12	Prueba con bolsa de muestra	●						10	2
13	Evaluación de calidad de impresión				●			5	2
14	Reinstalación de cubiertas protectoras	●						5	2
15	Confirmación de reparación				●			3	5
16	Limpieza final	●						10	5
17	Retiro de señalización	●						2	2
18	Registro de actividad	●						5	2
	TOTAL							110	88

Fuente: Elaboración propia 2025.

El proceso de ajuste de codificador térmico de equipo crítico sacheteadora simple se optimiza para mejorar la eficiencia, reduciendo el tiempo total del proceso de 180 minutos a 110 minutos. Esta optimización implica mejoras clave en cada fase del mantenimiento, haciendo que el proceso sea más rápido y organizado.

Primero, la notificación al área de producción se realiza en 3 minutos, permitiendo que el mantenimiento inicie de manera rápida. La verificación de repuestos y materiales se lleva a cabo en 10 minutos, lo que asegura que no haya retrasos debido a la falta de piezas, lo cual es un cambio significativo respecto a procesos anteriores.

La preparación del equipo mejora al reducir el tiempo para la colocación de señalización y el trabajo en el equipo, que ahora se realiza en 2 minutos. Además, la limpieza superficial del área de sellado se realiza de manera eficiente en 5 minutos, lo que asegura que el área de trabajo esté lista sin demoras adicionales.

El proceso de extracción de cubiertas protectoras y limpieza del cabezal se optimiza, completándose en 15 minutos en lugar de los tiempos más largos de antes. Los ajustes de posición y alineación del codificador, junto con el apretado de tornillos, se hacen en 5 minutos, lo que mejora la precisión sin aumentar el tiempo de intervención.

Las pruebas con material de muestra y la evaluación de la calidad de impresión se realizan en 10 minutos, permitiendo verificar rápidamente que el equipo está funcionando correctamente. La confirmación de la reparación se hace en 3 minutos, lo que garantiza que la intervención se haya completado con éxito antes de finalizar. El proceso culmina con una limpieza final en 10 minutos y el retiro de señalización en 2 minutos, lo que acelera el cierre de la intervención. Finalmente, el registro de actividad se completa en 5 minutos, documentando eficientemente las acciones realizadas.

El método optimizado reduce el tiempo total del proceso de 180 minutos a 110 minutos, lo que mejora significativamente la eficiencia operativa. Las mejoras en la notificación, verificación de repuestos, preparación del equipo, y las pruebas rápidas permiten un proceso de mantenimiento más ágil, efectivo y bien organizado, lo que se traduce en un mejor uso de los recursos y menor tiempo de inactividad en la planta.

5.10. Reducción de fallas

Según el análisis de la ficha de registro de intervención de equipos (Anexo 1), la planta registra un total de 23 fallas semestrales en sus cuatro equipos críticos (homogeneizador, pasteurizador, sacheteadora doble y sacheteadora simple).

La razón de la propuesta de los manuales de procedimientos, manuales de funciones, instructivos (Mantenimiento Programado/Preventivo) es convertir la mayor parte de estas 23 fallas inesperadas en paradas planificadas de corta duración.

Por consiguiente, se desarrolla y justifica la reducción proyectada en la frecuencia de fallas, para convertir las fallas correctivas en intervenciones planificadas.

5.10.1. Reducción de fallas de alta criticidad en los equipos

Tabla 54

Justificación de reducción de fallas.

Equipo	Tipo de Falla	Frecuencia Actual (fallas/año)	Frecuencia Propuesta (intervenciones/año)	Justificación de la reducción (Uso de documentación técnica)
Homogeneizador	Cambio de retenes	7	2	Mantenimiento programado (Procedimiento EBA-MT-MP-HM-CR-01).
Pasteurizador	Cambio de empaques	7	3	Mantenimiento programado (Procedimiento EBA-MT-MP-PT-CE-01).
Sacheteadora doble	Calibración de sellado	5	2	Mantenimiento programado (Procedimiento EBA-MT-MP-SD-CS-01).
Sacheteadora simple	Ajuste de codificador térmico	4	2	Mantenimiento programado (Procedimiento EBA-MT-MP-SS-AC-01).

Fuente: Elaboración propia 2025.

La optimización de estos tiempos y la consecuente reducción del tiempo total anual de paradas de 5.623,0 minutos a 1.166,0 minutos, es el resultado directo de la implementación de un plan de mantenimiento que sigue los requisitos de la norma boliviana NB 12017 (Sistemas de Gestión de Mantenimiento). Dicha norma exige la mejora continua de la conservación y la garantía de confiabilidad operativa, lo cual se logra mediante el fortalecimiento del mantenimiento preventivo y programado en búsqueda de la reducción del Tiempo Medio Para Reparar (MTTR), especialmente en las fallas de alta criticidad, Asimismo, la frecuencia de fallas semestrales se redujo de 23 eventos (situación actual) a 9 eventos (condición propuesta).

5.10.2. Datos propuestos de los equipos

Tabla 55

Datos propuestos de las fallas de alta criticidad de los equipos críticos.

Equipo	Falla	Frecuencias de fallas	Tiempo promedio de parada por falla (min)	Tiempo promedio semestral de paradas por fallas (min)
Homogeneizador	Cambio de retenes	2	118,0	236,0
Pasteurizador	Cambio de empaques	3	160,0	480,0
Sacheteadora doble	Calibración de sellado	2	115,0	230,0
Sacheteadora simple	Ajuste de codificador térmico	2	110,0	220,0
Total		9	503,0	1.166,0

Fuente: Elaboración propia 2025.

En el semestre actual se registran una frecuencia de 23 fallas de alta criticidad, que generan 5.623,0 minutos de parada (93,71 h), limitando la disponibilidad operativa.

Con la propuesta de mantenimiento preventivo implementada, la frecuencia semestral pasa de 23 fallas correctivas a 9 intervenciones planificadas (-61%). El MTTR

promedio se reduce un 53% (de 231 a 123 min) mediante la estandarización de procedimientos normalizados.

Como resultado, el tiempo total de paradas semestrales disminuye de 5.623,0 a 1.166,0 minutos, recuperando 4.457,0 minutos equivalentes a 5 días de producción adicional y elevando la disponibilidad proyectada.

En un semestre, las cuatro fallas críticas Tipo A dejan de ser eventos imprevistos y se convierten en tareas 100% programadas, cumpliendo la NB 12017 y logrando una operación estable y predecible.

5.11. Indicador OEE propuesto de los equipos

El Indicador OEE propuesto se utiliza para evaluar la eficiencia global del equipo, comparando su rendimiento actual con los objetivos establecidos. Este indicador se calcula considerando tres factores clave: disponibilidad, rendimiento y calidad, y permite identificar áreas de mejora en el desempeño del equipo. Al compararlo con el OEE actual, podemos observar las diferencias y tomar decisiones más informadas sobre ajustes en los procesos.

Tabla 56*Indicador OEE propuesto.*

Equipo	Falla	Tiempo de operación(min)	Paradas por falla(hrs)	Disponibilidad (%)	Producción prevista(L/día)	Producción real (L/día)	Rendimiento (%)	Calidad (%)	OEE
Homogeneizador	Cambio de retenes	930,0	118,0	87%	3.500,0	3.295,0	94%	100%	82%
Pasteurizador	Cambio de empaques	930,0	160,0	83%	3.500,0	3.179,0	91%	100%	75%
Sacheteadora doble	Calibración de sellado	930,0	115,0	88%	350,0	322,0	92%	100%	81%
Sacheteadora simple	Ajuste de codificador térmico	930,0	110,0	88%	150,0	136,0	91%	100%	80%

Fuente: Elaboración propia 2025.

El análisis del indicador OEE para los equipos críticos, respecto a la falla de alta criticidad de cada equipo proporciona información clave sobre el desempeño operativo, identificando áreas de mejora tanto en la disponibilidad como en el rendimiento de los equipos. Los resultados muestran un incremento en la disponibilidad de los equipos, un mayor rendimiento y tomando en cuenta el parámetro de calidad consistente del 100% en todos los equipos. Sin embargo, donde queda en evidencia que las pérdidas en la eficiencia global de los equipos se deben principalmente a las paradas por falla y el rendimiento.

Homogeneizador. - Presenta una disponibilidad del 87%, con 118 min de paradas promedio por falla, el rendimiento es del 94% y la calidad se mantiene al 100%, el OEE alcanza el 82%. Estos datos muestran el indicador OEE del equipo en relación a la falla de alta criticidad aumenta en 11% en comparación al indicador actual.

Pasteurizador. - Tiene una disponibilidad del 83%, con 160 min de paradas promedio por falla. El rendimiento es del 91 %, lo que muestra una buena producción en relación con la planeada, por otra parte el OEE de 75% indica que el tiempo de inactividad es un factor significativo que impacta la eficiencia del equipo. Estos datos muestran el indicador OEE del equipo en relación a la falla de alta criticidad aumenta en 19% en comparación al indicador actual.

Sacheteadora doble. - Tiene una disponibilidad relativamente alta del 88%, con 115 min promedio de paradas por falla. El rendimiento es del 92%, lo que refleja una producción eficiente. Con una calidad del 100%, el OEE alcanza el 81%, lo que demuestra una eficiencia conveniente. Estos datos muestran el indicador OEE del equipo en relación a la falla de alta criticidad aumenta en 4% en comparación al indicador actual.

Sacheteadora simple. - Se tiene una disponibilidad del 88%, con 110 min promedio de paradas por falla. El rendimiento es del 91%, con calidad al 100%. El OEE alcanza

el 80%, lo que muestra que la eficiencia es adecuada. Estos datos muestran el indicador OEE del equipo en relación a la falla de alta criticidad aumenta en 7% en comparación al indicador actual.

Los equipos muestran un desempeño moderado en cuanto a OEE, con la calidad siendo excelente en todos los casos. Las paradas por falla son el factor donde se tiene una elevada mejoría, debido a la reducción de tiempo en las fallas de alta criticidad, esto reflejado en el aumento de disponibilidad de los equipos.

5.12. Indicadores MTBF y MTTR propuestos

Tabla 57

Indicadores propuestos de MTBF y MTTR de los equipos críticos respecto a su falla de alta criticidad.

N°	Descripción	Tiempo de operación (sem)	# De fallas (sem)	Tiempo total de reparación (hrs)	MTBF (hrs)	MTTR (hrs)	Disp. (%)	Código de equipo
Línea de producción de yogurt equipos críticos, fallas de alta criticidad.								
1	Homogeneizador	458,50	2	3,93	229,25	1,97	99,15	FER-HOM-08
2	Pasteurizador	458,50	3	8,00	152,83	2,67	98,29	FER-PAS-07
3	Sacheteadora doble	127,07	2	3,83	63,54	1,92	97,07	FER-SAC-10
4	Sacheteadora simple	91,70	2	3,67	45,85	1,83	96,16	FER-SAC-09

Fuente: Elaboración propia 2025.

Se presenta un análisis de las mejoras propuestas para los equipos críticos en relación a su falla de alta criticidad, comparando los indicadores actuales con los valores propuestos.

1. Homogeneizador

En el caso del homogeneizador, se observa una notable mejora en los indicadores. El MTTR actual es de 3,82 horas, mientras que el valor propuesto se reduce a 1,97 horas, lo que representa una mejora de 1,86 horas. Esta reducción en el tiempo de reparación permitirá disminuir el tiempo de inactividad, lo que se traduce en una mayor disponibilidad operativa.

El MTBF, que actualmente es de 65,50 horas, se incrementa significativamente a 229,25 horas, con una mejora de 163,75 horas. Esto indica que el homogeneizador experimentará menos fallas, lo cual es una mejora en términos de fiabilidad y eficiencia operativa.

La disponibilidad del equipo mejora considerablemente, pasando de un 94,49% a un 99,15%, lo que representa un aumento de 4,66%. Esto significa que el homogeneizador estará disponible para operar un mayor porcentaje del tiempo, lo que optimiza el proceso de producción.

2. Pasteurizador

En el caso del pasteurizador, el MTTR actual es de 6,00 horas, y el valor propuesto se reduce a 2,67 horas, lo que representa una mejora de 3,33 horas. Esto permitirá una reparación más rápida, reduciendo los tiempos de inactividad y aumentando la eficiencia del proceso.

El MTBF experimenta una mejora significativa, pasando de 25,47 horas a 152,83 horas, lo que supone un aumento de 127,36 horas. Este cambio refleja una mayor fiabilidad del equipo, ya que se reducirán las fallas durante su funcionamiento.

La disponibilidad también muestra una mejora destacada, pasando de un 80,94% a un 98,29%, lo que representa un aumento de 17,35%. Esto indica que el equipo estará

disponible un mayor porcentaje del tiempo bajo el escenario propuesto, mejorando la operatividad de la línea de producción.

3. Sacheteadora doble

Para la sacheteadora doble, el MTTR actual es de 2,60 horas, y el valor propuesto se reduce a 1,92 horas, lo que supone una mejora de 0,68 horas. Esto resultará en tiempos de reparación más cortos, lo que reduce la cantidad de tiempo en que el equipo no está disponible.

El MTBF aumenta considerablemente, pasando de 12,71 horas a 63,54 horas, lo que supone una mejora de 50,83 horas. Este incremento en el MTBF indica que la máquina será más fiable y presentará menos fallas, lo cual es esencial para garantizar un flujo de trabajo continuo.

La disponibilidad del equipo sacheteadora doble mejora de un 83,01% a un 97,07%, lo que representa un aumento de 14,06%. Este aumento en la disponibilidad refleja una optimización en el tiempo de funcionamiento del equipo.

4. Sacheteadora simple

El equipo sacheteadora simple presenta una mejora en su MTTR, que pasa de 3,00 horas a 1,83 horas, lo que representa una reducción de 1,17 horas. Esta mejora en los tiempos de reparación permitirá que el equipo esté operativo más rápidamente, reduciendo su tiempo de inactividad.

El MTBF actual de 22,93 horas se incrementa a 45,85 horas, lo que representa una mejora de 22,92 horas. Esta mejora indica que el equipo será más confiable, experimentando menos fallas durante su operación.

La disponibilidad también aumenta significativamente, pasando de un 88,43% a un 96,16%, lo que supone una mejora de 6,94%. Este aumento en la disponibilidad refleja una mayor eficiencia operativa y menos tiempo de inactividad

Las mejoras propuestas para todos los equipos muestran una reducción significativa en el MTTR, lo que resultará en tiempos de reparación más rápidos y, por lo tanto, en menor tiempo de inactividad. Además, el MTBF mejora considerablemente, lo que indica que los equipos serán más fiables y experimentarán menos fallas. Como resultado, la disponibilidad de los equipos aumenta notablemente, lo que contribuye a una mayor eficiencia operativa en la línea de producción.

Estas mejoras son fundamentales para optimizar la producción, reducir los costos de mantenimiento y mejorar el rendimiento general de la planta.

5.13. Impacto de la propuesta

5.13.1. Análisis del diagnóstico y propuesta de mejora del indicador OEE

Se presenta una tabla que compara el OEE (Eficiencia Global del Equipo) actual con el OEE proyectado para las fallas específicas en cuatro equipos críticos de la línea, el equipo homogeneizador, pasteurizador, sacheteadora doble y sacheteadora simple. El OEE es un indicador clave que integra la disponibilidad, el rendimiento y la calidad. Los valores del indicador OEE propuesto reflejan la mejora esperada en la eficiencia operativa una vez implementado un Plan de Mantenimiento, el cual reducirá las fallas imprevistas de 23 a solo 9 intervenciones planificadas al semestre. Esta estrategia está diseñada para optimizar la disponibilidad al disminuir considerablemente el tiempo de inactividad debido a fallas correctivas.

Tabla 58

Análisis de diagnóstico y propuesta de mejora del indicador OEE.

Equipos	Fallas	OEE actual	OEE propuesto
Homogeneizador	Cambio de retenes	71%	82%
Pasteurizador	Cambio de empaques	56%	75%
Sacheteadora doble	Calibración del sellado	77%	81%
Sacheteadora simple	Ajuste del codificador térmico	73%	80%

Fuente: Elaboración propia 2025.

Este enfoque de mantenimiento preventivo, junto con la aplicación de estrategias para la reducción de intervenciones correctivas, mediante el cual se incrementa de manera significativa la eficiencia operativa de los equipos, asegurando una mayor disponibilidad y productividad en la planta.

El análisis comparativo del OEE revela que la principal limitante en los equipos críticos es la baja disponibilidad, causada por paradas prolongadas debido a fallas no planificadas. Sin embargo, al migrar a un mantenimiento preventivo y programado, y aplicar técnicas de procedimientos para reducir el MTTR, donde da como resultado mejoras significativas en la eficiencia operativa de los equipos.

En el homogeneizador, la intervención para el cambio de retenes pasa de ser una falla no planificada a una intervención programada, lo que eleva su OEE del 71% actual al 82% propuesto. Esta mejora se logra gracias a la programación de mantenimiento preventivo, reduciendo así el tiempo de inactividad inesperado y mejorando la disponibilidad operativa.

El pasteurizador, con un OEE actual de 56%, experimenta un aumento significativo al proponer un OEE de 75%. Este avance se consigue mediante la transformación del cambio de empaques, que anteriormente se realizaba de manera reactiva, en un proceso

preventivo y planificado. Al reducir las intervenciones imprevistas, se optimiza el rendimiento global del equipo.

En el caso del sacheteadora doble, la calibración del sellado se gestiona dentro de un programa de mantenimiento preventivo, lo que permite aumentar el OEE del 77% al 81%. La implementación también contribuye a reducir los tiempos de intervención, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo las paradas inesperadas.

La sacheteadora simple presenta una mejora en su OEE, pasando del 73% al 80%, gracias a la optimización del ajuste del codificador térmico. Al incluir este proceso dentro del mantenimiento preventivo, se minimizan las fallas no planificadas, consolidando un sistema más confiable y con menor tiempo de inactividad.

La implementación de un enfoque de mantenimiento preventivo y programado, junto con la reducción de tiempos de intervención mediante técnicas, contribuye a una mejora sustancial en la eficiencia operativa de los equipos, asegurando una mayor disponibilidad y optimizando los recursos de la línea de producción de yogurt.

5.13.2. Análisis del diagnóstico y propuesta de mejora de los indicadores MTBF y MTTR

Tabla 59

Análisis diagnóstico y propuesta de mejora de los indicadores MTBF y MTTR

Equipos	Descripción	Unidad	Total semestral actual	Total semestral propuesto
Homogeneizador	Cantidad de fallas	unidad	23	9
	Tiempo de paradas por fallas	min	1603,00	236,00
	MTBF	min	3.930,00	13.755,00
	MTBF	hrs	65,50	229,25
	MTTR	min	229,00	118,00
	MTTR	hrs	3,82	1,97

	Cantidad de fallas	unidad	7	2
Pasteurizador	Tiempo de paradas por fallas	min	2.520,00	480,00
	MTBF	min	3.930,00	9.170,00
	MTBF	hrs	65,50	152,83
	MTTR	min	360,00	160,00
	MTTR	hrs	6,00	2,67
	Cantidad de fallas	unidad	7	3
Sacheteadora doble	Tiempo de paradas por fallas	min	780,00	230,00
	MTBF	min	1.524,60	3.812,00
	MTBF	hrs	25,41	63,54
	MTTR	min	156,00	115,00
	MTTR	hrs	2,60	1,92
	Cantidad de fallas	unidad	5	2
Sacheteadora simple	Tiempo de paradas por fallas	min	720,00	220,00
	MTBF	min	1.435,80	2.751,00
	MTBF	hrs	23,93	45,85
	MTTR	min	180,00	110,00
	MTTR	hrs	3,00	1,83
	Cantidad de fallas	unidad	4	2
Total de fallas		unidad	23	9
Total, de Tiempo de paradas por falla		min	5.623,00	1.166,00
MTBF		min	10.820,40	29.488,10
MTBF		hrs	180,30	491,50
MTTR		min	925,00	503,00
MTTR		hrs	15,42	8,38

Fuente: Elaboración propia 2025.

La propuesta del plan mejora significativamente la fiabilidad de los equipos y reduce las interrupciones, al transformar las fallas inesperadas en mantenimientos planificados. Esto se refleja en una disminución de las fallas anuales, que pasan de 23 a 9 eventos semestrales, y en la reducción del tiempo total de paradas, que disminuye de 5.623,0 minutos a 1.166,0 minutos. A nivel global, el MTBF (Mean Time Between Failures) aumenta considerablemente, pasando de 180,3 horas a 491,5 horas, debido a la planificación JIT de reemplazos por uso/condición. Asimismo, el MTTR promedio

disminuye de 15,42 horas a 8,38 horas gracias a la implementación de la propuesta para optimizar los tiempos de intervención.

En cuanto a los equipos específicos:

- **Homogeneizador:** La cantidad de fallas se reduce de 23 a 9 unidades, y el tiempo de paradas por fallas disminuye de 1.603 minutos a 236 minutos. El MTBF mejora de 65,5 horas a 229,25 horas, mientras que el MTTR se reduce de 3,82 horas a 1,97 horas, reflejando una mejora significativa en la disponibilidad y mantenibilidad.
- **Pasteurizador:** Las fallas disminuyen de 7 a 3 unidades, y el tiempo de paradas por fallas se reduce de 2.520 minutos a 480 minutos. El MTBF aumenta de 65,5 horas a 152,83 horas, y el MTTR baja de 6 horas a 2,67 horas, lo que resulta en una mayor eficiencia operativa y menos tiempo de inactividad.
- **Sacheteadora doble:** Se observa una reducción de las fallas de 5 a 2 unidades, con un descenso en el tiempo de paradas de 780 minutos a 230 minutos. El MTBF aumenta de 25,41 horas a 63,54 horas, y el MTTR se reduce de 2,6 horas a 1,92 horas, reflejando mejoras en la fiabilidad y velocidad de reparación.
- **Sacheteadora simple:** Las fallas disminuyen de 4 a 2 unidades, y el tiempo de paradas por fallas baja de 720 minutos a 220 minutos. El MTBF mejora de 23,93 horas a 45,85 horas, y el MTTR se reduce de 3 horas a 1,83 horas, optimizando tanto la fiabilidad como la mantenibilidad.

Estas medidas globales convierten las fallas inesperadas en mantenimientos programados y estandarizados, lo que aumenta la disponibilidad de los equipos y reduce el tiempo de inactividad, consolidando un sistema más confiable y eficiente.

5.14. Gestión de repuestos

El objetivo principal de la gestión de repuestos, impulsado por el Stock Estratégico de Seguridad, es asegurar la disponibilidad ininterrumpida de componentes clasificados como de alta criticidad (A), cuya falta detendría la producción en la línea de yogurt.

Entre estos repuestos se incluyen empaques de placas para el pasteurizador (con un Lead Time de 14 días), retenes para el equipo homogeneizador los mismos tienen un tiempo de entrega de 12 días, y sellos duales y sellos pistones con tiempos de entrega similares. Este enfoque tiene como meta principal eliminar la dependencia de compras externas de emergencia, las cuales suelen incurrir en altos costos debido a la urgencia y los sobrecargos generados por la inflación o la necesidad de una pronta llegada del repuesto. Al mantener un inventario adicional de repuestos esenciales, el sistema previene la operación de los equipos "hasta la falla catastrófica" por la escasez de suministros críticos. Este enfoque también busca optimizar la planificación y gestión del inventario, asegurando la disponibilidad oportuna de materiales para las actividades de mantenimiento.

La siguiente tabla presenta la gestión de repuestos propuesta para los equipos críticos de la línea de yogurt respecto a su falla de alta criticidad. Este análisis se elaboró con base en los registros de repuestos tiempos de entrega y nivel de criticidad de cada repuesto. Su objetivo es establecer un control más eficiente del inventario, asegurando la disponibilidad oportuna de materiales esenciales para las actividades de los mantenimientos.

Tabla 60

Matriz de criticidad y tiempos de entrega de repuestos propuesto.

N° Falla	Equipo	Detalle Técnico	Repuesto necesario (código)	Consumo semestral	Cantidad de paradas semestre	Tiempo de entrega (días)	Criticidad
1	Pasteurizador	Empaques de placas	FER-REP-201	210	3	14	ALTA
2	Sacheteadora doble	Sellos duales	FER-REP-001-D	72	2	12	ALTA
3	Homogeneizador	Retenes	FER-REP-104	36	2	12	ALTA
4	Sacheteadora simple	Sellos pistones	FER-REP-001	108	2	10	ALTA

Fuente: Elaboración propia 2025.

El análisis propuesto prioriza el inventario y la planificación de la compra de repuestos de alta criticidad (A), cuya escasez detendría la planta. Los datos de consumo promedio de repuestos, indicados en la tabla, se basan en la optimización de la demanda actual, y se alinean con la menor frecuencia de fallas propuesta en el cronograma de actividades planificadas. Esta reducción en la frecuencia de fallas es esencial, ya que se proyecta que la frecuencia de fallas, según la tabla disminuirá las 23 fallas inesperadas actuales a solo 9 intervenciones programadas al año por semestre.

Los repuestos críticos, presentan tiempos de entrega prolongados, lo que refuerza la necesidad de gestionar un stock de seguridad. Es crucial calcular el Punto de Reorden (ROP) para cada repuesto crítico, utilizando como política el stock estratégico de seguridad lo que garantizará que siempre haya disponibilidad suficiente de los repuestos necesarios. Asegurando que el stock mínimo esté disponible y además una cantidad de inventario capaz de cubrir la alguna circunstancia catastrófica, esta estrategia facilita la transición hacia un mantenimiento preventivo y programado, basado en la condición de los equipos. Este enfoque es un requisito esencial de la norma boliviana NB 12017, que tiene como objetivo garantizar la confiabilidad operativa de los activos y reducir los tiempos de inactividad en la planta.

5.15. Cálculo de ROP

El Stock de Seguridad (SS) es fundamental en la gestión de repuestos, especialmente para componentes de alta criticidad (A), ya que garantiza la disponibilidad continua de repuestos y evita interrupciones operativas. Este stock cubre la variabilidad de la demanda y los retrasos en los tiempos de entrega (Lead Time), asegurando que los repuestos estén disponibles incluso en condiciones imprevistas.

El Punto de Reorden (ROP), calculado como $\text{Demanda diaria promedio} \times \text{Lead Time} + \text{Stock de Seguridad}$, define cuándo realizar un pedido para evitar que el stock se agote. El Stock de Seguridad actúa como una protección adicional, permitiendo que el sistema funcione sin paradas no planificadas, manteniendo los inventarios bajos pero suficientes para la operación continua.

El ROP calculado permite determinar el nivel exacto de inventario restante que debe disparar automáticamente una nueva orden de compra, garantizando que el repuesto llegue justo antes de que el stock de seguridad (SS) se agote. En este caso, la demanda diaria promedio \times Lead time será el consumo promedio \times cantidad de paradas. Para el desarrollo del cálculo se considera un mes de 22 días operativos para la demanda diaria.

La presente tabla resume los cálculos del punto de reorden (ROP) propuestos, el objetivo primordial de esta planificación es asegurar la disponibilidad ininterrumpida de componentes clasificados como de alta criticidad (A), valorando el enfoque en el stock estratégico de seguridad.

Tabla 61

Cálculo de ROP.

N°	Equipo	Detalle técnico	Rep. (código)	Cons. semestral aprox.	Cons. promedio por parada (unid)	Cantidad de paradas semestre	Stock de seguridad (SS)	Tiempo de entrega (días)	ROP (unid)
1	Pasteurizador	Empaques de placas	FER-REP-201	216	72	3	72	14	95
2	Sacheteadora doble	Sellos duales	FER-REP-001-D	72	36	2	36	12	43
3	Homogeneizador	Retenes	FER-REP-104	36	18	2	18	12	21
4	Sacheteadora simple	Sellos pistones	FER-REP-001	108	54	2	54	10	62

Fuente: Elaboración propia 2025.

Este análisis tiene como objetivo garantizar la disponibilidad continua de los repuestos necesarios para evitar paradas imprevistas y asegurar la eficiencia operativa de los equipos.

1. Pasteurizador - Empaques de placas (FER-REP-201)

Para el pasteurizador, se calcula un ROP de 95 unidades. este valor refleja la necesidad de mantener un stock suficiente para cubrir las 3 paradas programadas en el semestre, además de asegurar que haya disponibilidad del repuesto dentro de un tiempo de entrega de 14 días. El consumo semestral promedio de 216 unidades y la cantidad recomendada de 72 unidades de repuestos aseguran que la planta pueda funcionar sin interrupciones debido a la escasez de este repuesto. El alto stock de seguridad refleja la alta criticidad de este repuesto, ya que una falta de este componente puede interrumpir significativamente el proceso de pasteurización, afectando la producción.

2. Sacheteadora doble - Sellos duales (FER-REP-001-D)

El ROP calculado para los sellos duales de la sacheteadora doble es de 43 unidades. Aunque este repuesto no es tan crítico como el del pasteurizador, el consumo semestral promedio de 36 unidades y la cantidad recomendada de también es de 18 unidades, indican que es necesario mantener un inventario adecuado para las 2 paradas programadas en el semestre. El tiempo de entrega de 12 días se tiene en cuenta para asegurar que el repuesto esté disponible a tiempo para las reparaciones. La gestión de inventarios debe considerar el ROP calculado para garantizar que no haya escasez, evitando paradas no planificadas en la sacheteadora doble.

3. Homogeneizador - Retenes (FER-REP-104)

Para el Homogeneizador, el ROP calculado es de 21 unidades. El consumo semestral promedio es de 36 unidades, y las 2 paradas programadas en el semestre requieren un stock mínimo de repuestos para garantizar la disponibilidad. Aunque el repuesto tiene una baja criticidad en comparación con otros equipos, es esencial contar con repuestos disponibles para mantener el funcionamiento continuo del homogeneizador. El stock de seguridad de 18 unidades asegura que haya suficiente inventario, mientras que el tiempo de entrega de 12 días permite un plazo adecuado para la reposición en caso de fallas.

4. Sacheteadora simple - Sellos pistones (FER-REP-001)

El ROP calculado para la sacheteadora simple es de 62 unidades. A pesar de que el consumo semestral promedio es de 54 unidades, el repuesto debe estar disponible para cubrir las 2 paradas programadas en el semestre. La cantidad recomendada de 2 unidades y el stock de seguridad permiten mantener una cantidad adecuada de repuestos para evitar interrupciones en el proceso de empaquetado. Dado el tiempo de entrega de 10 días, el ROP calculado garantiza que el repuesto esté disponible sin necesidad de mantener un inventario excesivo, lo que optimiza la gestión de inventarios.

Este análisis es crucial para una correcta gestión de mantenimiento preventivo, ya que garantiza que los repuestos estén disponibles cuando se necesiten, minimizando las interrupciones operativas y maximizando la eficiencia de la planta, cumpliendo con los estándares de confiabilidad operativa.

5.16. Cronograma de mantenimiento

Para la elaboración del cronograma de mantenimiento de la línea de producción de yogurt de EBA Planta – San Lorenzo, se realizó una planificación estructurada que considera las fallas que presentan alta criticidad de los equipos críticos identificados anteriormente. En este desarrollo se definieron las preventivas necesarias para los equipos: pasteurizador, homogeneizador y las sacheteadoras, estableciendo frecuencias de intervención acordes a las recomendaciones del fabricante, las condiciones reales de trabajo y el historial de fallas registrado para garantizar una intervención eficiente sin afectar la continuidad operativa. Este proceso permitió organizar las actividades de forma ordenada, minimizando riesgos de paradas no programadas y promoviendo la confiabilidad de los equipos. Ver anexo 16.

5.17. Optimización de costos y vida útil de los equipos a través de programación lineal

Los equipos a lo largo del tiempo sufren un desgaste que puede reducir su vida útil y afectar su desempeño. La falta de una estrategia de mantenimiento efectiva puede dar lugar a paradas imprevistas, tiempos de inactividad costosos y reparaciones urgentes, lo cual perjudica la eficiencia y rentabilidad de la planta.

Para minimizar estos riesgos, se implementa un Plan de Mantenimiento basado en la Norma Boliviana NB 12017:2020, con el objetivo de optimizar la planificación y ejecución de las actividades de mantenimiento. Este sistema está diseñado para aplicar estrategias preventivas y correctivas que disminuyan los tiempos de inactividad y aumenten la vida útil de los equipos. Antes de su implementación, es fundamental evaluar el impacto que este sistema tendrá en la vida útil de los equipos y en los costos del mantenimiento. En este sentido, se propone un enfoque innovador para analizar la viabilidad del sistema de gestión de mantenimiento, utilizando herramientas de la Investigación de Operaciones, como la Programación Lineal Entera, que permite tomar decisiones óptimas al modelar situaciones en las que una o más variables deben adoptar valores enteros.

5.17.1. Variables de decisión

El modelo establecido para abordar el problema, utiliza las siguientes variables de decisión:

$X_{ij} = 1$ si se paga el costo de operación y el mantenimiento del equipo i en el año j

$X_{ij} = 0$ si se paga el costo de operación y el mantenimiento del equipo i en el año j

$i = 1, 2, \dots, n$ (donde n es el número de equipos)

$j = 1, 2, \dots, n$ (donde n es el número de años, periodo de tiempo de evaluación)

X_{ij} = Variable toma valores de 0 o 1 (presenta una decisión: las decisiones de Sí o No, ¿se debe pagar el costo de operación y mantenimiento de la maquina i el año j ?)

$Y_{ij} = 1$ si se paga el costo de reemplazo del equipo i en el año j

$Y_{ij} = 0$ si se paga el costo de reemplazo del equipo i en el año j

$i = 1, 2, 3, \dots, n$ (donde n es el número de equipos)

$j = 1, 2, 3, \dots, n$ (donde n es el número de años, periodo de tiempo de evaluación)

Y_{ij} = Variable toma valores de 0 o 1 (presenta una decisión: las decisiones de Si o No, ¿se debe pagar el costo de reemplazo de la maquina i el año j ?)

5.17.2. Parámetros

C_{ij} = Costos de operación y mantenimiento de la maquina i en el semestre j (Bs/ año)

R_{ij} = Costos de reemplazo de la maquina i en el semestre j (Bs/ año)

5.17.3. Función objetivo

Minimizar los costos de operación, mantenimiento y reemplazo de equipos mediante la combinación óptima de decisiones en el plazo de 10 años para los equipos críticos de la línea de yogurt en EBA – Planta San Lorenzo.

$$MINIMIZACION (FO) = \sum_{j=1}^{10} \sum_{i=1}^n (C_{ij} * X_{ij}) + \sum_{j=1}^{10} \sum_{i=1}^n (R_{ij} * Y_{ij})$$

Restricciones

$$X_{i=1} + Y_{i=1} = 1$$

$$X_{i=2} + Y_{i=2} = 1$$

$$X_{i=3} + Y_{i=3} = 1$$

$$X_{i=4} + Y_{i=4} = 1$$

$$X_{i=5} + Y_{i=5} = 1$$

$$X_{i=16} + Y_{i=6} = 1$$

$$X_{i=7} + Y_{i=7} = 1$$

$$X_{i=8} + Y_{i=8} = 1$$

$$X_{i=9} + Y_{i=9} = 1$$

$$X_{i=10} + Y_{i=10} = 1$$

$$X_{ij} \in \{0,1\}$$

$$Y_{ij} \in \{0,1\}$$

Las ecuaciones planteadas aseguran que, en el transcurso de un año, solamente se pueda incurrir en un solo tipo de costo (X o Y).

Los datos históricos de los costos de mantenimiento preventivo y correctivo, son fundamentales para estimar los costos de operación y mantenimiento. Para 2026, se estima que el costo de mantenimiento preventivo será un 10% del costo de adquisición de los equipos, y el costo de mantenimiento correctivo un 20%. Estos porcentajes variarán según la antigüedad de los equipos, ajustándose a su vida útil.

La estimación de los costos operativos también depende de factores como la tarifa de energía eléctrica y la capacidad de los equipos de tratamiento. Se calculará el consumo energético de cada equipo (Kw/h) y sus horas de operación diarias, considerando un costo de 1 Kw = 1,12 Bs.

Tabla 62

Estimación de costos de adquisición

Nombre del Equipo	Costo de Adquisición (\$)	Costo de Adquisición (Bs)	Vida Útil Aproximada (años)	Potencia (kW)
Homogeneizador	14.000	97.440	10 - 15 años	5,59
Pasteurizador	22.000	153.120	10 - 15 años	2,24
Sacheteadora Doble	11.000	76.560	10 - 15 años	3,00
Sacheteadora Simple	7.000	48.720	10 - 15 años	2,00

Fuente: Elaboración a base de recolección de datos de manuales Shanghai Sanat Machinery Co.

Tabla 63

Costos de mantenimiento (Cm) y costo de reemplazo (Cr) sin proyecto.

Equipo	Unidades	Costos de mantenimiento			Reemplazo de equipos		Costo de mant. (Cm)	Costo de adq. De nuevo equipo (Cr)
		Preventivo	Correctivo	Energía eléctrica	Costo de servicio técnico	Adquisición de nueva maquinaria		
Homogeneizador	1	9.744	19.488	750	1.500	97.440	29.982	99.690
Pasteurizador	1	15.312	30.624	800	2.500	153.120	46.736	156.420
Sacheteadora Doble	1	7.656	15.312	360	1.400	76.560	23.328	78.320
Sacheteadora Simple	1	4.872	9.744	290	1.200	48.720	14.906	50.210

Fuente: Elaboración propia 2025.

Tabla 64

Resultados de la función objetivo sin proyecto.

Equipo	Cm (Bs)	Cr (Bs)	Variable X	Variable Y	FO (min) en Bs
Homogeneizador	32.124,49	101.832,49	1	-	32.124,49
Pasteurizador	47.095,07	156.779,07	1	-	47.095,07
Sacheteadora Doble	23.522,40	78.514,40	1	-	23.522,40
Sacheteadora Simple	14.896,90	50.200,90	1	-	14.896,90

Fuente: Elaborado en base a los resultados obtenidos mediante la herramienta SOLVER de Microsoft Excel.

Tabla 65

Costos de mantenimiento (Cm) y costo de reemplazo (Cr) con proyecto.

Equipo	Unidades	Costos de mantenimiento			Reemplazo de equipos		Costo de mant. (Cm)	Costo de adq. De nuevo equipo (Cr)
		Preventivo	Correctivo	Energía eléctrica	Costo de servicio técnico	Adquisición de nueva maquinaria		
Homogeneizador	1	9.744	11.693	675	1.500	97.440	22.112	99.615
Pasteurizador	1	15.312	18.374	720	2.500	153.120	34.406	156.340
Sacheteadora Doble	1	7.656	9.187	324	1.400	76.560	17.167	78.284
Sacheteadora Simple	1	4.872	5.846	261	1.200	48.720	10.979	50.181

Fuente: Elaboración propia 2025.

Tabla 66

Resultados de la función objetivo con proyecto.

Equipo	Cm (Bs)	Cr (Bs)	Variable X	Variable Y	FO (min) en Bs
Homogeneizador	22.112	99.615	1	-	22.112
Pasteurizador	34.406	156.340	1	-	34.406
Sacheteadora Doble	17.167	78.284	1	-	17.167
Sacheteadora Simple	10.979	50.181	1	-	10.979

Fuente: Elaborado en base a los resultados obtenidos mediante la herramienta SOLVER de Microsoft Excel.

5.17.4. Ahorro económico

Para evaluar el ahorro en los costos de mantenimiento, se realizó un análisis basado en la función objetivo (FO) del modelo de programación lineal. El propósito principal de esta función es minimizar los costos relacionados con el mantenimiento y, cuando sea necesario, el reemplazo de los equipos evaluados.

Al comparar las funciones objetivo generadas para los escenarios "sin proyecto" y "con proyecto", se pueden observar claramente los ahorros económicos proporcionados por la implementación del plan de mantenimiento. La función objetivo en el escenario "con proyecto" refleja los resultados de la aplicación del sistema propuesto, mientras que el escenario "sin proyecto" muestra la situación actual.

Tabla 67

Comparación de funciones objetivo de las dos alternativas en Bs.

Equipo	Sin proyecto FO	Con proyecto FO	Ahorro (diferencia)
Homogeneizador	32.124,49	22.112,00	10.012,49
Pasteurizador	47.095,07	34.406,00	12.689,07
Sacheteadora Doble	23.522,40	17.167,00	6.355,40
Sacheteadora Simple	14.896,90	10.979,00	3.917,90
Total	117.638,86	84.664,00	32.974,86

Fuente: Elaborado en base a los resultados obtenidos mediante la herramienta SOLVER de Microsoft Excel.

La determinación del impacto en la prolongación de la vida útil de los equipos se realizó a través de un examen exhaustivo de las variables de decisión obtenidas del modelo de programación lineal entera. Dicho análisis ofrece datos clave respecto al momento óptimo para reemplazar un equipo en lugar de continuar con su mantenimiento.

CAPITULO VI
ANÁLISIS FINANCIERO DE LA
PROPUESTA

6.1. Análisis del costo por paradas

La principal fuente de ahorro de la propuesta se deriva de la reducción drástica de los tiempos muertos por fallas inesperadas. La implementación de mantenimientos preventivos/programados, permiten reducir el MTTR, aumentar el MTBF y cuantificar el ahorro en tiempo y en producción no perdida.

6.2. Reducción total de tiempos de parada semestral

Tabla 68

Reducción total de tiempos de parada semestral.

Equipo	Falla	Tiempo de paradas actual(min)	Tiempo de paradas propuesto(min)	Ahorro de tiempo por paradas(min/sem)
Homogeneizador	Cambio de retenes	1.603,0	236,0	1.367,0
Pasteurizador	Cambio de empaques	2.520,0	480,0	2.040,0
Sacheteadora doble	Calibración de sellado	780,0	230,0	550,0
Sacheteadora simple	Ajuste de codificador térmico	720,0	220,0	444,0
Total		5.623,0	1.166,0	4.457,0

Fuente: Elaboración propia 2025.

El análisis técnico de los tiempos de paradas actuales y propuestos para los equipos de la planta tiene como objetivo evaluar la eficiencia operativa y determinar los ahorros de tiempo que se pueden lograr mediante la optimización de los procesos de mantenimiento.

El homogeneizador experimenta un ahorro significativo en los tiempos de paradas. el tiempo de paradas actual es de 1.603,0 minutos, mientras que el tiempo de paradas propuesto se reduce a 236,0 minutos, lo que genera un ahorro de 1.367,0 minutos por semana. Esta mejora del 85% en los tiempos de paradas se logra a través de la

optimización del proceso de cambio de retenes, lo que permite realizar la intervención de manera más eficiente. El ahorro de 1.367,0 minutos por semana se traduce directamente en una mayor disponibilidad del equipo, lo que mejora la eficiencia operativa de la planta y contribuye a un aumento en la productividad.

En el pasteurizador, el tiempo de paradas actual es de 2.520,0 minutos, mientras que el tiempo de paradas propuesto se reduce a 480,0 minutos, lo que da como resultado un ahorro de 2.040,0 minutos por semana. Esto representa una mejora del 81%. La optimización del proceso de cambio de empaques permite una mayor eficiencia en las reparaciones y una reducción significativa en los tiempos de inactividad del equipo. Este ahorro de 2.040,0 minutos por semana mejora la disponibilidad operativa del pasteurizador, lo que impacta positivamente en la capacidad de producción de la planta y reduce las interrupciones no planificadas en el proceso de pasteurización.

La sacheteadora doble experimenta una reducción en el tiempo de paradas actual, que es de 780,0 minutos, a 230,0 minutos con el proceso propuesto de calibración de sellado. Esto resulta en un ahorro de 550,0 minutos por semana, lo que representa una mejora del 71%. La calibración optimizada del sellado permite una intervención más rápida y precisa, reduciendo el tiempo de paradas. El ahorro de 550,0 minutos por semana refleja una mejora significativa en la eficiencia operativa de la sacheteadora doble, lo que también contribuye a aumentar la disponibilidad del equipo y reducir las paradas imprevistas.

Para la sacheteadora simple, el tiempo de paradas actual es de 720,0 minutos, mientras que el tiempo de paradas propuesto se reduce a 220,0 minutos, lo que da como resultado un ahorro de 500,0 minutos por semana. Esto representa una mejora del 69,4% en los tiempos de paradas.

El ajuste optimizado del codificador térmico contribuye a una reducción de los tiempos de intervención, mejorando la precisión y reduciendo la probabilidad de fallas imprevistas. El ahorro de 500,0 minutos por semestre aumenta la disponibilidad

operativa del equipo, lo que resulta en un mayor tiempo de producción y una mayor eficiencia en el proceso de empaquetado.

El análisis de los tiempos de paradas actuales y propuestos muestra que la optimización de los procesos de mantenimiento en cada uno de los equipos tiene un impacto significativo en la reducción de los tiempos de inactividad. El ahorro total de tiempo por paradas es de 4.457,0 minutos por semestre, lo que representa una mejora global del 79,2% en los tiempos de paradas para los equipos evaluados.

Estos ahorros no solo mejoran la disponibilidad operativa de los equipos, sino que también contribuyen a un aumento en la capacidad productiva de la planta, reduciendo los costos operativos relacionados con las paradas imprevistas y mejorando la confiabilidad operativa de los equipos. Las mejoras en los tiempos de paradas se logran mediante la optimización de los procesos de mantenimiento y el uso de tecnologías avanzadas que permiten una intervención más rápida y eficiente.

6.3. Cuantificación del costo de inversión

El costo de inversión se centra en el costo operativo de la implementación semestral del Plan de Mantenimiento Propuesto, incluyendo repuestos y mano de obra directa e indirecta.

6.3.1. Costo de materia prima e insumos

Tabla 69

Costo semestral de materia prima e insumos.

Materia prima e insumos	Cantidad	Unidad	Costo unitario mensual (Bs.)	Costo mensual (Bs.)	Costo semestral (Bs.)
Leche	462.000	L	4,9	377.300,0	2.263.800,0
Cultivos lácticos	11.550	kg	0,9	65.450,0	392.700,0
Azúcar	23.100	kg	4,0	7.700,0	92.400,0
Saborizantes	13.860	kg	4,0	9.240,0	55.440,0
Estabilizantes	231.000	kg	1,5	57,8	346,5

Esencias o sabores	13.860	kg	5,5	5.750,0	69.300,0
Colorantes	0,924	kg	100,0	7.700,0	92,4
Agua	46.200	L	0,5	1.925,0	23.100,0
Citrato de sodio	46.200	kg	10,0	770,0	4.620,0
Fosfato tricálcico	46.200	kg	2,0	15,4	92,4
Sorbato de potasio	9.240	kg	5,0	460,0	2.760,0
Total MOD			138,3	476.368,2	2.904.651,3

Fuente: Elaboración propia 2025.

$$\text{Costo variable unitario de MP e insumos} = \frac{\text{Costo mensual de insumos}}{\text{Producción mensual}}$$

Costo variable unitario de MP e insumos = 6,18 Bs/L

6.3.2. Costo de mano de obra directa

El costo de mano de obra directa mensual de 6 trabajadores, donde 4 operadores reciben 4.100,00 Bs cada uno y 2 encargados de producción con un monto de 5.500 Bs mensual por encargado.; por lo tanto, el costo semestral es:

Tabla 70

Costo semestral de mano de obra directa.

Mano de obra	Cantidad	Costo unitario mensual (Bs.)	Costo mensual (Bs.)	Costo semestral (Bs.)
Operadores	4	4.100,0	16.400,0	98.400,0
Encargado supv.	2	5.500,0	11.000,0	66.000,0
Total MOD	6		27.400,0	164.400,0

Fuente: Elaboración propia 2025.

$$\text{Costo variable unitario de MOD} = \frac{\text{Costo mensual de insumos}}{\text{Producción mensual}}$$

Costo variable unitario de MOD = 0,35 Bs/L

6.3.3. Costo de mano de obra indirecta

Se cuenta con un encargado de mantenimiento con salario de 5.000 Bs. y de un auxiliar de mantenimiento con salario de 3.000 Bs. mensuales, por lo tanto, el costo de mano de obra indirecta semestral es de:

Tabla 71

Costo semestral de mano de obra indirecta.

Mano de obra indirecta	Cantidad	Costo unitario mensual (Bs.)	Costo mensual (Bs.)	Costo semestral (Bs.)
Encargado de mant.	1	5.000,0	5.000,0	30.000,0
Auxiliar de calidad	2	3.000,0	6.000,0	36.000,0
Auxiliar de mant.	1	3.000,0	3.000,0	18.000,0
Total MOI	4		14.000,0	84.000,0

Fuente: Elaboración propia 2025.

$$\text{Costo variable unitario de MODI} = \frac{\text{Costo mensual de insumos}}{\text{Producción mensual}}$$

$$\text{Costo variable unitario de MODI} = 0,18 \text{ Bs/L}$$

6.4. Costo de capacitación

El costo de capacitación para abordar la propuesta requiere de diversas capacitaciones clave para garantizar que el personal esté preparado para abordar las necesidades de mantenimiento preventivo, correctivo y la gestión eficiente de repuestos. Estas capacitaciones son fundamentales para mantener los equipos en condiciones óptimas, minimizar las paradas de producción y mejorar la eficiencia operativa. A continuación, se presenta el desglose de los costos de estas capacitaciones para un semestre.

Para abordar la capacitación de mantenimiento preventivo se procede a formar al personal en la inspección, lubricación, diagnóstico y reemplazo de piezas clave en los equipos críticos y específicamente en la prevención de la falla de alto nivel de criticidad. La capacitación en el mantenimiento correctivo es vital para manejar fallas imprevistas y emergencias en la línea de producción. Esta capacitación cubre el

diagnóstico y reparación de equipos críticos cuando ocurre una falla inesperada, así como la implementación de soluciones rápidas para minimizar el tiempo de inactividad.

Por otra se cuenta con la capacitación en la gestión de inventarios de repuestos, con la finalidad de asegurar que no falten repuestos esenciales y se minimicen las paradas no planificadas, esta capacitación aborda la gestión de inventarios de repuestos, su almacenamiento adecuado, y la rotación eficiente de las piezas. Es importante para optimizar los tiempos de respuesta en caso de necesidad de repuestos.

Tabla 72

Costo de capacitación del plan de mantenimiento.

Capacitación	Contenido	Frecuencia	Costo (Cap/sem)
Mantenimiento Preventivo	Inspección, lubricación, monitoreo de equipos, diagnóstico de piezas.	Trimestral	8.000,0
Mantenimiento Correctivo	Diagnóstico y reparación de fallas, solución de emergencias.	Trimestral	8.500,0
Gestión de Inventarios de Repuestos	Control y gestión de repuestos, almacenamiento, análisis de rotación de piezas.	Trimestral	5.000,0
Total Cap.			21.500,0

Fuente: Elaboración propia 2025.

$$\text{Costo variable unitario de cap.} = \frac{\text{Costo mensual de capacitación}}{\text{Producción mensual}}$$

$$\text{Costo variable unitario de cap.} = 0,046 \text{ Bs/L}$$

6.5. Costo semestral de repuestos

Para llevar a cabo las comparaciones se debe utilizar el consumo y también los precios unitarios (P.U. Bs.) proporcionados (Anexo 17).

Tabla 73*Costo semestral de repuestos propuestos.*

N°	Equipo	Repuesto necesario	Frec.	Unidad Consumo total (unidades/sem)	ROP (unidades)	P.U. (Bs.)	Costo total semestral (Bs.)
1	Pasteurizador	Empaques de placas (FER-REP-201)	3	288	95	180,0	51.840,0
2	Sacheteadora doble	Sellos duales (FER-REP-001-D)	2	108	43	110,0	11.880,0
3	Homogeneizador	Retenes (FER-REP-104)	2	54	21	90,0	4.860,0
4	Sacheteadora simple	Sellos pistones (FER-REP-001)	2	162	62	120,0	19.440,0
Total							88.020,0

Fuente: Elaboración propia 2025.

$$\text{Costo variable unitario de rep.} = \frac{\text{Costo mensual de rep.}}{\text{Producción mensual}}$$

$$\text{Costo variable unitario de rep.} = 0,19 \text{ Bs/L}$$

Tabla 74*Costo semestral de insumos propuestos*

N°	Código	Descripción	Consumo semestral	Unidad	Costo semestral (Bs.)
1	FER-REP-207	Kit limpieza CIP	2	kits	2.000,0
2	FER-REP-101	Aceite ISO 220	4	L	660,0
3	FER-REP-106	Filtros de aceite homogeneizador	2	unidad	360,0
4	FER-REP-006	Lubricante alimentario simple	2	L	390,0
5	FER-REP-006-D	Lubricante alimentario doble	3	L	540,0
6	FER-REP-003	Filtros aire simple	4	unidad	340,0

7	FER-REP-003-D	Filtros aire doble	6	unidad	510,0
8	FER-REP-005-D	Termistores sellado doble	1	unidad	420,0
Total					5.160,0

Fuente: Elaboración propia 2025.

$$\text{Costo variable unitario de insumos.} = \frac{\text{Costo mensual de insumos}}{\text{Producción mensual}}$$

$$\text{Costo variable unitario de rep.} = 0,011\text{Bs/L}$$

Costo variable unitario total = Costo unitario MP + Costo unitario MOD +

Costo unitario MOI + Costo unitario de repuestos e insumos

$$\text{Costo variable unitario total} = 6,18 + 0,35 + 0,18 + 0,046 + 0,201$$

$$\text{Costo variable unitario total} = 6,78 \text{ Bs/L}$$

6.6. Precio de venta (P.U. de venta)

Tabla 75

Precio de venta.

Producto	Unidad(ml)	P.U.(Bs/unidad)
Yogurt bebible	1.000	13,00
Yogurt probiótico	1.000	14,00
Yogurt sachet	120	0,80

Fuente: Elaboración propia 2025.

Tabla 76

Cálculo del MCU

Producto	Precio (Bs)	Costo variable unitario (Bs/L)	MCU (Bs/L)
Yogurt bebible	13,00	6,78	6,22
Yogurt probiótico	14,00	6,62	7,38
Yogurt sachet	0,80	0,68	0,12

Fuente: Elaboración propia 2025.

6.7. Valoración del costo por parada

Para cuantificar el costo por parada que será igual a utilidad neta, se debe valorar la producción recuperada (L/sem) multiplicada por el MCU.

6.7.1. Producción recuperada

Se tiene una producción mensual de 3.500 litros, de los cuales 3.000 son destinados a la elaboración de yogurt bebible y probiótico, el restante al yogurt en sachet.

Equipo homogeneizador

$$\text{Ahorro de tiempo por paradas hom.} = 1.367 \frac{\text{min}}{\text{sem}} \times \frac{1\text{h}}{60\text{min}} \times \frac{1 \text{ día}}{16 \text{ h}}$$

$$\text{Ahorro de tiempo por paradas hom.} = 1,42 \frac{\text{día}}{\text{sem}}$$

Equipo pasteurizador

$$\text{Ahorro de tiempo por paradas past.} = 2.040 \frac{\text{min}}{\text{sem}} \times \frac{1\text{h}}{60\text{min}} \times \frac{1 \text{ día}}{16 \text{ h}}$$

$$\text{Ahorro de tiempo por paradas past.} = 2,13 \frac{\text{día}}{\text{sem}}$$

Equipo sacheteadora doble

$$\text{Ahorro de tiempo por paradas Sachet. D.} = 550 \frac{\text{min}}{\text{sem}} \times \frac{1\text{h}}{60\text{min}} \times \frac{1 \text{ día}}{16 \text{ h}}$$

$$\text{Ahorro de tiempo por paradas Sachet. D.} = 0,57 \frac{\text{día}}{\text{sem}}$$

Equipo sacheteadora simple

$$\text{Ahorro de tiempo por paradas Sachet. S.} = 444 \frac{\text{min}}{\text{sem}} \times \frac{1\text{h}}{60\text{min}} \times \frac{1 \text{ día}}{16 \text{ h}}$$

$$\text{Ahorro de tiempo por paradas Sachet. S.} = 0,46 \frac{\text{día}}{\text{sem}}$$

Tabla 77*Cálculo de producción recuperada*

Equipo	Ahorro de tiempo por paradas(min/sem)	Ahorro de tiempo por paradas(día/sem)	Producción (L/día)	Producción recuperada (L /sem)
Homogeneizador	1.367,00	1,42	3.500	4.970,00
Pasteurizador	2.040,00	2,13	3.500	7.437,50
Sacheteadora doble	550,00	0,57	350	200,00
Sacheteadora simple	444,00	0,46	150	69,00
Total				12.676,50

Fuente: Elaboración propia 2025.

La producción recuperada del homogeneizador presenta un ahorro de 1.367 minutos por semestre, lo que se traduce en una recuperación de 4.970 litros por semestre. El pasteurizador tiene un ahorro de 2.040 minutos por semestre y recupera 7.437,5 litros, siendo el equipo con mayor impacto en la mejora de la producción.

Tabla 78*Cálculo del ahorro neto*

Equipo	Producción recuperada (L/sem)	MCU (Bs/L)	Ahorro neto por parada por equipo (Bs/sem)
Homogeneizador	4.970,00	6,22	30.913,40
Pasteurizador	7.437,50	6,22	46.261,25
Sacheteadora doble	200,00	0,12	24,00
Sacheteadora simple	69,00	0,12	8,28
Total			77.206,93

Fuente: Elaboración propia 2025.

El ahorro neto total es de 77.206,93 Bs/sem.

6.8. Costo total de inversión

$$\text{Costo total de inversión} = \text{CTMO} + \text{CTC} + \text{CTR}$$

$$\text{Costo total de inversión} = 248.000 + 21.500 + 93.180 = \mathbf{362.680,0 \text{ Bs.}}$$

El costo total de inversión (CTI) calculado es de 362.680,0 Bs., desglosado en tres componentes principales, mano de obra, capacitaciones y repuestos y materiales requeridos.

6.9. Cálculo del ROI

La siguiente sección presenta el cálculo del Retorno sobre la Inversión (ROI), un indicador financiero clave que permite evaluar la rentabilidad del Plan de Mantenimiento Propuesto.

El ahorro generado por la reducción de 4.457,0 minutos de inactividad al semestre, resultado de transformar fallas imprevistas en intervenciones programadas y optimizando los tiempos de reparación.

Para obtener el ROI, se aplica la siguiente fórmula:

$$ROI = \frac{\text{Ahorro total}}{\text{Costo de inversión}} \times 100\%$$

$$ROI = \frac{77.206,93}{362.680,00} \times 100\%$$

$$ROI = 21,28\%$$

El resultado del 21,28% indica que la implementación de la estrategia de mantenimiento propuesta es financieramente viable y rentable. Este valor proyectado significa que por cada unidad monetaria invertida en la inversión total requerida (Bs. 362.680,0), la organización recupera su capital y genera una ganancia adicional del 21,28%. El ahorro semestral de Bs. 77.206,93 que representa el costo por parada evitado o la producción recuperada, es el resultado directo de la recuperación de 4.457,0 minutos, equivalente a 74,28 horas de tiempo productivo que anteriormente se perdían debido a fallas inesperadas.

CAPITULO VII
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

El desarrollo de la presente investigación permite establecer las siguientes conclusiones fundamentales:

- Diagnóstico de la situación actual: El análisis detallado de los equipos críticos (homogeneizador, pasteurizador, sacheteadoras simple y doble) reveló que las fallas de alta criticidad (como el cambio de retenes, empaques, calibración de sellado y ajuste de codificadores térmicos) generan 5.623,0 minutos de paradas no programadas por semestre (equivalente a 93,72 horas), afectando directamente la disponibilidad operativa y la productividad de la planta. La falta de un plan de mantenimiento estructurado, la dependencia del mantenimiento correctivo y la escasa gestión de repuestos fueron identificados como los principales factores de riesgo.
- Se diseñó un plan de mantenimiento preventivo y correctivo planificado para las fallas de alta criticidad, alineado con los requisitos de la Norma Boliviana NB 12017:2020. El plan incluye, cronogramas de mantenimiento basados en el análisis de criticidad (FMEA y Pareto). La aplicación de procedimientos estandarizados para intervenciones en los equipos críticos respecto a su falla de alta criticidad. Gestión de repuestos con cálculo de Puntos de Reorden (ROP) para evitar desabastecimientos. Indicadores de desempeño (OEE, MTBF, MTTR) para monitorear la eficiencia.
- El impacto en la disponibilidad y eficiencia, la propuesta del plan reducirá las paradas no programadas en un 79,26% (de 5.623,0 a 1.166,0 minutos/semestre), gracias a la conversión de fallas correctivas en intervenciones planificadas. Donde el OEE mejorará significativamente: Homogeneizador: De 71% a 82%. Pasteurizador: De 56% a 75% El

MTBF aumentará en todos los equipos, mientras que el MTTR se reducirá en un 46%, de 231 a 125 minutos.

- La producción recuperada de 12.676,50 litros por semestre representa una mejora significativa en la eficiencia operativa de la planta. Este ahorro no solo se refleja en el incremento de la producción, sino que también tiene un impacto directo en los costos operativos. Al optimizar los tiempos de parada y reducir los tiempos de inactividad, se logra una producción adicional de 12.676,50 litros, lo que se traduce en un ahorro económico de 77.206,93 bolivianos por semestre.
- El cumplimiento normativo, el plan cumple con el 60% de los requisitos de la NB 12017:2020, especialmente en aspectos como la planificación de mantenimiento, gestión de repuestos y documentación técnica, sentando las bases para una futura certificación.
- El cálculo del ROI demuestra que la implementación del Plan de Mantenimiento Propuesto es financieramente viable y rentable. Con un retorno del 21,28%, se tiene un ahorro semestral de Bs. 77.206,93 lo que representa una recuperación significativa de tiempo productivo previamente perdido. Este resultado resalta la eficacia de transformar fallas imprevistas en intervenciones programadas y optimizar los tiempos de reparación, no solo mejorando la eficiencia operativa, sino también contribuyendo a la rentabilidad de la organización.
- La implementación del Plan de Mantenimiento Propuesto reduce significativamente los riesgos operativos, disminuyendo la probabilidad de fallas catastróficas que puedan afectar la inocuidad del producto. Esto garantiza el cumplimiento de las normativas de SENASAG, asegurando procesos seguros y confiables que protejan la calidad del producto y eviten sanciones.

7.2. Recomendaciones

- Es crucial ejecutar el cronograma de mantenimiento preventivo propuesto, para los equipos críticos respecto a su falla de alta criticidad (homogeneizador, pasteurizador y sacheteadoras), siguiendo los procedimientos documentados.
- Se recomienda asegurar que las intervenciones planificadas se realicen en los tiempos establecidos para evitar la acumulación de fallas, garantizando que se cumpla con el cronograma de mantenimiento preventivo y se minimicen los tiempos de inactividad. Además, se debe contar con una revisión periódica del cumplimiento de las fechas para poder ajustar cualquier desviación en el plan.
- En la gestión de repuestos es de suma importancia mantener el stock mínimo de repuestos críticos (Categoría A) para evitar paradas por falta de materiales, especialmente aquellos con tiempos de entrega largos
- Se recomienda realizar la capacitación propuesta enfocada en: mantenimiento preventivo y correctivo (procedimientos específicos para cada equipo) y gestión de repuestos y registros (para cumplir con la NB 12017:2020).
- Es fundamental utilizar los indicadores clave de rendimiento KPI definidos, tales como OEE, MTBF, MTTR y el cumplimiento de cronogramas, para evaluar mensualmente el desempeño del plan de mantenimiento. También se debe realizar auditorías internas semestrales, conforme al procedimiento de la documentación técnica, para verificar el cumplimiento de los procesos y realizar ajustes necesarios en la estrategia, fomentando un ciclo de mejora continua en la gestión de mantenimiento.