

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
SANTIAGO – CHILE



“PROPUESTA DE PLAN DE MEJORA DE LA
EFECTIVIDAD GLOBAL DE UNA LÍNEA DE
PRODUCCIÓN DE ENVASES”

DIEGO ALEJANDRO LÓPEZ MORALES

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL MECÁNICO

PROFESOR GUÍA: JAIME NÚÑEZ SEGOVIA
PROFESOR CORREFERENTE: NELSON ÁLVAREZ CAMPILAY

MARZO – 2026



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

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

Título del trabajo: PROPUESTA DE PLAN DE MEJORA DE LA EFECTIVIDAD GLOBAL DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE ENVASES

Nombre del candidato(a): Diego López Morales

Carrera / Grado: Ingeniería Civil Mecánica

Campus: San Joaquín Departamento: Ingeniería Mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Jaime Núñez Segovia, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

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

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

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

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

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

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

4.- FIRMAS

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

Fecha: 21/04/2026

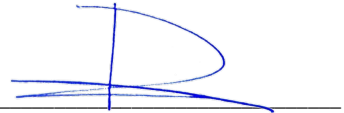
Firma:


Dr.-Ing. Jaime Núñez S.

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 21/04/2026

Firma:



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

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo, quisiera agradecer a mis padres Cynthia Morales, Pablo López y a mi hermana Cristina López, por el apoyo y confianza que han depositado en mi a lo largo de la carrera y durante toda mi vida. También a mi abuelita Rosa por recibirme en su hogar y apoyarme siempre sin importar nada.

También quiero agradecer a todo el equipo docente de la universidad por apoyarme en este trabajo de memoria y todos aquellos profesores con quienes tuve oportunidad de recibir clases, sobre todo aquellos que lograron traspasar no solo la materia y sus conocimientos, sino también experiencia y motivación.

Finalmente quiero agradecer a todos los amigos y compañeros que hice a lo largo de la carrera, sin los cuales mi paso por la universidad no hubiese sido lo mismo.

Por último, agradecer a la Universidad Técnica Federico Santa María por la formación y exigencia, que me motivan a ser un mejor profesional cada día.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como propósito la elaboración de una propuesta de plan de mejora orientada a incrementar la Efectividad Global de Equipos (OEE) de una línea de producción de envases en una empresa del rubro de alimentos, mediante la reducción de pérdidas en proceso.

Para ello, se realiza un diagnóstico detallado de la situación actual, describiendo el contexto operacional de la línea, los principales procesos involucrados, el método de cálculo del indicador OEE utilizado por la organización y la caracterización de las pérdidas de producto en proceso. Posteriormente, se efectúa la priorización de las pérdidas identificadas, considerando criterios operacionales y económicos. A continuación, se determinan las causas raíz asociadas a las principales pérdidas detectadas. Con base en este análisis, se estructura un plan de mejora que contempla las distintas áreas de intervención encontradas en el diagnóstico, incluyendo la descripción de las soluciones propuestas y los recursos involucrados. Asimismo, se ejecuta un conjunto de acciones como parte de un plan piloto, con el propósito de verificar la efectividad de las mejoras propuestas y evaluar su impacto en el desempeño de la línea.

El desarrollo de este trabajo se orienta a eliminar o mitigar los descartes de producto, optimizar el uso de los recursos productivos y, en consecuencia, mejorar los niveles de efectividad global de la línea.

Como resultado, se obtiene un plan de mejora detallado que contempla tres propuestas de mejora. En primer lugar, la reformulación del cálculo de la efectividad global, logrando corregir las diferencias respecto a la teoría. En segundo lugar, la incorporación de un tanque aséptico, que permite recuperar parte del producto descartado en proceso. En tercer lugar, la definición de un estándar de operación en equipo crítico, para reducir las detenciones y prevenir pérdidas recurrentes de producto. El desarrollo del plan piloto permite validar parcialmente la factibilidad de las soluciones planteadas, sentando las bases para reducir las pérdidas y aumentar el OEE de la línea de producción, aportando a la sostenibilidad y competitividad de la empresa.

ABSTRACT

This work aims to develop an improvement plan to increase the Overall Equipment Effectiveness (OEE) of a packaging production line in a food industry company by reducing in-process losses.

To achieve this, a detailed diagnosis of the current situation is conducted, describing the operational context of the line, the main processes involved, the method that the organization uses to calculate the OEE indicator, and the characterization of in-process product losses. Subsequently, the identified losses are prioritized based on operational and economic criteria. Then, the causes of the main detected losses are identified. Based on this analysis, an improvement plan is structured to address the different intervention areas identified in the diagnosis, including a description of the proposed solutions and the resources required. Additionally, a set of actions is implemented as part of a pilot plan to verify the effectiveness of the proposed improvements and evaluate their impact on the line's performance.

The development of this work is oriented toward eliminating or mitigating product rejects, optimizing the use of production resources, and, consequently, improving the overall effectiveness of the production line.

As a result, a detailed improvement plan is developed, including three improvement proposals. First, the reformulation of the overall effectiveness calculation aimed to correct deviations from theoretical standards. Second, incorporating an aseptic tank enables partial recovery of product that would otherwise be discarded during the process. Third, defining an operating standard for critical equipment is crucial to reducing stops and preventing recurring product losses. The implementation of the pilot plan allows partial validation of the feasibility of the proposed solutions, establishing a foundation for reducing losses and increasing the OEE of the production line, thereby contributing to the company's sustainability and competitiveness.

GLOSARIO

AE	Descarte de Producto por “Agua Estéril”
ALMIX	Equipo Mezclador de Materias Primas
BATCH	Volumen Estándar de Producto Elaborado
BTD	Balance Tank Device (Tanque de Balance)
CBP	Cardboard Packer (Equipo Encartonador)
CIP	Clean In Place (Sistema de Limpieza en el Lugar)
CLUSTER	Sistema de Válvulas
CONTROLLER	Equipo Controlador de Línea
CONVEYOR	Equipo Transportador de Envases
CS	Descarte de Producto por “Cambio de Sabor”
DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve, Control (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar)
FLEX	Equipo Pasteurizador de Producto
GPM	Golpes por Minuto
HELIX	Equipo Acumulador de Envases
KPI	Key Performance Indicator (Indicador Clave de Desempeño)
LV	Descarte de Producto por “Lavados”
MEURER	Formador de Tripack’s
MMPP	Materias Primas
OEE	Overall Equipment Effectiveness (Efectividad Global del Equipo)
PDCA	Plan, Do, Check, Act
PHVA	Planear, Hacer, Verificar, Actuar
ROBOT	Equipo de Paletizado
SA	Equipo Aplicador de Bombillas
SPEED	Equipo de Envasado
TANQUE	Equipo Acumulador de Mezcla de Producto
TEEP	Total Effective Equipment Performance (Rendimiento Total Efectivo del Equipo)
TPM	Total Productive Maintenance (Mantenimiento Productivo Total)
TR	Descarte de Producto por “Tiempo de Residencia”

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
RESUMEN	ii
ABSTRACT	iii
GLOSARIO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO	v
INTRODUCCIÓN	ix
OBJETIVOS	x
PLAN DE TRABAJO	xi
1. Marco Teórico	1
1.1 Indicador de Efectividad Global	1
1.2 Metodologías de Mejora Continua	5
1.3 Herramientas de Mejora Continua	7
2. Diagnóstico de la situación actual de la línea de producción	10
2.1 Antecedentes de la Empresa	10
2.1.1 Contexto Operacional.....	10
2.1.2 Proceso Productivo	13
2.2 Medición de Efectividad Global	15
2.2.1 Efectividad Global en la Empresa.....	15
2.2.2 Desempeño de Línea Productiva.....	20
2.3 Pérdidas en Proceso	21
2.3.1 Descarte en Proceso de Elaboración	22
2.3.2 Descarte en Proceso de Envasado y Distribución	26
2.3.3 Volumen y Costo de Descarte.....	29
2.4 Oportunidades de Mejora	31
3. Priorización de las pérdidas detectadas	33
4. Determinación de las causas raíz de las principales pérdidas	36
5. Elaboración del Plan de Mejora	43
5.1 Cálculo de la Efectividad Global	43
5.2 Pérdidas de Disponibilidad en la Línea	45

5.3 Recuperación de Descartes de Producto	47
5.4 Registro de Datos de Producción	48
5.5 Plan de Mejora Propuesto	49
6. Implementación de Plan Piloto	54
Conclusiones	66
Referencias	69
Anexos	70
Anexo 1: Descripción de Categorías de Pérdidas de Disponibilidad.....	70
Anexo 2: Planilla Resumen de Proyecto de Mejora.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Etapas del plan de trabajo.....	xi
Figura 2: Esquema de medición de Efectividad Global (OEE) [2].....	3
Figura 3: Equipos Tetra Pak®.....	12
Figura 4: Diagrama de flujo de línea de producción.....	13
Figura 5: Esquema de descartes por proceso en línea de producción.....	21
Figura 6: Esquema de descartes proceso de elaboración.....	25
Figura 7: Esquema de descartes proceso de envasado y distribución.....	28
Figura 8: Esquema de criterios de volumen y costo en proceso.....	34
Figura 9: Descarte porcentual por proceso en base a criterios de volumen y costo....	34
Figura 10: Análisis causa raíz mediante Diagrama de Ishikawa.....	36
Figura 11: Análisis 5 Por Qué de descarte por Agua Estéril y Tiempo de Residencia.	38
Figura 12: Diagrama de Pareto de pérdidas de disponibilidad en la línea.....	39
Figura 13: Diagrama de Pareto de motivos de detenciones, Abril y Mayo 2025.....	40
Figura 14: Tiempo de detención por equipos, Abril y Mayo 2025.....	41
Figura 15: Áreas de mejora encontradas y propuestas de mejora asociadas.....	49
Figura 16: a) Medición de OEE de la empresa b) Medición de OEE tradicional.....	57
Figura 17: Ejemplo aplicación de metodología Poka-Yoke.....	59
Figura 18: Dimensiones y capacidades nominales tanque aséptico Tetra Pak [9].....	62
Figura 19: Tanque Aséptico Tetra Pak [10].....	63
Figura 20: Dimensiones de tanque aséptico en sala de elaboración.....	64
Figura 21: Diagrama de flujo proceso elaboración con tanque aséptico.....	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Contexto Operacional línea de producción de envases.....	11
Tabla 2: Horarios de turnos de producción.	11
Tabla 3: Listado categorías de pérdidas de disponibilidad en la línea.....	19
Tabla 4: Factores de pérdidas y efectividad de línea de producción, año 2025.....	20
Tabla 5: Indicadores de volumen y costo de descartes diario por proceso.	30
Tabla 6: Alcances de proyecto de mejora.	50
Tabla 7: Detalle equipo de trabajo.	50
Tabla 8: Documento resumen proyecto de mejora.	51
Tabla 9: Plan de acción para propuesta Reformulación del cálculo de la efectividad global.....	52
Tabla 10: Plan de acción para propuesta Definición de estándar de operación equipo MEURER.	52
Tabla 11: Plan de acción para propuesta Incorporación de Tanque Aséptico.	53
Tabla 12: Nuevos factores de pérdida y efectividad de línea de producción.....	56
Tabla 13: Descripción de categorías de pérdida de disponibilidad en la línea.	70
Tabla 14: Planilla resumen de proyecto de mejora.	72

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la competitividad de las industrias manufactureras exige no solo producir más, sino hacerlo con mayor eficiencia, calidad y sostenibilidad. En este contexto, la Efectividad Global del Equipo (OEE, por sus siglas en inglés) se ha consolidado como uno de los principales indicadores para medir el desempeño de las líneas de producción. Cada pérdida de disponibilidad, rendimiento y calidad representa no solo un costo operativo, sino también una oportunidad de mejora que impacta directamente en la rentabilidad y en la capacidad de respuesta frente a las demandas del mercado.

En el contexto actual de una línea de producción de envases de una empresa productiva, con una gran trayectoria y líder en el rubro de alimentos, la efectividad global se ve directamente influenciada por la cantidad de pérdida de producto que ocurre durante el proceso, ya sea, por defectos del producto terminado o descartes de producto semiterminado generados antes de que llegue a la etapa final. Esto no solo impacta en los indicadores de productividad y efectividad, sino que también genera un uso ineficiente de los recursos materiales, humanos y energéticos. Estas pérdidas denominadas como descarte de producto están estrechamente relacionadas con las paradas no planificadas o pérdidas de disponibilidad de la línea, es decir, detenciones en el flujo de producción. Actualmente, no se cuenta con información suficiente para determinar la causa detrás de estas pérdidas, lo que ha exigido un trabajo adicional por parte del área de Producción y del equipo TPM, debido a la falta de información precisa que permita identificar de manera clara las causas de estas pérdidas.

Ante este problema, resulta necesario implementar metodologías de mejora y buscar alternativas que permitan eliminar o reducir los descartes de producto en la línea.

OBJETIVOS

El objetivo general del trabajo es proponer un plan de mejora de la Efectividad Global del Equipo (OEE) de una línea de producción de envases mediante la reducción de pérdidas en proceso.

Para lograr el propósito anteriormente mencionado, se establecen los siguientes objetivos específicos:

- Realizar diagnóstico de la situación actual de la línea de producción de envases, que incluya la descripción de la línea de producción, su contexto operacional, el esquema de medición del indicador OEE que aplica la empresa, la evaluación de desempeño en base al OEE y las pérdidas de producto asociadas.
- Establecer la priorización de las pérdidas detectadas en base a criterios de operación y económicos para orientar las acciones de mejora.
- Determinar las causas raíz de las principales pérdidas que afectan el desempeño de la línea de producción, mediante metodologías de mejoramiento continuo para proponer acciones efectivas.
- Elaborar el Plan de Mejora para eliminar o mitigar las principales pérdidas que afectan el proceso de la línea de producción.
- Desarrollar a modo de plan piloto la implementación de un subconjunto de acciones, propuestas en el plan de mejora y factibles de lograr en el plazo del trabajo, con la finalidad de evaluar su efectividad y validar el plan propuesto.

PLAN DE TRABAJO

Para llevar a cabo este trabajo se considera el desarrollo de una serie de etapas para cumplir con los objetivos propuestos. El plan de trabajo comprende 6 etapas que se ilustran en la Figura 1 y son descritas posteriormente.

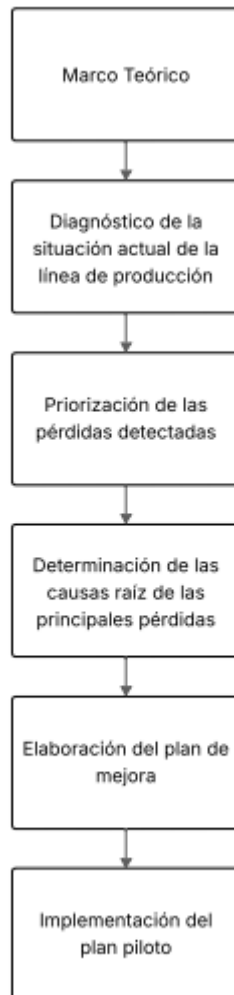


Figura 1: Etapas del plan de trabajo.

El contenido de cada una de las etapas expuestas se describe a continuación;

- **Etapa 1 Marco Teórico.** En esta etapa se explican los conocimientos teóricos utilizados a lo largo del trabajo, que incluye la medición del indicador de Efectividad Global del Equipo (OEE), metodologías y herramientas de mejora continua. Esto se realiza con el fin de orientar el plan de mejora que se desea proponer.
- **Etapa 2 Diagnóstico de la situación actual de la línea de producción.** En esta etapa se describe los procesos de la línea de producción, su contexto operacional, medición del indicador OEE que aplica la empresa, las pérdidas de producto en proceso. Esto se realiza con el fin de tener la mayor cantidad de información existente del proceso.
- **Etapa 3 Priorización de las pérdidas detectadas.** En esta etapa se definen los criterios de cantidad de volumen y costo económico para evaluar el descarte de producto a lo largo de la línea de producción. Esto se realiza con el fin de priorizar la pérdida más crítica.
- **Etapa 4 Determinación de las causas raíz de las principales pérdidas.** En esta etapa se identifican las principales causas raíz que generan descarte de producto en proceso, utilizando herramientas como el diagrama de Ishikawa, diagramas de Pareto y 5 Por qué. Esto con el fin de plantear soluciones que ataquen las causas raíz.
- **Etapa 5 Elaboración del Plan de Mejora.** En esta etapa se presenta el plan de mejora propuesto, describiendo las oportunidades de mejora identificadas junto con las personas y recursos involucrados. Esto con la finalidad de establecer el conjunto de acciones enfocadas en la solución del problema.
- **Etapa 6 Implementación del Plan Piloto.** En esta etapa se desarrolla y documenta los resultados de las acciones que se lograron implementar de acuerdo con el Plan de Mejora, con el fin de validar la efectividad del plan propuesto.

1. Marco Teórico

En este capítulo se describen todos los conocimientos teóricos necesarios para llevar a cabo los objetivos planteados. Esto incluye la medición del indicador de Efectividad Global del Equipo (OEE), metodologías y herramientas de mejora continua utilizadas.

1.1 Indicador de Efectividad Global

Medir el desempeño de los procesos es un requisito para poder realizar actividades de mejora. Entonces, ¿Cómo medir el desempeño en la Producción? y ¿Qué métricas utilizar? La OEE es una métrica que ha sido ampliamente aceptada en la industria, como una herramienta cuantitativa esencial para la medición del desempeño en las operaciones de fabricación. La OEE es la mejor métrica para identificar pérdidas, evaluar el progreso y mejorar la productividad de los equipos de fabricación [1].

La OEE, es una métrica para medir la efectividad de fabricación, es decir, que con una puntuación del 100% significa que se está fabricando solo piezas buenas, lo más rápido posible, sin tiempos de parada.

Antes de revisar las fórmulas y conceptos utilizados en el cálculo de la efectividad global es necesario conocer las siguientes definiciones [2];

- **Tiempo Calendario**: Corresponde al tiempo total transcurrido durante el periodo de estudio, desde la fecha de inicio hasta la fecha de término, lo que incluye cada minuto de cada día.
- **Pérdida de Calendario**: Corresponde a todo el tiempo que no está destinado a ejecutar la producción y por ello se debe excluir del análisis. Dentro se encuentran paradas de planta, descansos, almuerzos, mantenimiento planificado, limpiezas planificadas, entre otros.
- **Tiempo Programado**: Corresponde al tiempo de producción planificado, es decir, el tiempo de calendario menos las pérdidas de calendario.

- **Pérdida de Disponibilidad**: Corresponde a cualquier evento que detenga la producción planificada durante un tiempo considerable (normalmente varios minutos, tiempo suficiente para que un operador registre el motivo). Dentro se encuentran tiempos de fallas, falta de material, preparación y ajustes, cambio de producto, entre otros.
- **Tiempo Disponible**: Corresponde al tiempo después de restar la pérdida de disponibilidad, es decir, el tiempo programado menos las pérdidas de disponibilidad.
- **Pérdidas de Rendimiento**: Corresponde a cualquier evento que haga que el proceso de fabricación se ejecute a una velocidad inferior a la máxima posible. Dentro se encuentran los ritmos de producción lentos y paradas cortas (micro paradas) como desgaste de la máquina, materiales de mala calidad y atascos.
- **Tiempo Neto de Operación**: Corresponde al tiempo después de restar la pérdida de rendimiento, es decir, el tiempo disponible menos las pérdidas de rendimiento. También se puede calcular como las unidades producidas por el tiempo de ciclo ideal.
- **Pérdidas de Calidad**: Corresponde al tiempo invertido en fabricar piezas o unidades que no cumplen con los estándares de calidad establecidos, es decir, el tiempo empleado en fabricar las unidades defectuosas. Dentro se encuentran los desechos y las piezas que requieren retrabajo.
- **Tiempo Totalmente Productivo**: Corresponde al tiempo después de restar la pérdida de calidad, es decir, el tiempo neto de operación menos las pérdidas de calidad. También puede expresarse como el tiempo de producción de solo unidades buenas, lo más rápido posible, sin tiempos de parada. Se puede calcular como las unidades buenas por el tiempo de ciclo ideal.
- **Unidades Producidas**: Corresponde al total de unidades producidas, las unidades buenas más las unidades defectuosas.
- **Tiempo de Ciclo Ideal**: Es el tiempo de ciclo más corto del proceso en condiciones óptimas, se mide en [tiempo/unidad].

Para entender de mejor manera como se relacionan los tiempos mencionados anteriormente, se confecciona un esquema que muestra de manera gráfica la jerarquización de los tiempos y el cálculo de los factores que influyen en la medición de efectividad (ver Figura 2).

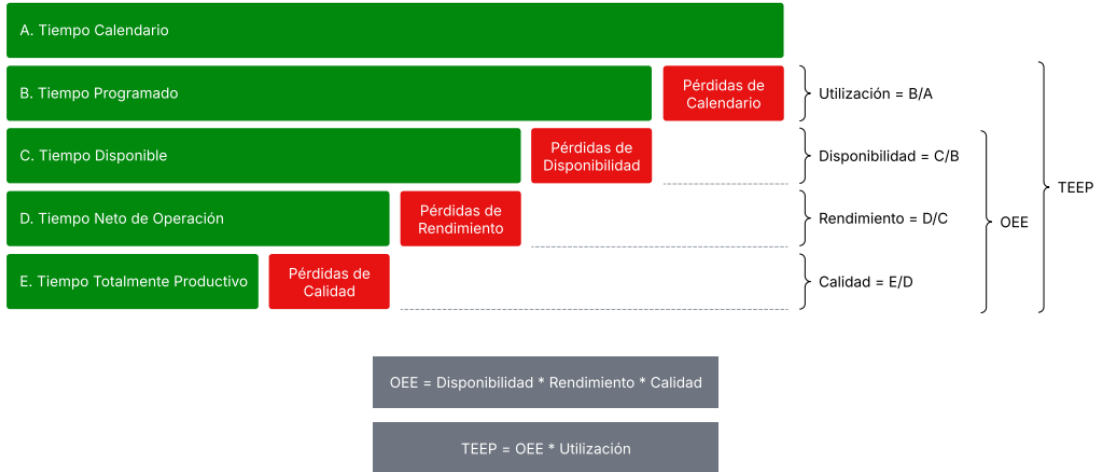


Figura 2: Esquema de medición de Efectividad Global (OEE) [2].

La forma más sencilla de calcular la OEE es la relación entre el Tiempo Totalmente Productivo y el Tiempo Programado [3], tal como se muestra en la Ecuación 1.

$$OEE = \frac{(\text{Unidades Buenas} * \text{Tiempo Ciclo Ideal})}{\text{Tiempo Programado}} \quad (1)$$

Por otro lado, se puede expresar la OEE en base a los tres factores, Disponibilidad, Rendimiento y Calidad, como se indica en la Ecuación 2.

$$OEE = \text{Disponibilidad} * \text{Rendimiento} * \text{Calidad} \quad (2)$$

Al combinar estos 3 factores en el cálculo de un único valor, el OEE no solo permite medir el impacto final de las pérdidas de efectividad, sino también permite identificar oportunidades de mejora y asignar esfuerzos a través de la organización.

Es posible ampliar el análisis de OEE un paso más si se toma en cuenta un cuarto factor, la Utilización, que es el porcentaje del Tiempo de Calendario usado para la producción, obteniendo así el “Rendimiento Total Efectivo del Equipo” (TEEP), tal como se presenta en la Ecuación 3.

$$TEEP = OEE * Utilización \quad (3)$$

Factor de Disponibilidad:

La disponibilidad tiene en cuenta todos los eventos que detienen la producción planificada, y se calcula como la razón entre el “Tiempo Disponible” y el “Tiempo Programado”, tal como se muestra en la Ecuación 4.

$$FD = \frac{Tiempo\ Disponible}{Tiempo\ Programado} \quad (4)$$

Factor de Rendimiento

El rendimiento tiene en cuenta todo lo que hace que el proceso de fabricación se ejecute a un menor ritmo de la capacidad nominal, y es la razón entre el “Tiempo Neto de Operación” y el “Tiempo Disponible”. El tiempo neto de operación puede obtenerse como las unidades producidas por el tiempo de ciclo ideal, tal como se muestra en la Ecuación 5.

$$FR = \frac{(Unidades\ Producidas * Tiempo\ Ciclo\ Ideal)}{Tiempo\ Disponible} \quad (5)$$

Factor de Calidad

La calidad tiene en cuenta las piezas fabricadas que no cumplen con los estándares de calidad, incluidas piezas que necesitan reparaciones o reprocesos, y es la razón entre el “Tiempo Totalmente Productivo” y el “Tiempo Neto de Operación”. El tiempo totalmente productivo puede obtenerse como las unidades buenas por el tiempo de ciclo ideal, tal como se muestra en la Ecuación 6.

$$FC = \frac{Unidades\ Buenas * Tiempo\ Ciclo\ Ideal}{Unidades\ Producidas * Tiempo\ Ciclo\ Ideal} \quad (6)$$

1.2 Metodologías de Mejora Continua

Para mejorar la calidad y, en general, para resolver problemas recurrentes, es imprescindible seguir una metodología bien estructurada, para así llegar a las causas de fondo de los problemas y no quedarse en atacar efectos y síntomas [4]. En este sentido la mayoría de las metodologías de solución de problemas están inspiradas en el ciclo de la calidad o ciclo PDCA (PHVA por sus siglas en español), en el que se desarrolla de manera objetiva y profunda un plan, se analiza si se obtuvieron los efectos esperados y la magnitud de estos, y de acuerdo con lo anterior se actúa en consecuencia. Este ciclo es el corazón de la mejora continua y deriva en métodos como el DMAIC (por sus siglas en inglés Define, Measure, Analyze, Improve y Control).

En un contexto organizacional en el que la variabilidad, los defectos y el desperdicio comprometen directamente la competitividad, es fundamental contar con metodologías que permitan mejorar los procesos de manera constante y medible. El DMAIC se destaca como la estructura central de los proyectos Six Sigma, siendo ampliamente utilizado para resolver y optimizar procesos, problemas crónicos y garantizar la calidad de forma sostenible [5].

El DMAIC es una metodología estructurada de mejora de procesos, centrada en la resolución de problemas complejos mediante datos y análisis estadísticos. Está compuesta por cinco fases secuenciales: Define (Definir), Measure (Medir), Analyze (Analizar), Improve (Mejorar) y Control (Controlar). Cada fase cuenta con objetivos, entregables y herramientas específicas que guían a los equipos de mejora en la identificación y eliminación sistemática de ineficiencias, variaciones y causas raíz de fallos en los procesos [5].

Las etapas del ciclo DMAIC se describen a continuación:

- **Definir el Proyecto (D):** En esta etapa se define el problema e identifican las oportunidades de mejora, determinando los requerimientos críticos del cliente. El objetivo es entender a cabalidad el problema y las variables involucradas. Por ello, al finalizar esta fase se debe tener claro el objetivo del proyecto, la forma de medir su éxito, su alcance, los beneficios potenciales y las personas que intervienen en éste [4].

- **Medir la Situación Actual (M):** En esta etapa se definen los parámetros claves de desempeño y se recopila la información y datos del proceso. Por ello, se establece con mayor detalle las métricas con las que se evaluará el éxito del proyecto [4].

- **Analizar las Causas Raíz (A):** En esta etapa se identifican y validan las causas raíz del problema, que aseguren la eliminación o mitigación del problema. Por ello, se trata de entender cómo y por qué se genera el problema, buscando llegar hasta las causas más profundas y confirmarlas con datos [4].

- **Mejorar (I):** En esta etapa se identifican y seleccionan las soluciones más adecuadas, para luego generar un plan de acción e implementar las soluciones. Por ello, se proponen e implementan soluciones que atiendan las causas raíz, es decir, asegurarse de que se corrige o reduce el problema [4].

- **Controlar para Mantener la Mejora (C):** En esta etapa se realiza una evaluación y seguimiento de la mejora, para asegurar el logro de buenos resultados. Por ello, se diseña un sistema que mantenga las mejoras logradas en el tiempo [4].

1.3 Herramientas de Mejora Continua

A continuación, se detallan las herramientas tradicionales básicas utilizadas en Seis Sigma, con sus características y funciones.

Diagrama de Pareto

Es un gráfico especial de barras cuyo campo de análisis o aplicación son los datos categóricos, y tiene como objetivo ayudar a focalizar el o los problemas críticos, así como sus principales causas. La idea es que cuando se quiera mejorar un proceso, no se trabaje con todos los problemas al mismo tiempo atacando todas las causas a la vez, sino que, con base en los datos e información aportados por un análisis estadístico, se prioricen aquellas categorías que generan el mayor impacto [4]. Esto se respalda por el llamado “*Principio de Pareto*” o también conocido como “Ley 80-20”, el cual establece que el 80% de los efectos es generado por el 20% de las causas.

Esta herramienta es clave para identificar y priorizar los problemas más impactantes, permitiendo enfocar los esfuerzos en soluciones que generen el mayor beneficio.

Hojas de Verificación

Es un formato construido para coleccionar datos, de forma que su registro sea sencillo y sistemático, y se puedan analizar visualmente los resultados obtenidos [4].

Algunas de las situaciones en las que resulta de utilidad obtener datos a través de las hojas de verificación son, describir el desempeño o resultados de un proceso, clasificar fallas o defectos detectados, registrar posibles causas de problemas, analizar o verificar operaciones y evaluar el efecto de los planes de mejora.

Estas hojas de verificación pueden ser aplicadas en forma de planillas o registros de control de procesos, en los cuales se recopila información clave de los procesos productivos, datos que posteriormente se utilizan para obtener indicadores y realizar análisis de desempeño de la producción. Dentro de los datos recolectados, se puede incluir la información del período de evaluación (como turnos), operarios, máquinas, fechas, entre otras. La idea es tener una hoja de fácil registro, comprensión y análisis.

Una buena medida, es el uso de hojas electrónicas, que permiten analizar la información en tiempo real a todo quién la pudiera necesitar, sin necesariamente tener que estar al lado del proceso. Los usos de las hojas de verificación pueden ser variados y adaptables según los requerimientos del caso.

Diagrama de Ishikawa

El “diagrama de causa-efecto”, de Ishikawa o “Espinosa de Pescado”, es un método gráfico que relaciona un problema o efecto con los factores o causas que posiblemente lo generan. La importancia de este diagrama radica en que obliga a buscar las diferentes causas que afectan el problema bajo análisis y, de esta forma, se evita el error de buscar de manera directa las soluciones sin cuestionar cuáles son las verdaderas causas [4].

El método de las “6M” es el más común y consiste en agrupar las causas potenciales en seis ramas principales, Método de trabajo, Mano de obra, Materiales, Maquinaria, Medición y Medio ambiente. Estos seis elementos definen de manera global todo proceso y cada uno aporta parte de la variabilidad del producto final, por lo que, es natural esperar que las causas de un problema estén relacionadas con alguna de las 6M.

Brainstorming

La “lluvia de ideas” es una forma de pensamiento creativo encaminada a que todos los miembros de un grupo participen libremente y aporten ideas sobre determinado tema o problema. Esta técnica es de gran utilidad para el trabajo en equipo, ya que permite la reflexión y el diálogo con respecto a un problema y en términos de igualdad [4].

Es una herramienta ampliamente utilizada en el mejoramiento de procesos y solución de problemas, normalmente utilizada como la primera herramienta en proyectos de mejora.

Diagrama de Proceso

Es una representación gráfica de la secuencia de los pasos o actividades de un proceso. Por medio de este diagrama es posible ver en qué consiste el proceso y cómo se relacionan las diferentes actividades; asimismo, es de utilidad para analizar y mejorar el proceso [4].

Es de gran utilidad en los proyectos de mejora, ya que, permite entender cómo funciona el proceso en la actualidad.

Sistema Poka-Yoke

La inspección y el monitoreo de procesos debe enfocarse a detectar la regularidad estadística de las fallas, para identificar dónde, cuándo y cómo están ocurriendo las fallas, a fin de enfocar mejor las acciones correctivas. El reto no sólo es detectar los defectos antes que lleguen al cliente, sino atender las causas para evitar que haya defectos [4]. En este contexto, el propósito fundamental de un *sistema poka-yoke* es diseñar sistemas y métodos de trabajo, así como procesos a prueba de errores. El término proviene del japonés: *poka* (error inadvertido), *yoke* (prevenir).

La importancia en el uso de este tipo de sistemas o dispositivos es advertir o prevenir lo más posible el error, y por ende sus consecuencias, es decir, la inspección no se realiza sobre el efecto del error, sino en la fuente de éste.

RCA

El análisis de causa raíz (o RCA de sus siglas en inglés), también conocido como los 5 ¿Por qué?, una herramienta simple pero poderosa utilizada para encontrar rápidamente la raíz de un problema. Es una técnica que busca profundizar en el análisis de causas, preguntando y respondiendo en forma sucesiva el porqué de un problema [4].

Consiste en responder secuencialmente hasta cinco veces la pregunta ¿Por qué? a la ocurrencia de un evento con el fin de encontrar la causa que lo generó. El análisis es más efectivo cuando las respuestas provienen de personas que tienen experiencia práctica en el proceso que se está examinando.

2. Diagnóstico de la situación actual de la línea de producción

En este capítulo se describe la situación actual de la línea de producción en estudio, que incluye los antecedentes sobre la empresa como el contexto operacional de la línea productiva, la descripción del proceso productivo, la medición del indicador de efectividad global que aplica la empresa y el desempeño de la línea en base al indicador OEE. Además, se describe los distintos descartes de producto asociados a cada proceso de la línea. Finalmente, se explican las oportunidades de mejora encontradas a lo largo de la etapa de diagnóstico.

2.1 Antecedentes de la Empresa

A continuación, se explica todo lo referente al contexto de la empresa y línea de producción.

2.1.1 Contexto Operacional

La empresa en cuestión es líder en el rubro de alimentos con más de 100 años de trayectoria, donde la producción consiste en jugos líquidos envasados en material Tetra con un volumen individual de 190 [ml]. La empresa cuenta con dos líneas en paralelo que funcionan de manera independiente y con una operación similar, y ambas poseen una capacidad nominal de 24.000 envases por hora (400 [env/min]), esto se traduce en una capacidad de 1.000 cajas de producto terminado por hora (16,7 [cajas/min]). En cada línea, la producción es en serie, desde la mezcla de MMPP hasta el producto final, de tal forma que, si existe una detención de algún equipo, se detiene la línea completa. El proceso es automático efectuado por máquinas, salvo la carga de MMPP e insumos que lo realizan los operadores, los equipos son manejados por los operadores y de ellos depende que la producción se mantenga constante. La mezcla de producto es formulada en tanques de 10.000 [l] y el producto final consiste en cajas de 24 envases o tripack de 8x3x190 [ml], las cuales son apiladas en pallets con una capacidad máxima de 147 cajas. La producción es 24/6, es decir, seis días a la semana

de Lunes a Sábado con tres turnos diarios. A modo resumen, se detalla el contexto operacional de la línea de producción en la Tabla 1.

Tabla 1: Contexto Operacional línea de producción de envases.

Producto Individual:	Jugos líquidos en envases de material Tetra (190 [ml]).
Producto Terminado:	Caja de cartón con 24 envases.
Volumen de Producción:	Capacidad nominal de 24.000 envases por hora (400 [env/min]) dictada por envasadora.
Tipo de Proceso:	Operación en serie y automática.
Turno de Producción:	Turnos rotativos 24/6 (3 turnos diarios, 6 días a la semana).
Mano de Obra:	Total de 4 operadores de máquina por turno (12 diario).
Maquinaria:	Equipos en su mayoría de la empresa proveedora Tetra Pak®. (Mezclado, Almacenaje, Pasteurizado, Envasado, Encajado, Paletizado, etc.)

Como se menciona anteriormente, los operadores trabajan en turnos rotativos de mañana, tarde y noche, con una duración de 8 horas aproximadamente, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Horarios de turnos de producción.

Turno	Horario	Tpo. Turno en Horas [h]	Tpo. Turno en Minutos [min]
Turno 3	Noche (22:30 a 06:40)	8,16	490
Turno 1	Día (06:40 a 14:35)	7,92	475
Turno 2	Tarde (14:35 a 22:30)	7,92	475

La mayoría de los equipos presentes en la línea de producción, pertenecen a la empresa proveedora Tetra Pak® [6], algunos de ellos se pueden observar en la Figura 3. El listado de equipos utilizados en la línea de producción se menciona a continuación;

- 1) ALMIX – Equipo Mezclador
- 2) TANQUE – Equipo Acumulador
- 3) FLEX – Equipo Pasteurizador
- 4) CLUSTER – Sistema de Válvulas
- 5) SPEED – Equipo de Envasado
- 6) HELIX – Equipo Pulmón
- 7) SA – Equipo Aplicador de Bombillas
- 8) MEURER – Formador de Tripack's
- 9) CBP – Equipo Encartonador
- 10) ROBOT – Equipo de Paletizado
- 11) CONTROLLER – Equipo Controlador de línea

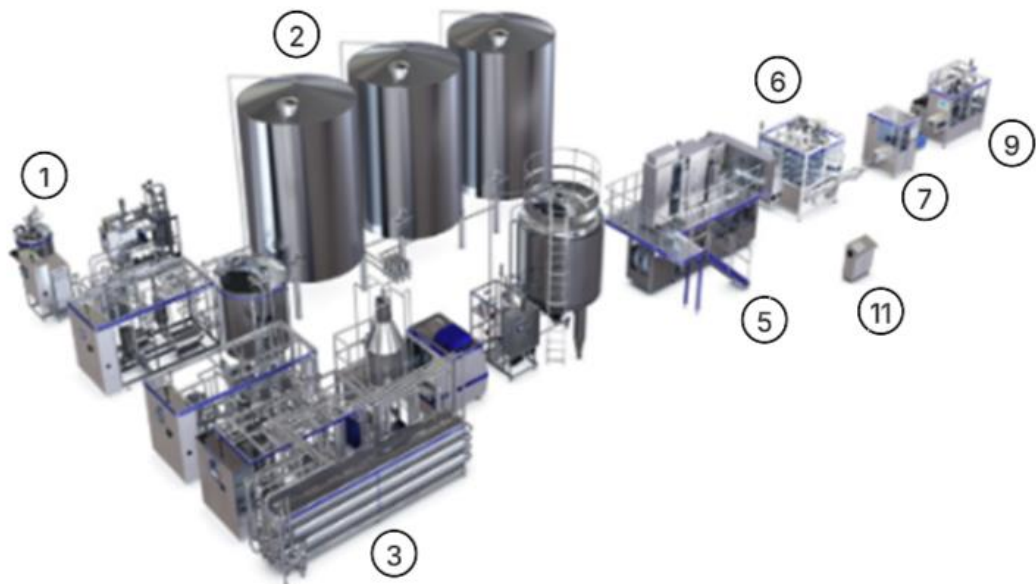


Figura 3: Equipos Tetra Pak®.

2.1.2 Proceso Productivo

El proceso productivo consta de tres subprocesos principales; Elaboración, Envasado y Distribución, teniendo una operación en serie, es decir, el producto pasa de un equipo a otro, tal como se muestra en la Figura 4. Por esta razón, cualquier detención en la línea significa una detención de la línea completa.

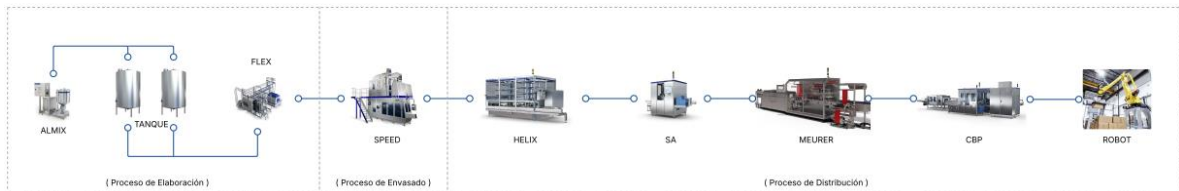


Figura 4: Diagrama de flujo de línea de producción.

Proceso de Elaboración:

El proceso inicia con la puesta en marcha o levantamiento del programa en la máquina FLEX. Durante esta fase, se realiza la formulación del producto, la cual consiste en llenar el tanque de acumulación con 9.000 litros de agua, a los cuales se les añade las materias primas (MMPP) indicadas en la receta, a través del equipo ALMIX, llegando a un volumen de poco menos de 10.000 [l]. La mezcla circula constantemente entre el tanque de acumulación (con capacidad de 10.000 litros) y el ALMIX, hasta que la formulación es aprobada mediante el análisis de una muestra en el laboratorio de calidad. Dicho análisis verifica que los niveles de Brix y Acidez estén dentro del rango establecido. Una vez validada la mezcla, se autoriza la liberación del “BATCH” (con BATCH se hace referencia a la cantidad estándar de producto elaborado que indica la receta). Posteriormente, la mezcla es conducida a través del piping, pasando por un equipo pasteurizador FLEX, el cual somete el producto a un golpe de calor para eliminar microorganismos, elevando la temperatura a 98 [°C]. Luego, se procede a una fase de enfriamiento, reduciendo la temperatura del producto antes del envasado.

Proceso de Envasado:

En esta etapa, el producto es trasladado a la máquina SPEED, encargada de formar y sellar los envases. La mezcla debe ingresar a este equipo con una temperatura igual o inferior a 24 [°C] para garantizar un proceso de envasado óptimo. La máquina SPEED posee una capacidad nominal de 24.000 envases por hora (400 envases por minuto). Al finalizar esta etapa, el producto se considera semiterminado, y pasa a la sala y etapa de distribución.

Proceso de Distribución:

En esta etapa, los envases pasan por el equipo HELIX, que actúa como un pulmón de almacenamiento, permitiendo mantener la continuidad de la producción en caso de detenciones breves (proporciona 7-8 minutos de autonomía). A continuación, el proceso sigue el siguiente flujo; la SA se encarga de adherir las bombillas a los envases, la MEURER separa y forma los tripacks, la CBP realiza el armado de cajas y el ROBOT apila las cajas en los pallets. Los equipos están conectados entre sí mediante los CONVEYOR o cintas transportadoras, y los flujos son manejados por un equipo controlador (CONTROLLER). Es importante destacar que, a lo largo de todo el proceso, se debe garantizar una distribución ordenada de los envases, aquellos que no se encuentren en posición vertical no pueden ser procesados correctamente por los equipos, por esta razón, la línea cuenta con varios puntos de control que identifican y descartan los envases que presenten una inclinación o posición inadecuada.

2.2 Medición de Efectividad Global

A continuación, se explica el cálculo de la efectividad que aplica la empresa y el desempeño que ha tenido la línea de producción en el tiempo.

2.2.1 Efectividad Global en la Empresa

La empresa utiliza el indicador OEE para evaluar el desempeño de cada línea, sin embargo, la medición se realiza a nivel de línea completa, no por equipo. Esto se debe a la falta de automatización y a la ausencia de sistemas que permitan registrar datos en tiempo real, por lo que, los datos utilizados provienen de los registros manuales efectuados por los operadores en cada turno.

Algunos datos importantes para el cálculo de la efectividad global son;

- Tiempo Programado de Producción (Tiempo de turno) [horas o minutos]
- Tiempo de Detenciones [horas o minutos]
- Cantidad de Unidades Producidas (Producto Terminado) [cajas o envases]
- Cantidad de Unidades Defectuosas (Producto Terminado) [cajas o envases]
- Capacidad Nominal (GPM) [unidades / hora]

Los datos mencionados son registrados en el informe de producción por el operador encargado, que incluye, además, fecha, turno, puesto de trabajo, producto, número de orden, tiempos de detención, entre otros datos. Posteriormente, estos registros son ingresados a una base de datos en Excel, desde donde se calculan los factores asociados al OEE y los porcentajes de pérdidas.

La manera en que se controla y analiza la efectividad es un tanto diferente del planteamiento tradicional. En este caso, la empresa no analiza los factores de disponibilidad, rendimiento y calidad, sino que se enfoca en analizar los porcentajes de pérdidas respecto al tiempo programado, junto con el porcentaje de la OEE. Luego la suma de todos los porcentajes debe dar el 100% del tiempo programado para la producción. Esta forma de visualizar la efectividad permite observar todas las pérdidas de tiempo en el periodo de producción, identificando a que porcentaje equivale el tiempo totalmente productivo versus el porcentaje de las distintas pérdidas en proceso.

Los factores que calcula y controla la empresa se explican a continuación:

Factor de Pérdida de Disponibilidad (FPD)

Es la razón entre el “Tiempo Detenciones” que corresponde al tiempo estimado de detenciones o pérdidas de disponibilidad registrado, sobre el “Tiempo Programado” que corresponde al tiempo de producción indicado por turno, tal como se muestra en la Ecuación 7.

$$FPD = \frac{\text{Tiempo Detenciones}}{\text{Tiempo Programado}} \quad (7)$$

Este factor mide la proporción del tiempo de detenciones de la línea sobre el tiempo programado, obteniendo el porcentaje de tiempo que corresponde a paradas.

Sin embargo, este factor considera todas las categorías o tipos de detención que ocurren en la línea, incluyendo tanto paradas planificadas como no planificadas. Esto no es consistente con la teoría, la cual dicta que las paradas planificadas se deben excluir del análisis de OEE porque no hay intención de ejecutar la producción durante este tiempo.

Factor de Pérdida de Rendimiento (FPR)

Es la razón entre el tiempo de "Pérdida de Rendimiento" que corresponde al “Tiempo Disponible” menos el “Tiempo Neto de Operación”, sobre el “Tiempo Programado” que corresponde al tiempo de producción indicado por turno. El tiempo disponible se obtiene como la resta entre el tiempo programado y el tiempo de detenciones, mientras que el tiempo neto de operación, se puede estimar como la razón entre las “Unidades Producidas” y la “Capacidad Nominal”, como se muestra en la Ecuación 8.

$$FPR = \frac{(\text{Tiempo Programado} - \text{Tiempo Detenciones}) - \left(\frac{\text{Unidades Producidas}}{\text{Capacidad Nominal}}\right)}{\text{Tiempo Programado}} \quad (8)$$

Este factor mide la proporción del tiempo de micro paradas sobre el tiempo programado, obteniendo el porcentaje de tiempo que corresponde a velocidad reducida.

Sin embargo, este factor no considera dentro del cálculo todas las unidades defectuosas que se descartaron en proceso, sino, solo aquellas unidades que poseen defectos al final del proceso productivo, es decir, solo en producto terminado.

Factor de Pérdida de Calidad (FPC)

Es la razón entre el tiempo de “Pérdida de Calidad” que corresponde al tiempo empleado en realizar unidades que no cumplen con el estándar de calidad establecido, sobre el “Tiempo Programado” que corresponde al tiempo de producción indicado por turno. El tiempo de pérdida de calidad se obtiene como la razón entre las “Unidades Defectuosas” y la “Capacidad Nominal”, tal como se muestra en la Ecuación 9.

$$FPC = \frac{\left(\frac{\text{Unidades Defectuosas}}{\text{Capacidad Nominal}}\right)}{\text{Tiempo Programado}} \quad (9)$$

Este factor mide la proporción del tiempo de defectos sobre el tiempo programado, obteniendo el porcentaje de tiempo ligado a la elaboración de unidades defectuosas.

Sin embargo, este factor no se calcula por turno como los demás, sino que al final del mes, ya que, es cuando el Área de Calidad hace entrega de un documento o informe sobre todos los bloqueos de producto terminado, entregando la fecha de bloqueo, tipo de producto bloqueado, línea de producción, cantidad bloqueada, causa y acción correctiva empleada, entre otros datos. En el caso de la línea de producción de envases, solo se toma como producto terminado las cajas de 24 envases, extrayendo muestras de diferentes pallets para analizar. En caso de que estas no cumplan los parámetros establecidos, se procede a revisar el pallet completo. Por ende, las unidades defectuosas consideradas dentro del cálculo equivalen solo a producto terminado, dejando fuera toda unidad de producto semiterminado que se descarta en proceso.

Efectividad Global de la Línea

Finalmente, la OEE se calcula como la razón entre el “Tiempo Totalmente Productivo” que corresponde al tiempo empleado para producir solo unidades buenas, a la máxima velocidad y sin tiempos de parada, sobre el “Tiempo Programado” que corresponde al

tiempo de producción indicado por turno. El tiempo totalmente productivo puede obtenerse como las “Unidades Buenas” sobre la “Capacidad Nominal”, donde las unidades buenas equivalen a la resta entre las “Unidades Producidas” y las “Unidades Defectuosas”, tal como se muestra en la Ecuación 10.

$$OEE = \frac{(Unidades\ Producidas - Unidades\ Defectuosas) * \frac{1}{Capacidad\ Nominal}}{Tiempo\ Programado} \quad (10)$$

Diferencias con la Teoría

Cabe mencionar que existen dos diferencias principales en la medición de la efectividad por parte de la empresa con respecto a la teoría.

Primero, para el cálculo del factor de pérdida de disponibilidad, se consideran categorías de detenciones que no deberían entrar en el cálculo de la efectividad, ya que, son categorías que, de acuerdo con su definición, corresponden a tiempos que no están destinados a la producción, sino a otras actividades que por su naturaleza implican una detención de la línea productiva. Si bien detienen la producción, no son tiempos que están destinados a ello, por lo que, equivalen a paradas planificadas y caen dentro de lo que serían pérdidas de calendario. Debido a esto, el FPD es mayor y por ende el factor de disponibilidad es mucho más bajo de lo que debería ser, y a su vez lo es la efectividad.

En la Tabla 3 se aprecia el listado de las categorías de pérdidas de disponibilidad, donde aquellas marcadas en amarillo con los códigos [03; 04; 13; 14; 35] se refieren a tiempos que no están destinados a la producción. La definición de cada una de ellas se encuentra en Anexo 1.

Entonces, los tiempos de detención asociados a motivos, tales como Colación, Aseo General, Pruebas de Desarrollo, Mantenimiento Planificado y Capacitación, corresponden a tiempos planificados de detención de la línea, por lo que, no forman parte de la OEE.

Tabla 3: Listado categorías de pérdidas de disponibilidad en la línea.

CÓDIGO	MOTIVO
01	Falla Mecánica
02	Falla Eléctrica
03	Colación
04	Aseo General
05	Falta de Insumo
06	Falta de Personal
07	Cambio de Formato
09	Falla de Servicio
10	Cambio de Programación
12	Ajuste de Equipo
13	Pruebas de Desarrollo
14	Mantenimiento Planificado
19	Falta de Materia Prima
23	Cambio Bobina de Envase
25	Falla Operacional
35	Capacitación
37	Inicio y Término de Producción

Segundo, para el cálculo del Factor de Pérdida de Calidad (FPC), no se considera el descarte de producto semiterminado durante el proceso, sino solo el producto terminado descartado, lo cual no es congruente con la medición de la efectividad para la línea completa. Debido a esto, el FPC es menor y por ende el Factor de Calidad (FC) es más alto de lo que debería ser, lo que se traduce en un mayor OEE.

2.2.2 Desempeño de Línea Productiva

De acuerdo con datos históricos de producción, el desempeño de la efectividad Global de la línea de producción de envases, obtenido del cálculo aplicado por la empresa, se resume en la Tabla 4, donde se aprecia el valor mensual de la OEE y sus factores para los primeros seis meses del año 2025.

Tabla 4: Factores de pérdidas y efectividad de línea de producción, año 2025.

Factores de Pérdidas				Factores de Efectividad				
Mes	FPD	FPR	FPC	Mes	FD	FR	FC	OEE
enero	54,18 %	2,98 %	0,00 %	enero	45,8 %	93,5 %	100,0 %	42,8 %
febrero	60,50 %	0,98 %	0,02 %	febrero	39,5 %	97,5 %	100,0 %	38,5 %
marzo	61,74 %	1,49 %	0,41 %	marzo	38,3 %	96,1 %	98,9 %	36,4 %
abril	49,85 %	0,94 %	0,06 %	abril	50,1 %	98,1 %	99,9 %	49,1 %
mayo	49,47 %	1,37 %	0,39 %	mayo	50,5 %	97,3 %	99,2 %	48,8 %
junio	51,89 %	1,96 %	0,18 %	junio	48,1 %	95,9 %	99,6 %	46,0 %
Total	53,48 %	1,54 %	0,21 %	Total	46,5 %	96,7 %	99,5 %	44,8 %

De acuerdo con lo anterior, la línea de producción posee una efectividad global del 45% aproximadamente en la primera mitad del año 2025. Con un factor de disponibilidad, rendimiento y calidad del 47%, 97% y 99% respectivamente.

Se aprecia que el valor del Factor de Disponibilidad (FD) es bastante bajo, atribuido a que se consideran dentro del cálculo tiempos que no corresponden a producción, por ende, el factor es menor a cómo debería ser realmente. Por otro lado, el Factor de Rendimiento (FR) y Factor de Calidad (FC) son considerablemente altos, sobre todo este último, que llega casi al 100%, lo cual no refleja la realidad de la línea, que posee una cantidad de descartes mayor a lo indicado.

En cuanto a los factores de pérdidas, se aprecia un Factor de Pérdida de Disponibilidad (FPD) promedio del 53,5% en la primera mitad del año, lo que se traduce en una pérdida de más de la mitad del tiempo de producción, esto se justifica por las categorías donde no se ejecuta producción. Por otro lado, los Factores de Pérdida de Rendimiento (FPR) y Calidad (FPC) son considerablemente bajos debido a que existen descartes de producto (unidades defectuosas) en proceso que no están incluidos en el cálculo.

2.3 Pérdidas en Proceso

Durante la producción ocurren diversas pérdidas a lo largo de la línea, es decir, en cada etapa o proceso se descarta parte del producto, ya sea de producto semiterminado o terminado.

Existen tres procesos principales en los cuales se puede subdividir la línea productiva, estos son Elaboración, Envasado y Distribución. Cada uno de estos procesos está asociado a un descarte de producto que ocurre en uno o más equipos, tal como se muestra en la Figura 5.

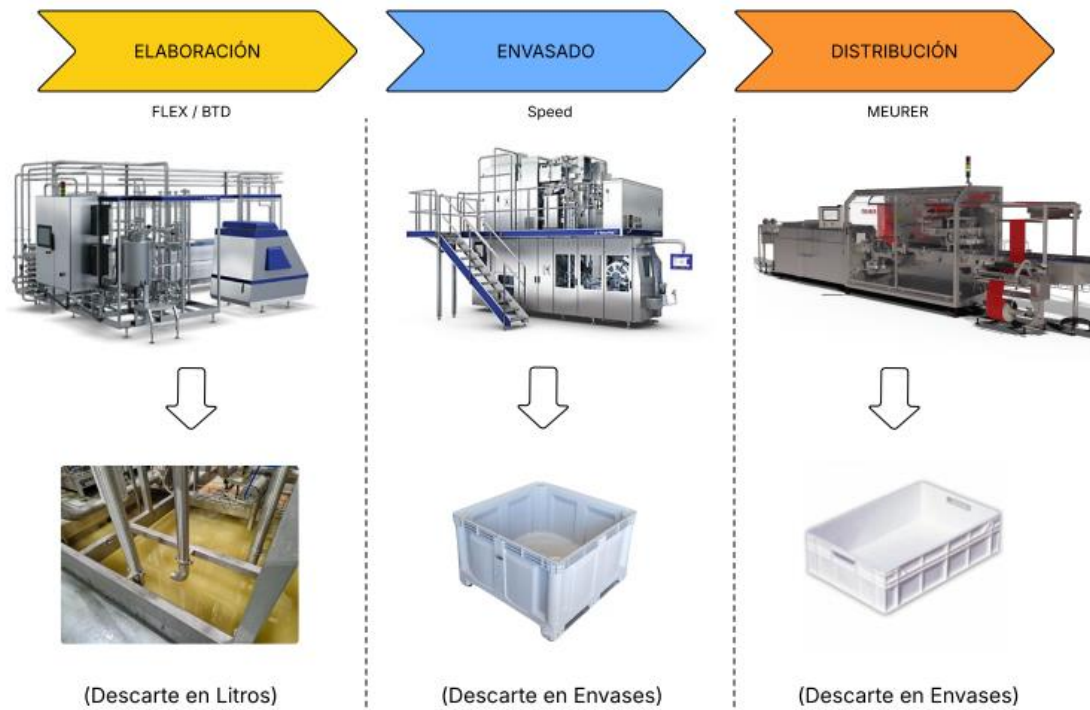


Figura 5: Esquema de descartes por proceso en línea de producción.

A continuación, se detalla cómo se efectúa cada uno de los descartes que aparecen en el esquema, según la etapa o proceso correspondiente.

2.3.1 Descarte en Proceso de Elaboración

El proceso de elaboración abarca desde la formulación, es decir, preparación de la mezcla de producto, hasta la máquina de envasado. Existe una serie de eventos que derivan en un descarte de gran volumen de producto elaborado, los cuales se pueden resumir en dos tipos principales, por “Lavados” y por “Tiempo de Residencia”. Los lavados se pueden clasificar en tres tipos, lavado aséptico, lavado completo y lavado por cambio de sabor o producto.

Lavado Aséptico Intermedio

El Lavado Aséptico corresponde al evento donde el equipo FLEX, encargado de pasteurizar el producto, realiza un lavado CIP, es decir, un enjuague al interior de las tuberías. Este lavado se realiza de manera planificada (día por medio) o cuando sucede el evento denominado como “Agua Estéril”, que ocurre cuando el equipo detecta una situación anormal y por ello supone una pérdida de esterilidad del producto, entonces por programa realiza un enjuague, durante el cual bota parte del producto que se encuentra en el circuito. En este caso, el equipo simultáneamente detiene el envasado, introduce agua de ósmosis y comienza a botar el producto disponible en el circuito. Luego se debe volver a ingresar la mezcla de producto a las tuberías, y aquí también existe un descarte, ya que, se debe botar la mezcla de agua-producto que queda al interior, por lo que, se deja correr hasta que solo quede producto en el circuito, de esta forma se evita la modificación de los parámetros físico/químicos. Esto último puede ser regulado modificando los “tiempos de empuje” que vienen dados en el programa del equipo.

Lavado Completo de Equipos

El Lavado Completo corresponde al evento donde los equipos ALMIX, TANQUE, CLUSTER y FLEX se deben lavar obligatoriamente como recomendación del proveedor Tetra Pak. En este evento ocurre lo mismo que en el caso de Lavado Aséptico, cuando se quiere lavar se detiene el paso a la envasadora y se bota todo el producto en el circuito. Después se lavan los equipos de manera independiente

mediante un lavado CIP. Una vez terminado el proceso de lavado, se introduce producto nuevamente, teniendo un determinado descarte en el empuje, lo cual puede regularse modificando los tiempos de empuje en la programación del equipo, esto último es más complejo y debe realizarlo un técnico programador experto.

Los lavados se van alternando, comenzando con el lavado completo al inicio de semana, luego el lavado aséptico al día siguiente, y así ocurren día por medio, debiendo terminar con un lavado completo al término de la semana. La frecuencia de los lavados es cada 24 horas. Se estima un tiempo de 5 horas para un lavado completo (todos los equipos). Para dar inicio a la producción debe estar disponible al menos el ALMIX y un TANQUE, por lo que, estrictamente el tiempo de lavado sin producción es de 4 horas, estimando un tiempo de lavado por equipo de aproximadamente 2 horas.

Lavado por Cambio Sabor

El Lavado por Cambio de Sabor corresponde al evento donde se debe realizar un lavado completo debido al cambio de producto, generándose una pérdida al inicio y término de la orden. Al inicio de la orden se llena el circuito de producto, donde el circuito previamente lavado contiene agua de osmosis, por lo que, parte de la mezcla agua-producto que se genera al introducir producto, se bota. Al término de la Orden, una vez se acaba el producto y el tanque de balance (BTD) en el FLEX detecta que el nivel de producto es bajo y no hay producto en cola, inmediatamente introduce agua de ósmosis y comienza a botar producto, pero a diferencia del evento de “Lavado Completo”, no se detiene el envasado hasta que la mezcla de agua-producto este próxima, cuando esto ocurre se envía una señal y el paso a la envasadora se cierra, terminando de botar todo el producto restante en el circuito. Por esta razón el descarte de producto es menor al lograr envasar más litros. Además, parte del producto queda en la tubería entre el tanque y el BTD, lo cual se descarta al realizar el enjuague.

Descarte por Tiempo de Residencia

En ciertas ocasiones se presentan detenciones prolongadas en la línea, interrumpiendo la producción por varias horas. El producto elaborado y almacenado en los tanques solo puede permanecer 12 horas en el acumulador sin envasar. Pasado este tiempo no se puede asegurar la inocuidad de la mezcla o, mejor dicho, no se puede asegurar la cantidad mínima de microorganismos para que el pasteurizado sea efectivo y logre matar el 99% de estos. Entonces, cuando la mezcla de producto pasa las 12 horas, se tiene que descartar y botar la totalidad del producto almacenado, lo que por lo general significa perder miles de litros, incluso el BATCH entero, equivalente a 10.000 litros.

Entonces, para resumir, se consideran 4 descartes diferentes asociados al proceso de elaboración, lo cuales se muestran gráficamente en la Figura 6:

- Descarte por Agua Estéril (AE); Este descarte corresponde a una pérdida de proceso y se puede evitar atacando las diversas situaciones que lo provocan. Equivale al volumen B+C, más lo que se pierde en el empuje al introducir producto nuevamente.
- Descarte por Lavado Completo (LV); Este descarte corresponde a una pérdida estándar y es inevitable, propio del proceso establecido. Equivale al volumen B+C+A, más lo que se pierde en el empuje al introducir producto nuevamente.
- Descarte por Cambio Sabor (CS); Este descarte corresponde a una pérdida estándar y es inevitable, propio del proceso establecido. Equivale al volumen C+A, más lo que se pierde en el empuje al introducir producto nuevamente.
- Descarte por Tiempo de Residencia (TR); Este descarte corresponde a una pérdida de proceso y se puede evitar mejorando la disponibilidad de la línea o disponer de algún sistema que permita almacenar y mantener producto pasteurizado.

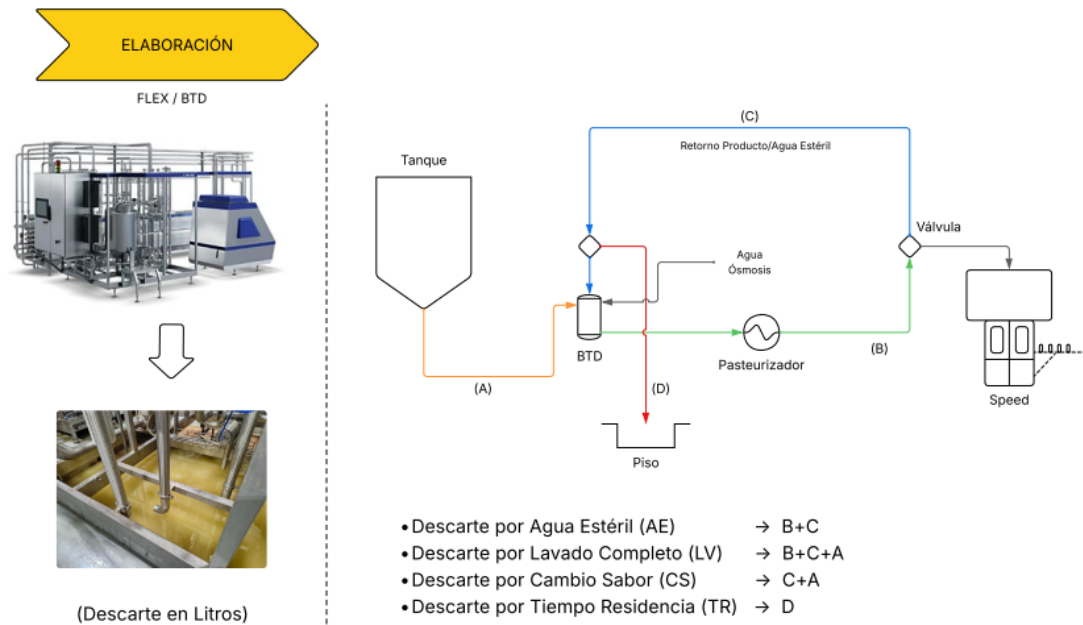


Figura 6: Esquema de descartes proceso de elaboración.

El tipo de descarte equivale a litros de producto. La forma de contabilizar el descarte es medir cuantos litros se botaron en total durante el evento, BATCH u orden.

Con los descartes ya identificados y considerando los datos obtenidos de producción, se estima un volumen de descarte por evento de Lavado Aséptico, Lavado Completo y Lavado por Cambio de Sabor de 700 [l], 800 [l] y 500 [l] respectivamente. Estos valores corresponden a volúmenes fijos, mientras que el descarte por Tiempo de Residencia es variable dependiendo del desempeño de la línea.

2.3.2 Descarte en Proceso de Envasado y Distribución

El descarte durante el proceso de envasado se refleja en el producto semi-terminado que desecha la máquina SPEED, los cuales son acumulados en un “bin” o contenedor. La máquina SPEED tiene un tiempo establecido por programa de 15 minutos, en que el equipo puede estar detenido sin hacer tubo (armar envases), si pasa de ese tiempo, cuando retoma la producción realiza un descarte automático de envases. Por ello, mientras más detenciones, mayor será el número de envases descartados. Es importante señalar que no todo el descarte realizado por la máquina corresponde a envases con producto, cuando comienza la producción, parte de la lámina Tetra es descartada en forma de envases vacíos, esta merma se aparta y guarda en una bolsa de plástico, que posteriormente se debe pesar y registrar como merma de insumo. Existe un evento particular denominado “apertura de tubo”, que como lo indica su nombre es cuando el tubo formado por la lámina y el cual luego se sella y forma el envase, se abre entrando en contacto con el ambiente, por lo que, se asume una pérdida de esterilidad y el equipo automáticamente interrumpe y cancela la secuencia de envasado, tardando horas en restablecerlo nuevamente.

El tipo de descarte equivale a envases con producto. La forma de contabilizar el descarte es utilizar el peso neto del bin, es decir, el peso equivalente solo a envases con producto, y dividirlo en el peso promedio de un solo envase. Luego la cantidad de envases se multiplica por el volumen promedio del contenido de un solo envase.

El descarte durante el proceso de distribución corresponde a los envases descartados en la parte final de la línea, posterior a la máquina SPEED, es decir, los descartes que ocurren en los equipos HELIX, SA y MEURER. En el pulmón (HELIX) los envases provenientes de la SPEED son acumulados verticalmente por una cinta helicoidal, los cuales se liberan nuevamente después de una parada, una vez que se retoma la producción, sin embargo, durante el movimiento de estos es posible que algunos envases se caigan de la cinta y queden en mal estado y sucios al caer a piso. En el aplicador de bombillas (SA) se dispone de un sensor que reconoce y rechaza todo envase sin bombilla o que estén mal posicionadas, estos son revisados y si están en

buen estado se devuelven a la línea, pero aquellos con defectos deben ser descartados. En la formadora de tripacks (MEURER) puede suceder que los envases no son correctamente guiados, desplazándose en una posición inadecuada, ocasionando que se atasquen en las guías y se interrumpa el flujo, por esto, los envases quedan maltrechos al presionarse unos con otros y deben ser descartados. Además, la línea cuenta con puntos de control en los CONVEYOR o cintas transportadoras donde se verifica que los envases se muevan en una posición adecuada, y en caso contrario se rechazan hacia un lado siendo atrapados por una red, si esta red contiene muchos envases es posible que se deformen y deban descartarse. También pueden descartarse envases debido a la mala formación de estos en la máquina SPEED haciendo que estos no posean la calidad requerida y afecten el desempeño de los equipos posteriores.

El tipo de descarte equivale a envases con producto. La forma de contabilizar el descarte es similar al proceso de envasado, sin embargo, actualmente se utilizan bandejas para acumular los envases, estimando un total de 90 a 100 envases por bandeja. Luego estos son trasladados al bin en la sala de envasado. Esta práctica implica la mezcla de descartes provenientes de los procesos de envasado y distribución, lo que dificulta la trazabilidad y la cuantificación separada de cada tipo de descarte. Se mantiene debido a restricciones de espacio en la zona de trabajo.

Entonces el descarte en los procesos de Envasado y Distribución equivalen a envases de producto los cuales son descartados a lo largo de los distintos equipos de la línea y acumulados en un contenedor en la sala de envasado, como se muestra en la Figura 7.

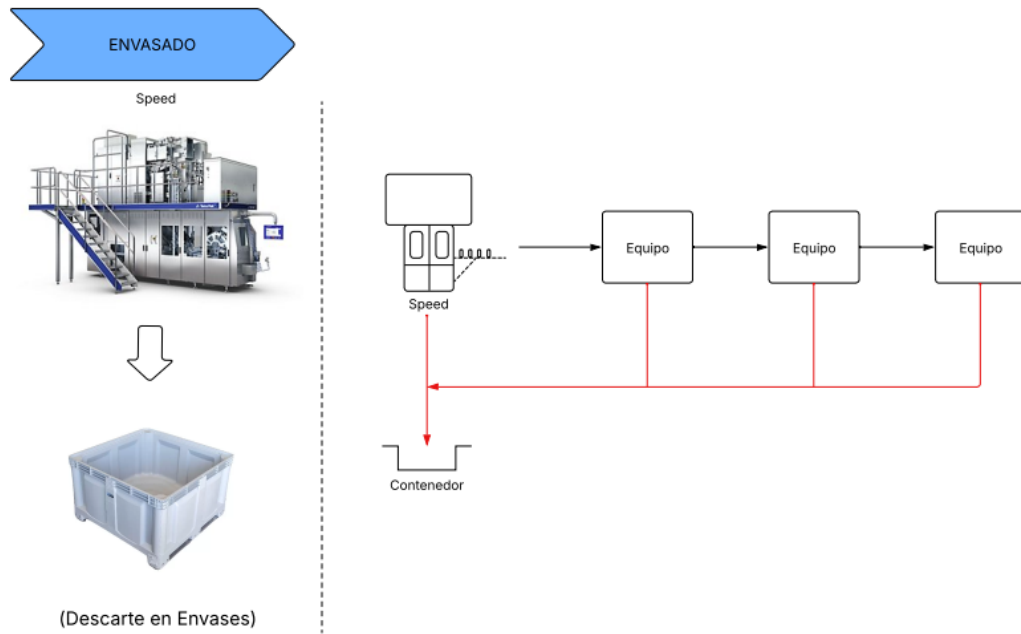


Figura 7: Esquema de descartes proceso de envasado y distribución.

2.3.3 Volumen y Costo de Descarte

Para entender de mejor manera como afectan los descartes en proceso se debe cuantificar no solo la cantidad de descarte generado en proceso, sino también el costo que este significa para la empresa.

Según datos de producción recopilados en los meses de Noviembre y Diciembre 2024, y Enero 2025, se tiene un descarte total de producto de un 6% aproximadamente respecto a lo elaborado. Lo que equivale a un volumen de 2.500 [l/día] aproximadamente, con un impacto económico de 900.000 [\$/día].

Es importante mencionar que los valores indicados son representativos y están aproximados, ya que, debido a la confidencialidad de los datos de la empresa no se puede mostrar los valores exactos. Además, se contempla un costo promedio por descarte en el proceso de elaboración de 300 [\$/l] y un costo promedio de descarte en el proceso de envasado y distribución de 500 [\$/l]. Este costo promedio contempla la suma de los costos de materias primas, materiales de envase y embalaje, energía, mano de obra, gas natural y un costo de fabricación. La diferencia de estos valores radica en que el descarte en proceso de elaboración corresponde a producto con solo MMPP, mientras que el descarte en proceso de envasado y distribución corresponde a producto con MMPP e insumos o material de envase y embalaje, por lo que, posee un valor mayor.

Los indicadores de descarte por proceso en el tiempo se muestran en la Tabla 5, considerando un valor de volumen y costo diarios, en litros y pesos respectivamente. Se aprecia que el mayor volumen de descarte ocurre en el proceso de elaboración, al igual que el costo. Además, se evidencia que tanto el volumen como el costo del descarte disminuyen a lo largo de los procesos de la línea de producción.

Tabla 5: Indicadores de volumen y costo de descartes diario por proceso.

Indicadores Proceso Elaboración	Valor
Volumen de Descarte	1.800 [l/día]
Descarte por Lavados	600 [l/día]
Descarte por Tiempo Residencia	1.200 [l/día]
Costo de Descarte	540.000 [\$/día]
Descarte por Lavado	180.000 [\$/día]
Descarte por Tiempo Residencia	360.000 [\$/día]
Indicadores Proceso Envasado	Valor
Volumen de Descarte	500 [l/día]
Costo de Descarte	250.000 [\$/día]
Indicadores Proceso Distribución	Valor
Volumen de Descarte	200 [l/día]
Costo de Descarte	100.000 [\$/día]

2.4 Oportunidades de Mejora

A continuación, se describen las oportunidades de mejora encontradas en esta etapa, respecto al cálculo de la efectividad y descartes generados por detenciones de la línea.

Del diagnóstico se identifica que existen dos diferencias principales entre el cálculo de la efectividad aplicada por la empresa y el cálculo teórico del indicador OEE;

- En el cálculo del Factor de Disponibilidad, existen categorías de detenciones (pérdidas de disponibilidad) que no deben considerarse dentro de la efectividad, ya que, de acuerdo con su definición, corresponden a tiempos que no están destinados a la producción, sino a otras actividades que por su naturaleza implican una detención de la línea productiva, por tanto, implican una pérdida de calendario.
- En el cálculo del Factor de Rendimiento y Calidad, no se considera el descarte de producto semiterminado en proceso, sino solo el producto terminado que es bloqueado y descartado por no cumplir con el estándar de calidad, dejando fuera gran parte de los descartes generados.

Por otra parte, dentro del diagnóstico se identifica la generación de descartes de producto en las distintas etapas del proceso. Estos descartes se originan principalmente a partir de las detenciones de los equipos, ya que, cada interrupción del flujo productivo implica la pérdida de producto en los procesos de elaboración, envasado o distribución. En este contexto, la reducción de la frecuencia y duración de las detenciones adquiere importancia, dado que incide directamente en el volumen total de descarte generado a lo largo de la línea.

Del análisis realizado se identifican tres oportunidades de mejora en la línea de producción;

- Reformulación del cálculo del OEE. El cálculo utilizado por la empresa presenta desviaciones respecto del método teórico, por tanto, se requiere ajustar el cálculo del FD excluyendo las detenciones planificadas, e incorporar en los FR y FC todos los descartes generados durante el proceso, incluyendo producto semiterminado.
- Reducción de las pérdidas de disponibilidad. Las detenciones no planificadas generan pérdidas significativas de producto en proceso, por ello, es necesario disminuir tanto la frecuencia como la duración de estas detenciones para reducir los volúmenes de descarte asociados.
- Recuperación de los descartes generados. Una fracción relevante de la pérdida de producto proviene del proceso de elaboración, particularmente por tiempos de residencia. Evaluar alternativas que permitan recuperar parte del producto descartado contribuiría a reducir las pérdidas de calidad y a mejorar los niveles de efectividad global.

3. Priorización de las pérdidas detectadas

En este capítulo se definen los criterios de operación y económicos para evaluar el descarte de producto a lo largo de la línea de producción. Estos criterios corresponden a la cantidad y costo, que representan los descartes. De esta manera se prioriza el descarte más crítico en la línea con el objetivo de orientar las acciones de mejora.

Como se vio en el capítulo anterior existen grandes descartes en proceso, pero no solo se debe analizar la cantidad sino también el costo asociado, ya que, a medida que se avanza en la línea el valor agregado aumenta y por ende el descarte tendrá un mayor costo. Por lo que, es necesario analizar más a detalle los procesos a modo de encontrar aquel proceso más crítico. Es importante tener en cuenta que en una línea productiva a medida que se avanza en las distintas etapas del proceso, se agrega valor al producto, ya que, se incorporan diversos insumos y tratamientos, que conllevan a un aumento en su costo. Por esta razón, no solo se debe considerar los litros de producto que se descarta, sino también el costo asociado al descarte. Para esto se puede calcular el costo del volumen descartado, como la multiplicación del volumen de descarte en litros, por el costo de descarte en pesos por litro.

Como se aprecia en la Tabla 5, el volumen de descarte disminuye a medida que se avanza por la línea de producción. No obstante, a su vez, aumenta el costo del descarte, tal como se observa en la Figura 8, donde se muestra de manera esquemática el comportamiento del volumen y costo de descarte en los principales procesos de la línea productiva. En este sentido, para orientar de manera adecuada las acciones de mejora, resulta necesario estudiar los descartes bajo estos criterios de operación y económico, es decir, analizando simultáneamente el volumen desechado y el costo asociado al producto descartado. Esta evaluación permite establecer una priorización de los distintos descartes y el proceso correspondiente, con el propósito de identificar aquel que resulte más crítico para la empresa.

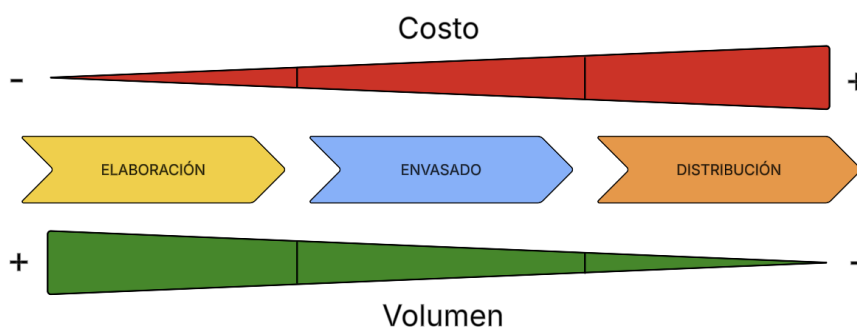


Figura 8: Esquema de criterios de volumen y costo en proceso.

Cabe señalar que el descarte por “Tiempo de Residencia” presenta una magnitud considerable, representando aproximadamente un 48%, es decir, casi la mitad del descarte total generado en la línea (ver Tabla 5). Debido a su alto valor, la reducción de este tipo de descarte tendría un impacto significativo en la disminución de las pérdidas totales.

De acuerdo con datos de producción recopilados en los meses de Noviembre y Diciembre 2024, y Enero 2025, se observa que, en relación con el criterio de volumen, el descarte de elaboración es el más significativo, mientras que, al analizar el costo asociado, el descarte de elaboración sigue siendo relevante (ver Figura 9). En consecuencia, en base al costo del volumen descartado, el proceso de elaboración es crítico y se debe encontrar alguna solución para eliminar o reducir dicha pérdida.

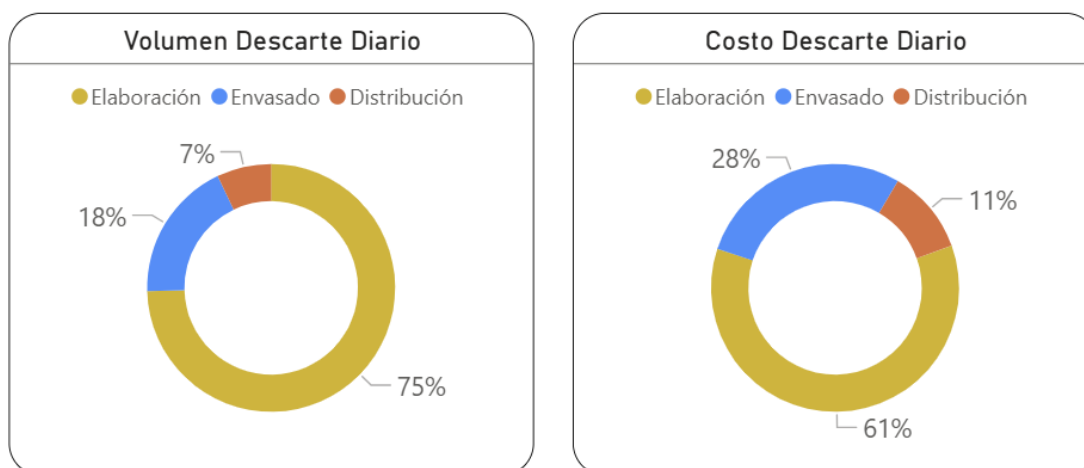


Figura 9: Descarte porcentual por proceso en base a criterios de volumen y costo.

De la Figura 9 se obtiene que el volumen de descarte en el proceso de elaboración corresponde a un 75% de todo el descarte en la línea muy superior frente a los demás procesos, lo que significa que en términos de cantidad dicho proceso es crítico. Por otro lado, si bien el descarte en los procesos de envasado y distribución posee un mayor valor, al calcular el costo asociado al volumen de descarte generado en la línea, el mayor porcentaje corresponde al proceso de elaboración con un 61%, versus un 28% y 11% para los procesos de envasado y distribución respectivamente. Esto se explica por la gran cantidad de descarte que se tiene en elaboración, lo que implica que dicho proceso es crítico y se debe buscar formas de reducir la pérdida.

4. Determinación de las causas raíz de las principales pérdidas

En este capítulo se busca e identifican las principales causas raíz que generan los descartes de producto en proceso. Para esto se conforma un equipo de trabajo con personal de la empresa, con el cual se discute y evalúan las distintas causas aplicando herramientas de mejora continua como el diagrama de Ishikawa, diagramas de Pareto y 5 Por qué.

De acuerdo con el capítulo anterior, la prioridad es eliminar o reducir el descarte de producto en el proceso de elaboración, por lo que, se debe evaluar la causa que genera estas pérdidas. Para ello, el equipo de trabajo, conformado por los operadores necesarios de acuerdo al proceso de la línea, el mentor o persona experta en el área, el ingeniero de procesos, el facilitador de TPM, el coordinador del área de TPM y el mantenedor asignado a la línea, realiza un brainstorming estructurado mediante la herramienta Diagrama de Ishikawa, como un análisis preliminar para encontrar las causas inmediatas (ver Figura 10), las que posteriormente se estudian con mayor detalle mediante un análisis 5 Por qué.

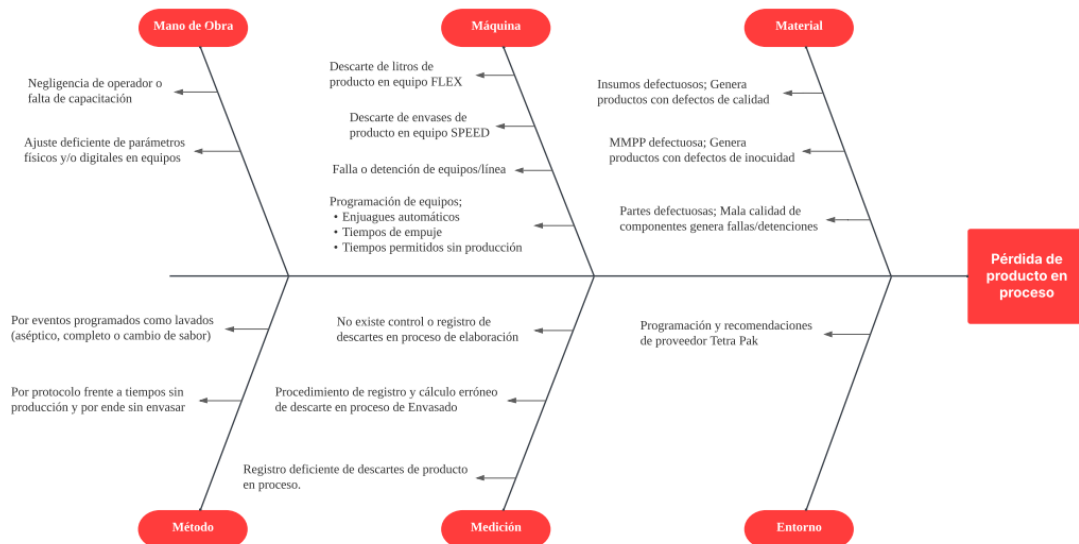


Figura 10: Análisis causa raíz mediante Diagrama de Ishikawa.

A partir del diagrama de Ishikawa se identificaron diversas causas potenciales asociadas a la generación de descartes en el proceso. Posteriormente, el equipo de trabajo analiza y agrupa estas causas, según su incidencia y recurrencia, priorizando aquellas que mostraron mayor impacto en los descartes. Como resultado, se definen tres causas predominantes, lavados programados, detenciones de equipos y protocolos frente a tiempos sin envasado. Luego, para un mejor entendimiento de como influyen estas causas, se realiza un análisis más detallado por cada tipo de descarte en el proceso de elaboración.

Una de las principales pérdidas corresponde a los eventos de lavado, en los cuales parte de la mezcla contenida en el circuito debe ser desechada. Estos lavados, tanto asépticos como completos (LV), son obligatorios y forman parte de las recomendaciones del proveedor Tetra Pak, que establece la necesidad de realizar una limpieza cada 24 horas para garantizar la inocuidad del sistema. De igual forma, al efectuar un cambio de sabor (CS), los equipos deben lavarse obligatoriamente con el fin de prevenir la contaminación cruzada, lo que genera un descarte inevitable vinculado al producto remanente en las líneas, el cual no puede ser envasado.

Otro caso relevante corresponde al descarte por Agua Estéril (AE), el cual es semejante a los lavados, pero responde principalmente a condiciones de operación y se produce cuando el equipo detecta una situación que supone como pérdida de esterilidad y ejecuta automáticamente un enjuague, o bien cuando, debido a detenciones prolongadas en la línea, la mezcla de producto se mantiene en circulación constante entre el pasteurizador (FLEX) y la envasadora (SPEED). Dado que no es posible sostener indefinidamente este ciclo sin comprometer la calidad del producto, se estima que la mezcla puede recircular durante aproximadamente 45 minutos antes de comenzar a quemarse, superado este tiempo, resulta necesario derivar el flujo a AE. Las causas más frecuentes que originan esta situación incluyen la falla de válvulas en el sistema CLUSTER (asociadas generalmente a fallas eléctricas o de sensores), la caída de programa en proceso de envasado y problemas en equipos posteriores que ocasionan detenciones prolongadas.

Respecto al descarte por tiempos de residencia (TR), este se produce cuando el producto excede las 12 horas de permanencia en los tanques de acumulación sin ser envasado.

Entonces, a partir de un análisis 5 Por qué respecto a los descartes por Agua Estéril (AE) y por Tiempo de Residencia (TR), el cual se muestra en la Figura 11, dejando de lado los descartes correspondientes a lavados al ser inevitables e inherentes del proceso establecido. Se aprecia que al desglosar las causas raíz, se llega a que son provocadas por detenciones o pérdidas de disponibilidad en la línea.

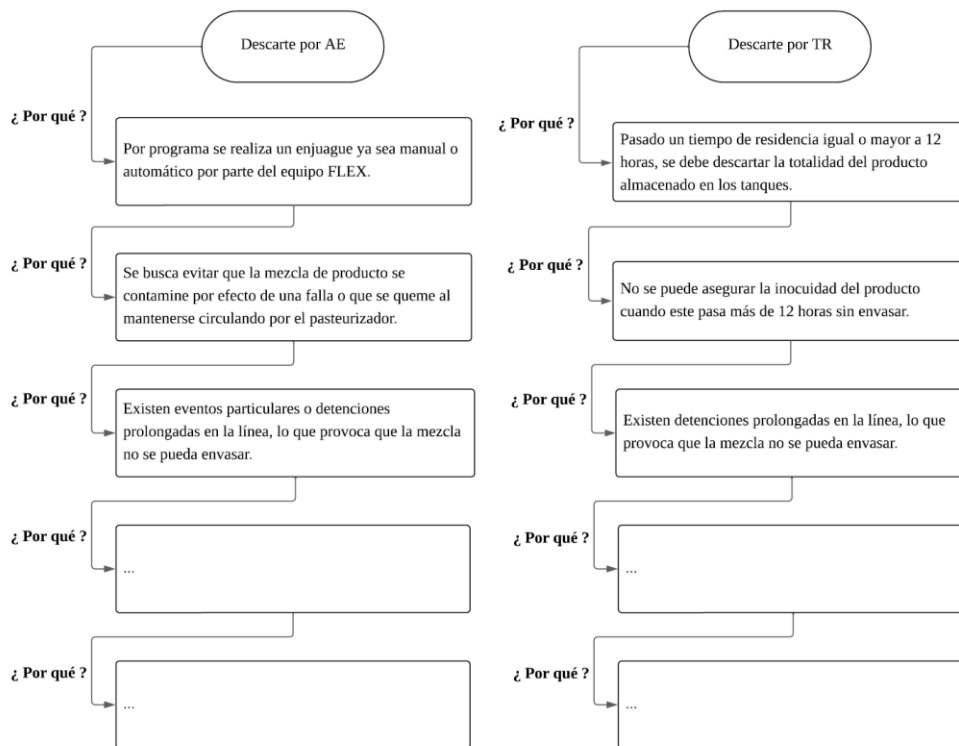


Figura 11: Análisis 5 Por Qué de descarte por Agua Estéril y Tiempo de Residencia.

Es importante considerar que no se tienen suficientes datos que permitan asociar una causa específica a un determinado descarte. Los datos registrados por los operadores durante el proceso contemplan solo la categoría de detención, el tiempo transcurrido de parada y una descripción breve del motivo de detención, y estos datos no son suficientes para poder profundizar en la causa o realizar un análisis completo para buscar oportunidades de mejora.

Entonces, como los descartes derivan en las pérdidas de disponibilidad de la línea, se da enfoque en reducir los tiempos de detenciones, lo que conlleva a reducir los descartes de producto. Para esto, se utilizan Diagramas de Pareto sobre las categorías de pérdida de disponibilidad, con tal de identificar aquellas que concentran los mayores tiempos de detención. De acuerdo con datos históricos de producción para los primeros seis meses de año 2025, se obtiene el diagrama de Pareto que aparece en la Figura 12, el cual considera solo aquellas categorías que implican una parada no planificada, siendo congruente con lo indicado por la teoría de la medición de la OEE.

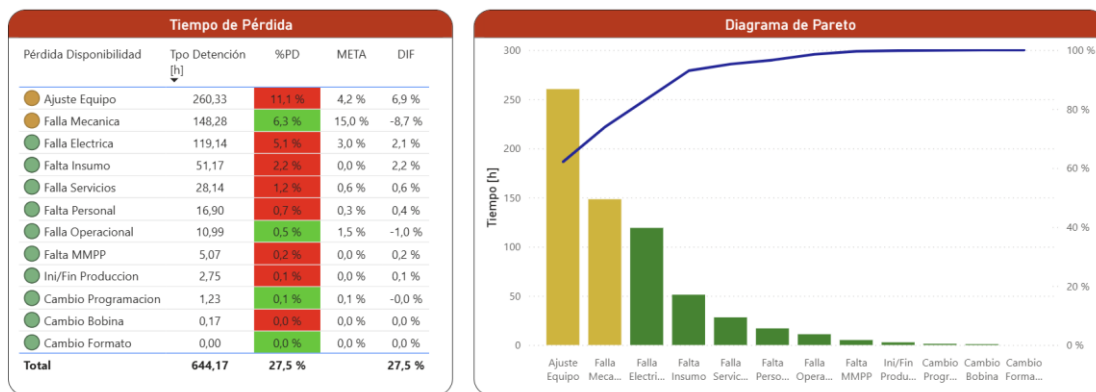


Figura 12: Diagrama de Pareto de pérdidas de disponibilidad en la línea.

Se observa que el 80% del tiempo en horas de detención, contiene las categorías de Ajuste de Equipo y Falla Mecánica. Dado que estas categorías de pérdida presentan una alta complejidad analítica y requieren un tiempo significativo para su estudio, el equipo de trabajo decide focalizar el análisis en la pérdida con mayor impacto, correspondiente a Ajuste de Equipo. Esta decisión se fundamenta en su contribución al tiempo total de detención y en las restricciones de tiempo asociadas al periodo de trabajo dentro de la empresa.

En cuanto a la categoría de Ajuste de Equipo, representa una pérdida de disponibilidad alta con un promedio del 11% en la primera mitad del año y está presente en todos los meses dentro del 20% de categorías con mayores detenciones.

Para encontrar la causa raíz de la pérdida por “Ajuste de Equipo”, se realiza un Diagrama de Pareto respecto a los motivos registrados por los operadores en los informes de producción, que explican las razones o causas de la detención ocurrida (ver Figura 13). Para esto, se utilizan los datos recopilados por el equipo de trabajo, obtenidos de informes de producción de los meses de Abril y Mayo del año 2025.

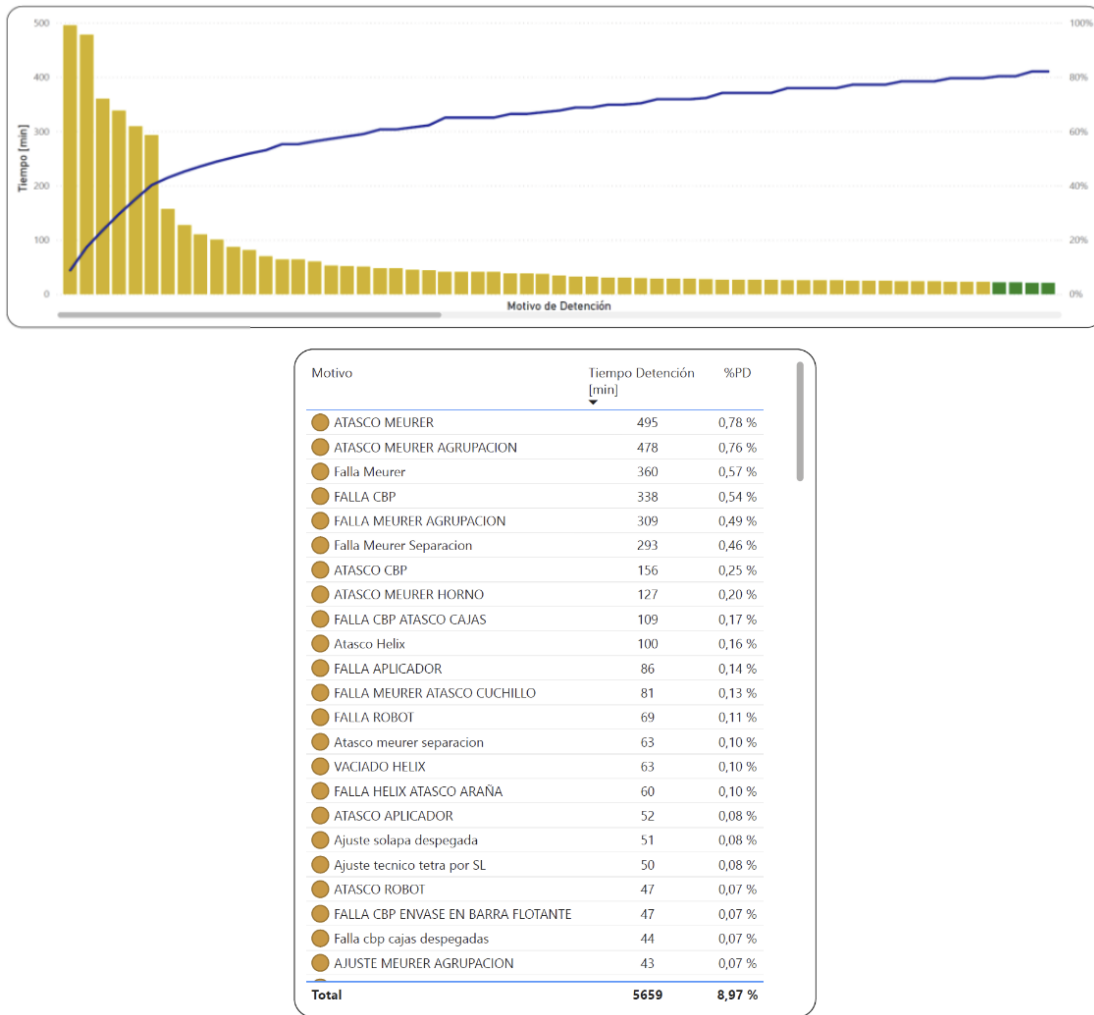


Figura 13: Diagrama de Pareto de motivos de detenciones, Abril y Mayo 2025.

Cabe mencionar que al realizar este análisis se presenta una complicación debido a la falta de estandarización de los datos, habiendo varios motivos referentes a una misma causa, pero que, al estar escritos de maneras diferentes, aparecen muchas causas separadas, lo cual se aprecia en los numerosos motivos que aparecen en amarillo en la Figura 13, que corresponden al 20% de motivos con mayor tiempo de detención. Por estas razones, se debe realizar un análisis exhaustivo para identificar la causa en común. Además, analizando los tiempos de detención por equipos (ver Figura 14), se identifica que aquel que concentra el mayor tiempo, es el equipo MEURER, seguido por el equipo CBP, aunque según lo indicado por operadores, muchos de los motivos asociados a CBP son producto de situaciones que se arrastran desde el equipo MEURER.

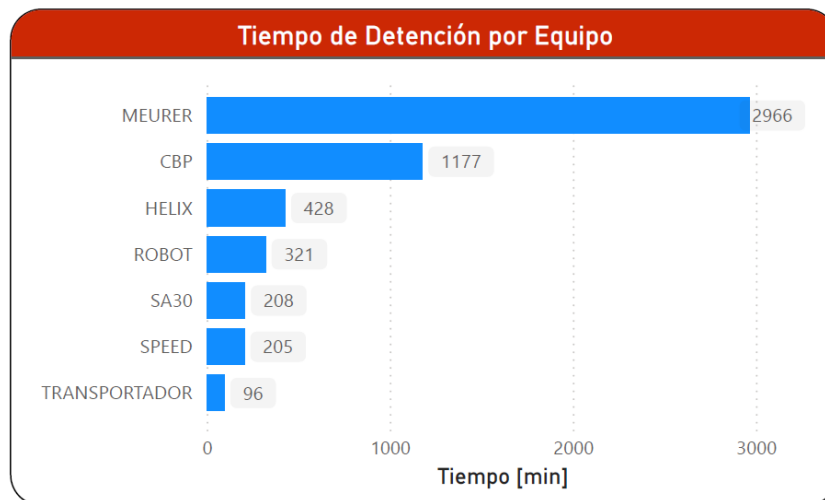


Figura 14: Tiempo de detención por equipos, Abril y Mayo 2025.

Después de un estudio detallado y según lo conversado con operadores y equipo de trabajo, se determina que la principal causa de las detenciones por “Ajuste de Equipo”, corresponde a “Atasco de equipo MEURER por separación de envases”. Este es un problema recurrente que consiste en la separación de un solo envase al tratar de formar los tripacks, afectando el funcionamiento del equipo, ya que, al no estar los tres envases alineados no se puede formar el tripack de manera correcta, generando micro detenciones donde el operador tiene que abrir el equipo y corregir la situación, si bien es un procedimiento rápido, se realiza de manera constante sumando cada vez más minutos de parada.

Si bien no se registra más información acerca de cómo se provoca dicha detención, se comprueba que las posibles causas son; Ajuste inadecuado de guías y parámetros, Desgaste de guías y/o cintas transportadoras, Desgaste de componentes mecánicos y Falta de estándar de parámetros (físicos y digitales).

Finalmente, se llega a un consenso y se determina que la causa más probable corresponde a la “falta de un estándar de parámetros de operación del equipo”. Esta situación implica que no se dispone de un ajuste adecuado que garantice el correcto funcionamiento de la máquina.

En múltiples ocasiones, los operadores no logran establecer el ajuste apropiado, lo que provoca la detención automática de la línea por acumulación de envases y, en consecuencia, la generación de un cuello de botella en el equipo. En tales casos, frente a fallas o eventos que alteran las condiciones de operación, los operadores realizan modificaciones en los parámetros con el fin de mantener la producción, sin embargo, una vez resuelto el inconveniente, dichos ajustes se conservan, lo que provoca que, al retomar las condiciones normales de operación, los parámetros configurados resulten inadecuados, debiendo reajustarse nuevamente, con la consiguiente pérdida de tiempo y generación de detenciones adicionales.

5. Elaboración del Plan de Mejora

En este capítulo se presenta el plan de mejora propuesto para mejorar la efectividad de la línea de producción, buscando reducir el descarte de producto. Aquí se incluyen todas las oportunidades de mejora encontradas en las etapas anteriores, mencionando como se abordarán y las propuestas de mejora planteadas.

De la etapa de diagnóstico y análisis causa raíz se obtienen diversas oportunidades de mejora, las cuales se pueden englobar en las siguientes áreas de mejora; Cálculo de la Efectividad Global, Pérdidas de Disponibilidad en la Línea, Recuperación de Descartes de Producto y Registro de Datos de Producción.

5.1 Cálculo de la Efectividad Global

Esta área de mejora consiste en corregir las diferencias que existen en el cálculo de la efectividad que realiza la empresa, con respecto al cálculo según la teoría.

De acuerdo con el cálculo efectuado por la empresa, el factor de disponibilidad considera dentro de las pérdidas de disponibilidad paradas programadas y no programadas, lo cual no es consistente con lo que indica la teoría. Como se menciona en la etapa de diagnóstico, existen categorías de detención (pérdidas de disponibilidad) que no deben entrar en el cálculo de la efectividad, debido a que por definición no se tiene intención de producir durante este tiempo, aunque si implican una detención de la línea, por lo tanto, corresponden a pérdidas de calendario que no forman parte del cálculo de OEE. Estas categorías son “Colación”, “Aseo General”, “Pruebas de Desarrollo”, “Mantenimiento Planificado” y “Capacitación”. Por otro lado, según el esquema de cálculo que utiliza la empresa, los factores de rendimiento y calidad no consideran la pérdida de producto semiterminado en proceso, sino solo el producto terminado que no cumple con el estándar de calidad, dejando fuera gran parte de los descartes generados a lo largo de la línea, lo que se traduce en unidades defectuosas (en las cuales se invirtió tiempo de producción) que afectan el rendimiento y calidad de la producción.

Por estas razones se propone dejar fuera todos aquellos tiempos de detenciones ligados a pérdidas de calendario que significan una parada planificada de la línea, considerando solo aquellas categorías que correspondan a tiempos destinados a producción, como lo son las categorías de “Ajustes de Equipo”, “Falla Mecánica”, “Falla Eléctrica”, “Falta de Insumo”, entre otras, con el fin de tener una medición real de la disponibilidad de la línea y no incluir categorías (que signifiquen tiempos en general estándar y planificados), que influyan en la efectividad y no sea posible aplicar grandes mejoras sobre ellas.

Por otro lado, calcular la efectividad de la línea tomando como unidades defectuosas, aquellas unidades de producto semiterminado más las unidades de producto terminado que sean descartadas, con tal de obtener el total de unidades producidas (malas y buenas) y considerarlas dentro del cálculo del OEE, de tal forma que impacte en el factor de rendimiento y calidad, lo que permite mostrar el desempeño real de la línea.

Para esta propuesta de mejora, se deben considerar recursos como los informes de producción, capacidades nominales según la línea de producción, conversiones de unidades según tipo de producto terminado, listados de códigos de productos y documentos Excel con fórmulas para el cálculo de OEE. Las áreas involucradas en la medición y utilización de la efectividad son el Área de Producción (Operadores, Jefes de Turno, Jefes de Producción), Área de Procesos (Ingenieros de Procesos), Área TPM (Coordinador y Facilitador TPM) y Jefatura de Planta y/o Gerencia.

5.2 Pérdidas de Disponibilidad en la Línea

Esta área de mejora consiste en reducir las pérdidas de disponibilidad por Ajustes de Equipo, que concentran el mayor porcentaje de tiempos de detención en el periodo de estudio, buscando disminuir a su vez el descarte de producto.

En cuanto a los descartes generados en proceso, estos se originan por las pérdidas de disponibilidad de la línea, tanto por la duración como la frecuencia de las detenciones, por lo que, la reducción de estas permite disminuir la cantidad de producto desechado. De los análisis realizados, se identifica que los descartes son generados por las detenciones de la línea, donde la categoría que concentra los mayores tiempos de detención corresponde a “Ajustes de Equipo”, cuya principal causa es por la ausencia de un estándar de parámetros de operación en la máquina MEURER, provocando constantes ajustes que implican detenciones y cuellos de botella en la línea. Además, al no disponer ni mantener un estándar de operación, no es posible identificar situaciones fuera de lo normal, por lo que, no se puede identificar y corregir rápidamente condiciones que signifiquen una eventual falla en el equipo.

Por estas razones, se propone establecer aquellos valores estándar de operación que garanticen el correcto funcionamiento de la máquina MEURER, tanto en lo que respecta a sus parámetros físicos como digitales. Los parámetros físicos consideran la modificación de alturas, aberturas y posicionamiento de guías, cintas transportadoras y componentes mecánicos, mientras que los parámetros digitales comprenden el ajuste de aspectos lógicos del equipo, tales como velocidades, frecuencias, temperaturas, tiempos de reacción o de acción, entre otros. Para esto, se establecen los parámetros indicados por manual, llevando al equipo a su estándar de operación. Se definen aquellos parámetros que deben mantenerse fijos e inamovibles, salvo por el personal autorizado, es decir, se establece que parámetros son manejados por los operadores y cuales son manipulados por los mantenedores, de esta forma se limita al cambio de parámetros, manteniendo la condición de operación del equipo.

Asimismo, se plantea la implementación de metodologías de control a través de herramientas Poka-Yoke, orientadas a estandarizar los procedimientos de ajuste, permitiendo evitar errores y mantener el estándar de operación, con tal de identificar posibles fallas o condiciones inadecuadas de operación.

Para esta propuesta de mejora, se deben considerar recursos como el listado de parámetros de operación del equipo, manual de operación del equipo y manual de mantenimiento del equipo. Las áreas involucradas en la operación del equipo MEURER son el Área de Producción (Operadores, Mentores, Jefes de Turno, Jefes de Producción), Área de Procesos (Ingenieros de Procesos), Área de Mantenimiento (Mantenedores, Supervisores de Mantenimiento, Jefe de Mantenimiento).

5.3 Recuperación de Descartes de Producto

Esta área de mejora consiste en recuperar parte del descarte generado en el proceso de elaboración, el cual es significativo en términos de volumen y costo. En específico el descarte por Tiempo de Residencia, que representa el mayor descarte de la línea.

Del análisis realizado se aprecia que los descartes generados en el proceso de elaboración son de un volumen y costo considerables, por lo que, se debe evaluar opciones para recuperar parte de dicho descarte, con el fin de minimizar las pérdidas de producto en proceso, lo cual contribuye a mejorar el factor de rendimiento y calidad de la línea. El descarte por Tiempo de Residencia (TR) que equivale a casi la mitad de todo el descarte en la línea, se puede evitar mejorando la disponibilidad de la línea, debido a que ocurre cuando la mezcla de producto permanece más de doce horas sin envasar. Sin embargo, existe una gran posibilidad de recuperar dicho descarte mediante algún sistema que permita almacenar y mantener producto pasteurizado.

Por esta razón, se propone incorporar un tanque aséptico, que permita recibir la mezcla de producto acumulada en el BATCH y que este pronta a vencer, para pasarla por el pasteurizador y almacenarla, para luego, una vez retomada la producción, volver a inyectar el producto a la línea, de esta forma se puede recuperar en vez de desecharlo. Mediante este sistema es muy probable recuperar la totalidad del descarte, pudiendo mantener la mezcla de producto por un tiempo prolongado mayor al actual, lo que se traduce en reducir el costo elevado que significa dicha pérdida de producto.

Para esta propuesta de mejora, se deben considerar recursos como especificaciones técnicas de tanques de acumulación de la línea actual, planos de planta y tanques, datos de producción y descartes, alternativas de tanques asépticos en el mercado y cotizaciones con proveedores. Las áreas involucradas en el proceso de elaboración son el Área de Producción (Operadores, Jefes de Turno, Jefes de Producción), Área de Procesos (Ingenieros de Procesos), Área de Mantenimiento (Mantenedores, Supervisores de Mantenimiento, Jefe de Mantenimiento).

5.4 Registro de Datos de Producción

Esta área de mejora consiste en mejorar el registro de información de producción en términos de cantidad y calidad de los datos, ya que, el sistema actual presenta ciertas deficiencias que dificultan el análisis de los datos.

Durante el análisis de los informes de producción se aprecia una falta de cantidad y calidad de los datos, en lo que respecta al registro de pérdidas de disponibilidad y descartes en proceso. Los datos que se registran sobre las detenciones en la línea de producción son escasos, disponiendo solo de un código de categoría, duración en minutos y una breve descripción, lo cual no permite profundizar en la causa raíz de la detención. El sistema actual presenta problemas como falta de datos, falta de estandarización (incongruencias en los datos), retraso en la disponibilidad de la información y la dificultad para consolidar datos y generar reportes.

Por estas razones, se propone automatizar el registro de datos de producción, mediante una aplicación que permita recopilar datos en tiempo real y traspasarlos a una base de datos en Sharepoint de manera automática, para luego integrar con Excel o Power BI y mostrar indicadores claves de manera gráfica mediante dashboards y reportes. Esto permite ahorrar tiempo en el registro y digitación de los datos de producción, mejorar la cantidad y calidad de los datos, disponibilidad en tiempo real y capacidad de integración con herramientas para reportaría. Para esto se utiliza la herramienta Power Apps de Microsoft.

Para esta propuesta de mejora, se deben considerar recursos como informes de producción, registros de control de procesos, aplicaciones de Microsoft (Power Apps, Excel, Power BI) y disposición de Tablet o PC en terreno. Las áreas involucradas en el registro y utilización de información de producción son el Área de Producción (Operadores, Mentores, Jefes de Turno, Jefes de Producción), Área de Procesos (Ingenieros de Procesos), Área TPM (Coordinador y Facilitador TPM) y Jefatura de Planta y/o Gerencia.

5.5 Plan de Mejora Propuesto

De las áreas de mejora mencionadas, se extraen las siguientes propuestas o proyectos de mejora, las cuales se muestran en la Figura 15; Reformulación del cálculo de la efectividad global, Definición de estándar de operación de equipo, Incorporación de Tanque Aséptico y Automatización de Registro de Producción.

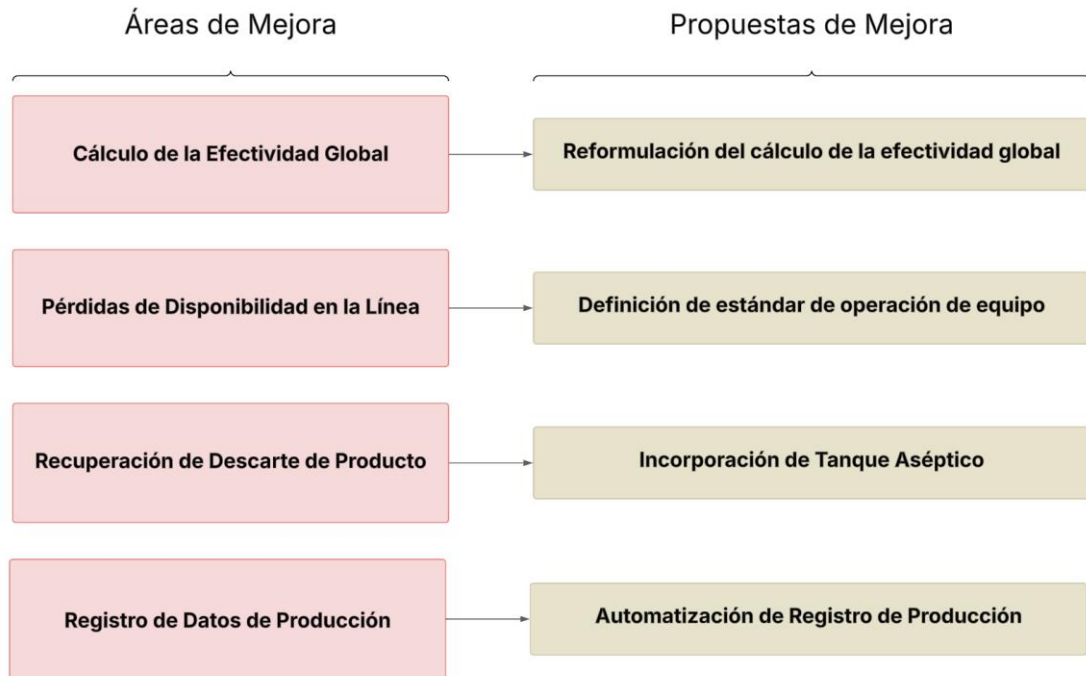


Figura 15: Áreas de mejora encontradas y propuestas de mejora asociadas.

De las propuestas de mejora mencionadas anteriormente, se seleccionan tres para formar parte del Plan de Mejora, las cuales se desarrollan en la etapa de Plan Piloto. Las propuestas de mejora escogidas son Reformulación del cálculo de la efectividad global, Definición de estándar de operación de equipo MEURER y la Incorporación de Tanque Aséptico.

En un proyecto de mejora, definir los alcances permite establecer lo que sí considera el proyecto y aquello que no será abordado. En este caso, se definen los siguientes alcances estructurados en limitaciones, inclusiones y exclusiones, los cuales se detallan en la Tabla 6.

Tabla 6: Alcances de proyecto de mejora.

Alcances de Proyecto de Mejora	
Limitaciones	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Restricción de tiempo por periodo de memoria en empresa. ▪ Dependencia de datos de producción otorgados por área de producción. ▪ Implementación de mejoras sujetas a disponibilidad de personal de producción y/o mantenimiento.
Inclusiones	<ul style="list-style-type: none"> ▪ El proyecto de mejora se enfoca en reducir las pérdidas en el proceso de elaboración de la línea de producción. ▪ Pérdida que se analiza corresponde a Ajustes de Equipo. ▪ Medición de OEE teórico con datos de producción. ▪ Se aborda análisis técnico de propuestas de mejora.
Exclusiones	<ul style="list-style-type: none"> ▪ El alcance se limita exclusivamente a la línea de producción objeto del estudio.

Para el proyecto de mejora se define un equipo de trabajo multidisciplinario conformado por operadores, ingeniero de procesos, facilitador y coordinador TPM, mantenedor y mentor. El rol y responsabilidad de cada uno se detalla en la Tabla 7:

Tabla 7: Detalle equipo de trabajo.

ID Rol	Rol / Cargo	Responsabilidad
CTPM	Coordinador TPM	Asume liderazgo y toma decisiones.
FTPM	Facilitador TPM	Gestiona reuniones, minutas y asistencia de integrantes.
IP	Ingeniero de Procesos	Encargado de diseñar, implementar, analizar y optimizar los procesos de fabricación para maximizar la eficiencia, calidad y productividad.
MR	Mentor	Guía y da respaldo metodológico. Aporta con conocimientos y experiencia en el área.
MO	Mantenedor	Asegura la viabilidad técnica de mejoras. Se encarga de tareas ligadas al área de mantenimiento.
OP	Operador	Aporta con experiencia práctica y ejecución.

De acuerdo con lo indicado anteriormente se confecciona un documento que resume todo lo relacionado al proyecto de mejora, explicando las propuestas de mejora, los objetivos del proyecto, los alcances y metas, los resultados esperados, el equipo de trabajo y por último las acciones de mejora. Para esto se sigue una planilla resumen de proyectos [7], [8], como se muestra en Anexo 2. La planilla desarrollada se muestra en la Tabla 8, Tabla 9, Tabla 10 y Tabla 11.

Tabla 8: Documento resumen proyecto de mejora.

Proyecto de Mejora			
Resumen del Proyecto	<p>Actualmente, en la línea de producción de una empresa de alimentos, la efectividad global se ve afectada por la cantidad de descarte de producto en proceso, lo cual está directamente relacionado con las pérdidas de disponibilidad de la línea.</p> <p>En este contexto, se propone el desarrollo de un proyecto de mejora que permita mejorar el cálculo de la efectividad global de la línea, reducir las detenciones no programadas de la línea y recuperar parte de los descartes generados en proceso. Con lo cual se logra eliminar o mitigar las pérdidas y, en consecuencia, mejorar los niveles de efectividad global.</p> <p>El resultado esperado es que la línea de producción alcance un aumento de la Efectividad Global de Equipos (OEE), con una reducción significativa de las pérdidas de producto en proceso, asegurando mayor competitividad y eficiencia.</p>		
Objetivos del Proyecto	<p>Objetivo General</p> <p>Mejorar la efectividad global de la línea de producción mediante la reducción de pérdidas en proceso.</p> <p>Objetivos Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Reformular el cálculo de la efectividad global de la línea. ▪ Establecer un estándar de parámetros de operación para el equipo MEURER. ▪ Incorporar un tanque aséptico para la recuperación de producto descartado. 		
Alcances del Proyecto	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Restricción de tiempo por periodo de memoria en empresa. ▪ Dependencia de datos de producción otorgados por área de producción. ▪ Implementación de mejoras sujetas a disponibilidad de personal de producción y/o mantenimiento. ▪ Enfoque en reducir las pérdidas en el proceso de elaboración de la línea de producción. Pérdida que se analiza corresponde a Ajustes de Equipo. ▪ Cálculo de OEE teórico con datos históricos de producción. ▪ Se aborda análisis técnico de propuestas de mejora. ▪ Se limita exclusivamente a la línea de producción objeto del estudio. 		
Metas del Proyecto	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Calcular el desempeño de la línea de producción mediante el indicador de OEE teórico. ▪ Reducir la pérdida de disponibilidad por Ajuste de Equipo hasta llegar a la meta establecida de 4%. Esto se traduce en aumentar en un 6% el OEE. ▪ Reducir en un 48% el volumen de descarte total de producto en la línea, que corresponde al descarte de producto por tiempo de residencia (TR). 		
Equipo del Proyecto	ID Rol	Rol / Cargo	Responsabilidad
	CTPM	Coordinador TPM	Asume liderazgo y toma decisiones.
	FTPM	Facilitador TPM	Gestiona reuniones, minutas y asistencia de integrantes.
	IP	Ingeniero de Procesos	Encargado de diseñar, implementar, analizar y optimizar los procesos de fabricación para maximizar la eficiencia, calidad y productividad.
	MR	Mentor	Guía y da respaldo metodológico. Aporta con conocimientos y experiencia en el área.
	MO	Mantenedor	Asegura la viabilidad técnica de mejoras. Se encarga de tareas ligadas al área de mantenimiento.
	OP	Operador	Aporta con experiencia práctica y ejecución.

Tabla 9: Plan de acción para propuesta Reformulación del cálculo de la efectividad global.

Plan de Acción - Reformulación del cálculo de la efectividad global				
N°	Etapa	Acción	Responsable	Plazo
1	Diagnóstico y análisis inicial	Levantar la metodología actual de cálculo del OEE, identificando fórmulas utilizadas y frecuencia de cálculo. Analizar brechas o diferencias en el cálculo respecto al estándar del modelo OEE.	IP, CTPM	1-2 semanas
2	Definición del nuevo modelo de cálculo	Definir la nueva estructura de cálculo del OEE ajustada al contexto de la línea.	IP, CTPM	1-2 semanas
3	Desarrollo de herramientas de cálculo y registro	Diseñar hojas de cálculo o sistemas para el registro y procesamiento automático de datos. Validar los cálculos mediante simulaciones con datos históricos de la línea.	CTPM	4 semanas
4	Capacitación de personal	Capacitar al personal operativo y administrativo sobre el nuevo método de cálculo y el significado de OEE. Comunicar los resultados esperados y beneficios de la reformulación a todo el equipo.	CTPM, IP, MR	3 semanas
5	Implementación y seguimiento	Aplicar el nuevo cálculo de OEE en la operación diaria de la línea. Monitorear la evolución de los indicadores y ajustar parámetros de ser necesario.	IP, CTPM	1-3 mes
6	Evaluación y cierre	Evaluar el impacto de la reformulación del cálculo de OEE sobre la gestión de desempeño y toma de decisiones. Estandarizar el procedimiento dentro del sistema de gestión TPM.	CTPM	1 mes

Tabla 10: Plan de acción para propuesta Definición de estándar de operación equipo MEURER.

Plan de Acción – Definición de estándar de operación equipo MEURER				
N°	Etapa	Acción	Responsable	Plazo
1	Diagnóstico y levantamiento de información	Revisar el funcionamiento actual del equipo y levantar información con operadores y mantenedores sobre ajustes comunes, secuencias de operación y principales desviaciones.	IP, MR, OP, MO	3-4 semanas
2	Definición del estándar de operación	Establecer los valores estándar de parámetros y rango óptimo de holgura para la operación.	IP, MR	2 semanas
3	Implementación de controles visuales	Implementar sistemas de control visual como Poka-Yoke, para estandarizar la operación e identificar dónde, cuándo y cómo están ocurriendo las fallas, con el fin de enfocar mejor las acciones correctivas.	MR, MO	2 semanas
4	Validación en terreno	Aplicar el estándar en pruebas de producción controladas. Comparar desempeño antes y después (OEE y tiempo de pérdida).	IP, MR, MO, OP	1 mes
5	Documentación y capacitación	Elaborar documento oficial del Estándar de Operación del Equipo MEURER. Capacitar a operadores y mantenedores en el uso del nuevo estándar y su importancia para el desempeño de la línea.	MR, MO, OP	3 semanas
6	Implementación y seguimiento	Incorporar el estándar al sistema de gestión de producción. Monitorear el cumplimiento del estándar.	CTPM, MR	3 semanas
7	Evaluación y cierre del proyecto	Evaluar resultados obtenidos (mejora en OEE, reducción de ajustes, desempeño de la línea, etc.).	IP, CTPM	1 mes

Tabla 11: Plan de acción para propuesta Incorporación de Tanque Aséptico.

Plan de Acción - Incorporación de Tanque Aséptico				
Nº	Etapa	Acción	Responsable	Plazo
1	Análisis de necesidad y factibilidad	Identificar la necesidad técnica y productiva que justifica la incorporación del tanque aséptico. Realizar estudio de factibilidad técnica, determinando ubicación, conexión con equipos existentes y compatibilidad operacional.	IP, MR, MO	3-4 semanas
2	Diseño y especificaciones técnicas	Definir las especificaciones del tanque (capacidad, material, tamaño, conexiones, instrumentación). Elaborar planos de integración en la línea existente.	IP	4 semanas
3	Adquisición y preparación de recursos	Solicitar cotizaciones y evaluar proveedores según criterios técnicos, de calidad y plazos. Planificar recursos, materiales y mano de obra necesarios para la instalación.	IP	1-3 mes
4	Instalación y conexión	Coordinar la recepción, inspección y montaje del tanque en la línea. Realizar conexión a líneas de producto, servicios y sistemas de control.	IP, MO	2-3 semanas
5	Validación y puesta en marcha	Ejecutar pruebas de operación, limpieza CIP y validación de condiciones asépticas. Efectuar pruebas de producción controladas y ajustes operativos necesarios.	IP, MO, MR	1-2 semanas
6	Capacitación y documentación	Capacitar al personal operativo y de mantenimiento sobre operación, mantención, control y limpieza del tanque. Actualizar procedimientos de operación y mantenimiento.	IP, MR, MO	3 semanas
7	Evaluación y cierre del proyecto	Evaluar los resultados obtenidos (incremento de capacidad, reducción de pérdidas, flexibilidad, eficiencia).	IP, MR, CTPM	1 mes

6. Implementación de Plan Piloto

En este capítulo se presentan las acciones que se lograron implementar de acuerdo con el Plan de Mejora propuesto. La implementación de dichas acciones se orienta a validar, en una etapa inicial, la factibilidad técnica y el impacto potencial de las propuestas de mejora.

Como se menciona en la etapa anterior, las propuestas de mejora a desarrollar son;

- La reformulación del cálculo de la OEE; Mediante un entorno analítico externo (Power BI) con conexión a la misma base de datos de producción, sin modificar planillas ni procedimientos existentes.
- La definición de estándar de operación del equipo MEURER; Estableciendo parámetros, rangos y controles visuales, que aseguren el correcto funcionamiento de la máquina, y la continuidad del estándar en el tiempo.
- La factibilidad técnica de incorporar un tanque aséptico; Para recuperación de producto, incluyendo dimensionamiento preliminar, layout y consulta a proveedor, sin instalación durante el periodo.

La automatización del registro de datos mediante las herramientas Power Apps y SharePoint, no forma parte del Plan de Mejora, aunque si fue presentada, recibiendo gran interés por parte de jefatura y equipo de trabajo, quedando para una fase posterior.

Es importante mencionar que, por temas de confidencialidad de la información referente a la empresa, no se pueden mostrar imágenes o datos concretos de los resultados obtenidos en las actividades realizadas en la empresa sobre los proyectos de mejora, debido a que pueden contener información sensible que la empresa prefiere no mostrar. Por esta razón, se menciona con el mayor detalle posible las acciones realizadas como parte del plan piloto.

Además, cabe mencionar que las propuestas de mejora y los resultados obtenidos fueron presentados a jefatura y equipo de trabajo, quedando sujetas a evaluación para su adopción en la empresa.

Reformulación del cálculo de la efectividad global

De acuerdo con el plan de mejora presentado, se propone recalcular la efectividad de la línea, tomando en cuenta como unidades defectuosas, tanto las unidades de producto semiterminado (descartadas durante proceso) como las unidades de producto terminado (descartadas al termino de producción), y, por otro lado, dejar fuera todos aquellos tiempos de detenciones ligados a pérdidas de calendario.

En la etapa 1 del plan de acción (ver Tabla 9), se levantan todas las fórmulas utilizadas para el cálculo de la efectividad global, las que se muestran en la Sección 2.2 de la etapa de Diagnóstico. Se identifica las diferencias del cálculo que aplica la empresa y la medición teórica de OEE. Estas diferencias se resumen en dos principales, por un lado, que existen categorías que no deben entrar en el cálculo de la efectividad, debido a que por definición no corresponden a tiempos destinados a la producción, aunque si implican una detención de la línea, y, por otro lado, los descartes de producto en proceso no son considerados dentro del cálculo de la efectividad dejando fuera parte de las pérdidas que ocurren en la línea de producción.

En la etapa 2 del plan de acción (ver Tabla 9), se define un nuevo sistema de cálculo, para lo cual se diseña un modelo en Power BI que replica la lógica de cálculo empleada por la empresa y corrige las diferencias mencionadas respecto a la teoría. No se realizan cambios en planillas ni en el procedimiento de captura de datos en la planta, es decir, no hay cambios en el proceso de registro, pero si en el sistema de reportaría. Se utiliza la misma base de datos, que contiene los datos de los informes de producción, y se conecta a Power BI, a través del cual se obtiene y muestra el indicador de OEE y los factores de Disponibilidad, Rendimiento y Calidad, modificando solamente los datos utilizados en fórmulas para ser consistente con la teoría.

Se considera como Pérdida de Disponibilidad la suma de los tiempos de detención, excluyendo aquellos tiempos planificados como colación, aseo, pruebas de desarrollo, mantenimiento planificado y capacitación. Estos tiempos planificados se dejan fuera del Tiempo Programado para ser considerados como Pérdida de Calendario, de esta forma el Tiempo Programado correspondería netamente a tiempo destinado a producir.

Además, se incorpora los descartes generados en los procesos de elaboración, envasado y distribución, dentro de las unidades defectuosas, incluyendo los descartes registrados en la base de datos utilizada para los cálculos, ya que, si bien estos descartes son registrados en el informe de producción, no son ingresados a la base de datos como parte de las unidades defectuosas. Por esta razón dentro del esquema de cálculo replicado se diferencia aquellas unidades de producto semiterminado descartadas y aquellas unidades de producto terminado descartadas, siendo las unidades defectuosas como la suma de estos valores, mientras que las Unidades Totales es la suma de las unidades producidas (unidades buenas) más las unidades descartadas (unidades malas). De esta forma, el Tiempo Neto de Operación correspondería al tiempo empleado en producir la totalidad de unidades de producto.

Cabe mencionar que, no se dispone de datos históricos de los descartes generados en proceso en la base de datos de producción, por lo que, deben extraerse de los informes de producción, sin embargo, esta información no alcanzo a estar disponible en el plazo del trabajo, por tanto, no se contempla para la validación del proyecto.

En la etapa 3 del plan de acción (ver Tabla 9), se construye el modelo de Power BI conectado a la base de datos de producción, y se desarrollan las fórmulas para el cálculo de la efectividad global. A partir de esto, se obtienen los factores de pérdidas, junto con los factores de Disponibilidad, Rendimiento y Calidad, y el indicador OEE, los cuales se pueden apreciar en la Tabla 12.

Tabla 12: Nuevos factores de pérdida y efectividad de línea de producción.

Factores de Pérdidas				Factores de Efectividad				
Mes	FPD	FPR	FPC	Mes	FD	FR	FC	OEE
enero	35,67 %	4,19 %	0,00 %	enero	64,3 %	93,5 %	100,0 %	60,1 %
febrero	44,31 %	1,57 %	0,03 %	febrero	55,7 %	97,2 %	100,0 %	54,1 %
marzo	45,39 %	2,12 %	0,58 %	marzo	54,6 %	96,1 %	98,9 %	51,9 %
abril	31,62 %	1,29 %	0,08 %	abril	68,4 %	98,1 %	99,9 %	67,0 %
mayo	34,10 %	1,79 %	0,51 %	mayo	65,9 %	97,3 %	99,2 %	63,6 %
junio	37,70 %	2,53 %	0,23 %	junio	62,3 %	95,9 %	99,6 %	59,5 %
Total	37,11 %	2,10 %	0,29 %	Total	62,9 %	96,7 %	99,5 %	60,5 %

La comparación entre el indicador OEE que aplica la empresa y el nuevo cálculo, se muestra en la Figura 16. En ella se aprecia el desempeño que tendría la línea al contemplar dentro del cálculo de efectividad las modificaciones antes mencionadas. En términos generales el indicador OEE que aplica la empresa pasaría de un 44,8% a un 60,5% de efectividad promedio según la data de producción correspondiente a los primeros seis meses del 2025.

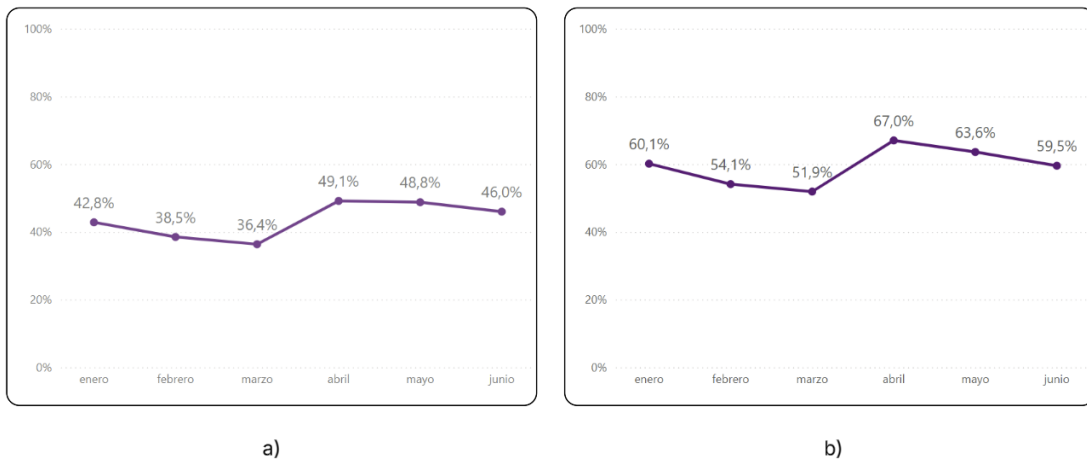


Figura 16: a) Medición de OEE de la empresa b) Medición de OEE tradicional.

En la figura se aprecia que el desempeño de la línea con el nuevo cálculo (ver Figura 16b), posee un comportamiento similar al cálculo de la empresa (ver Figura 16a). Esto es congruente con los cambios realizados, ya que, el excluir los tiempos planificados de detención y considerarlos como perdidas de calendario, implica contemplar un menor tiempo programado, lo que se traduce en un aumento del factor de disponibilidad y a su vez del OEE, es decir, se mantiene el comportamiento, pero aumenta la efectividad.

La incorporación de Power BI implica que el seguimiento del indicador OEE y los factores de Disponibilidad, Rendimiento y Calidad, se haría a través de dashboards y reportes en esta herramienta.

De esta forma, se obtiene una estimación de la OEE, que mejora la representatividad del indicador sobre el desempeño de la línea de producción, sin embargo, no es un valor real debido a que queda pendiente la integración completa de los descartes.

Definición de estándar de operación equipo MEURER

De acuerdo con el plan de mejora presentado, se propone la confección de un listado de parámetros con valores estándar, los cuales deberán mantenerse fijos e inamovibles, salvo por el personal autorizado. Asimismo, se plantea la implementación de metodologías de control orientadas a estandarizar los procedimientos de ajuste, permitiendo de esta forma identificar posibles fallas o condiciones inadecuadas de operación.

En la etapa 1 del plan de acción (ver Tabla 10), se levanta el funcionamiento actual del equipo MEURER, recopilando información con operadores y mantenedores sobre las principales desviaciones, ajustes recurrentes y condiciones de operación habituales. Se aprecia que los operadores no logran establecer los ajustes apropiados, modificando constantemente los parámetros de operación del equipo, generando micro detenciones que provocan un cuello de botella en la línea. A esto se suma la situación de que los operadores tienen acceso a una gran cantidad de parámetros del equipo, donde muchos de los cuales no deben ser modificados y menos por un operador. Además, no existe una condición estándar o control visual que permita mantener la correcta operación de la máquina e identificar un funcionamiento inadecuado del equipo, de tal forma que se pueda observar un efecto anormal y poder atacar la falla de ante mano.

En la etapa 2 del plan de acción (ver Tabla 10), se define el estado normal de la máquina, entendido como la condición en la que ésta, ópera adecuadamente. Para ello, se toma como referencia los valores indicados en el manual del fabricante, que contiene aquellos valores con los cuales la máquina debiera funcionar correctamente, estos son verificados en terreno por parte del mantenedor, mentor y operadores, para evaluar su factibilidad antes de ser implementados, obteniendo resultados satisfactorios, en las condiciones de ensayo, de la operación del equipo. Una vez validados los valores de los parámetros tanto físicos como digitales, se define el rango en el cual se pueden mover los valores, estableciendo un rango de movilidad superior e inferior de 5 [mm], de tal forma que cuando se requiera superar estos límites, se está frente a una condición anormal y por ello se debe encontrar la causa que provoca dicho efecto.

En la etapa 3 del plan de acción (ver Tabla 10), con el fin de facilitar los procedimientos de ajuste y asegurar un adecuado seguimiento de los parámetros físicos que modifican los operadores, se establece un control visual bajo un sistema Poka-Yoke. En este caso, se utiliza una regleta, dejando señalada la medida estándar establecida, junto con un rango superior e inferior permitido, como se muestra en la Figura 17. Si es necesario realizar ajustes fuera de dicho rango, se interpreta que la máquina opera fuera del estándar y presenta una condición anormal que debe ser revisada y corregida. Resulta fundamental garantizar que la condición de “estándar” se mantenga en cada turno y tras cualquier corrección, de manera de asegurar la continuidad del correcto funcionamiento del equipo y permitir la identificación oportuna de desviaciones en el proceso.

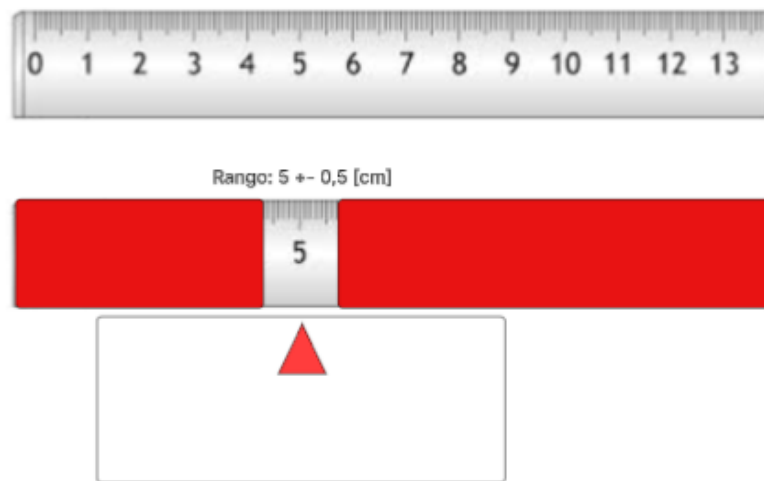


Figura 17: Ejemplo aplicación de metodología Poka-Yoke.

Finalmente, se confecciona una ficha técnica con los valores para cada uno de los parámetros del equipo, la cual queda disponible en el sitio de la máquina. También, se crea una carta de ajustes físicos con los únicos parámetros que los operadores pueden modificar, la cual contiene una imagen de referencia del sistema del equipo donde se encuentra el parámetro, el parámetro a modificar, el valor estándar y el rango permitido de movilidad.

Para asegurar la correcta implementación y sostenibilidad en el tiempo, se realiza una capacitación a operadores cuya responsabilidad es del mentor del área. El control de esta medida es una responsabilidad compartida, donde los mantenedores tienen la autoridad exclusiva para intervenir en los parámetros críticos (ajustes mecánicos) y validar cualquier condición fuera del estándar, mientras que los operadores solo pueden ajustar aquellos parámetros previamente autorizados dentro de los rangos definidos (ajustes operacionales). A su vez, el mentor cumple un rol clave en el control del cumplimiento del estándar en cada turno, asegurando que las condiciones normales de operación se mantengan después de cualquier ajuste o intervención. Además, en las reuniones semanales del grupo de mejora, donde asiste todo el equipo de trabajo, se refuerza la capacitación y se hace seguimiento al indicador de pérdida por Ajuste de Equipo.

La propuesta modifica la cultura de operación actual de tal forma que deja atrás una forma de trabajo basada en ajustes por prueba y error, y en la experiencia individual de los operadores, para dar paso a una operación guiada por estándares definidos y validados. En lugar de realizar cambios sin control ni trazabilidad, se establecen límites claros sobre qué parámetros pueden ser modificados y por quién, promoviendo una gestión disciplinada de la operación. Asimismo, se reemplaza una lógica reactiva frente a las fallas por un enfoque preventivo, en el que las desviaciones son identificadas de manera temprana gracias al control visual y a los rangos permitidos. De este modo, se consolida un criterio común de “estado normal”, fortaleciendo una cultura orientada a la estabilidad, la mejora continua y el control del proceso.

De esta forma, se valida parcialmente la aplicación de un estándar de operación del equipo MEURER para la reducción de pérdidas por Ajustes de Equipo, quedando pendiente la validación en el tiempo del estándar aplicado, debido al término del periodo de trabajo en la empresa.

Incorporación de Tanque Aséptico

De acuerdo con el plan de mejora presentado, se propone recuperar parte del descarte que ocurre en el proceso de elaboración por medio de la instalación de un Tanque Aséptico.

En la etapa 1 del plan de acción (ver Tabla 11), se identifica la necesidad técnica y productiva que justifica la incorporación del tanque aséptico, lo cual se muestra en la Sección 2.3 de la etapa de Diagnóstico. Se realiza un estudio de factibilidad técnica para incorporar un tanque aséptico destinado a almacenar y reinyectar producto pasteurizado derivado de eventos que generan descartes. Se realiza un análisis de compatibilidad con equipos existentes y líneas de suministro, un dimensionamiento preliminar orientado a los volúmenes de descarte, un layout de integración y se pone en contacto con proveedor para evaluación de catálogos.

Se aprecia que la mayoría de los equipos que conforman la línea de producción pertenecen a la empresa proveedora Tetra Pak, por tanto, el tanque aséptico de dicha compañía representa una buena alternativa, ya que, permite asegurar la compatibilidad con los equipos existentes en la línea. Además, al tener equipos con similares características, la planta posee todas las conexiones que requeriría el tanque, como energía eléctrica, líneas de agua, líneas de vapor y conexión con sistema de válvulas para distribución de flujos entre distintos equipos.

En cuanto al dimensionamiento, del diagnóstico se extrae que existe la posibilidad de perder la totalidad del producto almacenado, que puede significar una pérdida de miles de litros. Incluso existe la posibilidad de perder hasta dos BATCH enteros (baja probabilidad, pero ha ocurrido), lo que se traduce en un descarte de aproximadamente 20.000 [l], esto debido a que la línea posee dos tanques de acumulación en paralelo, los cuales se elaboran uno después de otro, por lo que, en ciertas situaciones frente a detenciones prolongadas, se puede llegar a tener ambos tanques elaborados, significando un descarte total de mezcla de producto. Por esta razón se hace necesario que el tanque aséptico posea una capacidad mayor o igual a un BATCH, con el fin de recuperar la mayor cantidad posible de producto. Sin embargo, esto representa un

desafío debido a las restricciones de tamaño, ya que, el proceso de elaboración se efectúa en la sala de elaboración, la cual posee una altura de aproximadamente 6 metros. Como referencia se toman los tanques de acumulación en la línea con dimensiones de 2,1x4,5 [m].

Se contacta a proveedor Tetra Pak para consultar sobre catálogo de Tanque Aséptico, obteniendo las dimensiones y capacidades nominales disponibles a la venta, esto se muestra en la Figura 18.

Dimensions and capacities

Volume	A Diameter, max, mm	B Height, max, mm
7 000 litres	2 100	4 400
12 000 litres	2 500	5 000
20 000 litres	3 100	5 300
30 000 litres	3 600	5 600
40 000 litres	3 600	6 600
50 000 litres	3 600	7 600

Shipping data

Volume	Net weight, kg	Gross weight, kg
7 000 litres	1 600	2 000
12 000 litres	3 100	3 400
20 000 litres	4 300	5 600
30 000 litres	6 300	8 050
40 000 litres	7 600	9 650
50 000 litres	9 100	11 150



Measurements in mm

Figura 18: Dimensiones y capacidades nominales tanque aséptico Tetra Pak [9].

Considerando las limitaciones espaciales de la planta y la sala de elaboración, se determina que las únicas dimensiones permisibles son de aquellos tanques con capacidad nominal de 7.000 [l] y 12.000 [l], para mayores dimensiones no es posible la instalación.

Se analiza planos de la planta, evaluando los requerimientos para ingresar, transportar y posicionar el tanque en la sala de elaboración, siendo necesario una grúa capaz de levantar un peso de al menos 3 y media toneladas. Junto con la ayuda del dibujante proyectista, se elabora un plano de la planta incorporando el tanque aséptico de dimensiones 2,5x5 [m] (12.000 [l]) en la sala de elaboración, obteniendo que para dichas dimensiones se dispone de espacio suficiente para la instalación del equipo, además, se muestra el recorrido que tendría que efectuar la grúa para transportar el tanque hasta la ubicación designada.

En la etapa 2 del plan de acción (ver Tabla 11), se definen las especificaciones que debe tener el tanque de acuerdo con el estudio de factibilidad técnica. Se propone el Tanque Aséptico del proveedor Tetra Pak (ver Figura 19), equipo que proporciona un almacenamiento seguro entre la formulación y el envasado, lo que minimiza las pérdidas de producto [10]. Un tanque totalmente automatizado utilizado para el almacenamiento intermedio de productos alimenticios líquidos de baja acidez en condiciones asépticas.



Figura 19: Tanque Aséptico Tetra Pak [10].

El equipo cuenta con un grupo de válvulas con panel de control que direcciona el flujo del producto, el aire estéril, los líquidos de limpieza y el vapor. Durante la producción, se aplica una barrera de vapor (110 °C) para proteger el producto de la contaminación. Además, posee su propio sistema CIP independiente. El funcionamiento del tanque está totalmente automatizado, el operador solo tiene que iniciar los pasos del proceso; esterilización del tanque, producción y CIP, pudiendo operar el tanque desde su propio control programable en el panel de control.

La capacidad propuesta del tanque es de 12.000 [l], ya que, es la más cercana a los 10.000 [l] de capacidad de los tanques de acumulación actuales y la mayor capacidad admisible según las restricciones espaciales de la planta. Esta capacidad implica una dimensión del tanque aséptico de 2,5 [m] de diámetro y 5 [m] de altura. Dicho tamaño es factible de instalar en la sala de elaboración, como se puede ver en la Figura 20. Se elaboran planos de la integración del tanque aséptico a la línea, definiendo la ubicación específica que tendría el equipo e incluso el trayecto que se tendría que realizar para la instalación.

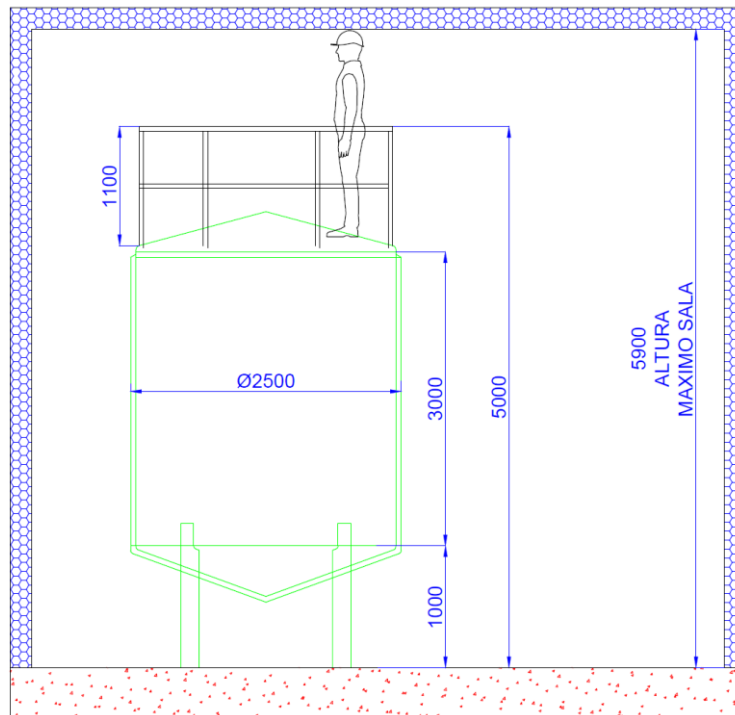


Figura 20: Dimensiones de tanque aséptico en sala de elaboración.

Entonces, el tanque aséptico permite recibir la mezcla de producto ya pasteurizada de la línea de retorno (ver Figura 21), en caso de que ocurra algún descarte, para luego, una vez retomada la producción, volver a inyectar el producto a la línea, de esta forma se puede recuperar en vez de desecharlo. En teoría es posible recuperar todos los tipos de descartes, sin embargo, en lo que respecta a LV, CS y AE, por temas operacionales y que el volumen de descarte (500 a 800 [l]), no es práctico el utilizarlo debido a que se considera un volumen del tanque mucho mayor, es decir, utilizar un tanque de 12.000 [l] y llenarlo con 500 [l] no es viable, entre otras cosas. Queda pendiente evaluación con proveedor y expertos en las áreas de Desarrollo y Calidad, para establecer si es factible la recuperación de estos descartes.

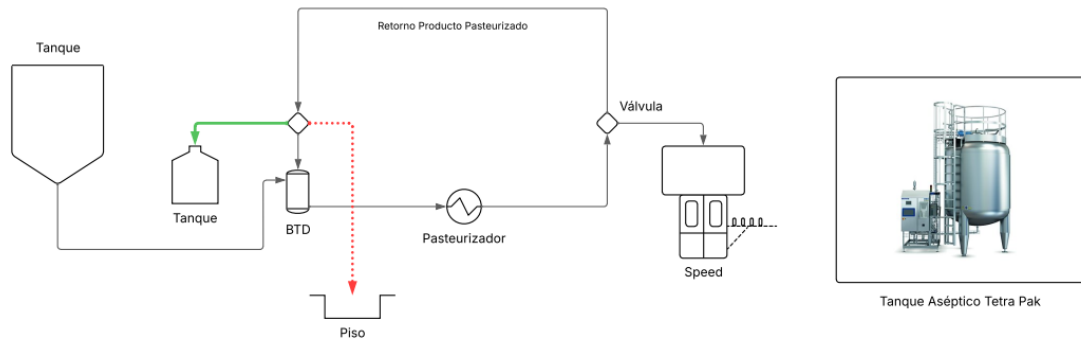


Figura 21: Diagrama de flujo proceso elaboración con tanque aséptico.

En cuanto al descarte por tiempo de residencia (TR), si es factible de recuperar en su totalidad. De esta forma, se valida la implementación del tanque aséptico para la recuperación del descarte TR.

El estudio de factibilidad técnica fue presentado a jefatura y equipo de trabajo, quienes manifestaron interés en continuar como proyecto futuro, condicionado a la evaluación económica.

Conclusiones

El presente trabajo tuvo como objetivo general proponer un plan de mejora de la Efectividad Global de Equipos (OEE) de una línea de producción de envases, mediante la reducción de pérdidas en proceso, con el propósito de eliminar o mitigar los descartes generados durante la producción e incrementar la efectividad global de la línea. A partir del diagnóstico, el análisis de causa raíz y el diseño del plan de mejora, se desarrolla un plan piloto que permite validar parcialmente la factibilidad de las propuestas planteadas, estableciendo las bases técnicas y metodológicas para su futura implementación definitiva por parte de la empresa.

La ejecución del plan piloto permite validar de manera parcial los resultados obtenidos, debido a que las limitaciones temporales del período de permanencia en la empresa impidieron el desarrollo y la validación completa del proyecto de mejora. En relación con la propuesta de reformulación del cálculo de la efectividad global, queda pendiente la incorporación de los datos históricos de descartes en proceso, los cuales no pudieron ser recopilados dentro del plazo establecido, obteniéndose, en consecuencia, una estimación incompleta del nuevo cálculo de OEE. Respecto a la propuesta de incorporación de un tanque aséptico, queda pendiente su evaluación económica, la cual depende de cotizaciones con proveedores que no fue posible obtener durante el desarrollo del estudio. Finalmente, en cuanto a la propuesta de definición de un estándar de operación del equipo MEURER, no se logra realizar la validación en el tiempo del estándar establecido, debido a que no fue posible efectuar el seguimiento y control de la operación antes del término del período de trabajo en la empresa.

Adicionalmente, se evidencia una significativa deficiencia en la disponibilidad y calidad de los datos, particularmente en lo relativo al registro de pérdidas de disponibilidad y descartes en proceso. Los registros de detenciones resultaron escasos y carentes del nivel de detalle necesario para profundizar en las causas que las originan, lo que deriva en análisis de causa raíz limitados. Asimismo, el sistema actual no permite disponer de todos los datos consolidados en los informes de producción, dificultando

su obtención y análisis, lo que se traduce en extensos períodos de tiempo destinados a la recopilación y procesamiento de la información.

A partir de un diagnóstico detallado de la situación actual de la línea de producción, fue posible establecer su contexto operacional, caracterizar su desempeño real e identificar sus principales pérdidas en proceso. Este análisis permite detectar diversas oportunidades de mejora, orientadas a corregir las discrepancias con la teoría de cálculo del OEE, reducir las pérdidas de disponibilidad y recuperar parte de los descartes generados en proceso.

Posteriormente, se determina como crítico el descarte proveniente del proceso de elaboración, el cual representa aproximadamente el 75% del descarte total generado en la línea, en especial el descarte por tiempo de residencia, que equivale al 48% del descarte total. A su vez, el proceso de elaboración corresponde a aquel con mayor costo asociado por volumen descartado, alcanzando un 61% respecto de los demás procesos.

Del análisis de causa raíz se concluye que la principal pérdida de disponibilidad corresponde a los ajustes de equipo, originados principalmente por la ausencia de un estándar operacional para el equipo MEURER, lo que genera detenciones frecuentes, ajustes erráticos y una disminución de la eficiencia de la línea.

Como resultado de este análisis, se estructura un plan de mejora que contempla tres propuestas principales, la reformulación del cálculo de la efectividad global para asegurar su correcta interpretación y seguimiento, la definición de un estándar de operación del equipo MEURER, orientado a disminuir las pérdidas asociadas a los ajustes de equipo, y, la incorporación de un tanque aséptico que permita recuperar parte del producto descartado. La evaluación preliminar de estas propuestas, mediante la ejecución de un plan piloto, permite dimensionar el potencial impacto de las mejoras sobre la efectividad global de la línea, proyectándose que la implementación completa del plan conlleva a una reducción significativa de las pérdidas de producto en proceso y a una mejora sostenida del indicador OEE.

Si bien existieron limitaciones asociadas al tiempo disponible y a la disponibilidad de datos de producción, que impidieron validar completamente las actividades desarrolladas, los resultados obtenidos fueron valorados positivamente por la jefatura y el equipo de trabajo, quienes manifestaron su interés en continuar con las propuestas de mejora en futuras instancias.

Se reconoce la relevancia del OEE como una métrica fundamental para la evaluación del desempeño productivo, al reflejar cuantitativamente el porcentaje de tiempo de fabricación que es efectivamente productivo. En este contexto, el plan de mejora propuesto representa una solución viable para abordar una problemática real que afecta el desempeño productivo de una empresa del rubro de alimentos.

Finalmente, como proyección para futuras investigaciones, se identifica la necesidad de fortalecer el sistema de registro de datos de producción, especialmente en lo relativo a pérdidas de disponibilidad, causas de detenciones y descartes generados en proceso. Se recomienda avanzar en la automatización del registro de datos productivos, lo que permite mejorar tanto la cantidad como la calidad de la información, disponer de datos en tiempo real y facilitar su integración con herramientas de reportaría. La optimización de este sistema posibilita contar con una base de datos más completa y confiable, favoreciendo el seguimiento de indicadores y la toma de decisiones orientadas a la mejora continua.

Referencias

- [1] Vorne™ Industries, “What Is OEE (Overall Equipment Effectiveness)?” [Online]. Available: <https://www.oeec.com/>
- [2] Vorne™ Industries, “OEE Factors.” [Online]. Available: <https://www.oeec.com/oeec-factors/>
- [3] Vorne™ Industries, “Calculate OEE.” [Online]. Available: <https://www.oeec.com/calculating-oeec/>
- [4] H. Gutiérrez Pulido and R. de la Vara Salazar, *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma*, 3th Edition. McGRAW-HILL, 2013.
- [5] Kaizen™ Institute, “Mejora continua con DMAIC: la base de Six Sigma.” [Online]. Available: <https://kaizen.com/es/insights-es/mejora-continua-dmaic-six-sigma/>
- [6] Tetra Pak®, “Soluciones de envasado y procesamiento de Tetra Pak para alimentos y bebidas.” [Online]. Available: <https://www.tetrapak.com/es-cl>
- [7] J. Sepúlveda Díaz, “Propuesta de plan de mejora de la eficiencia operacional para una fábrica de capachos para hormigón basada en la metodología LEAN Manufacturing,” Universidad Técnica Federico Santa María, Campus San Joaquín, Santiago de Chile, 2025. [Online]. Available: <https://repositorio.usm.cl/handle/123456789/74905>
- [8] B. Flández Jiménez, “Propuesta de Plan de Mejora de procesos en planta de inyección de plásticos,” Universidad Técnica Federico Santa María, Campus Casa Central Valparaíso, Santiago de Chile, 2022. [Online]. Available: <https://repositorio.usm.cl/handle/123456789/69885>
- [9] Catalog, “Aseptic Tank VD,” Tetra Pak® Internacional S.A.
- [10] Tetra Pak®, “Tetra Pak® Aseptic Tank.” [Online]. Available: <https://productexplorer.tetrapak.com/equipment/processing-equipment/tetra-pak-aseptic-tank>

Anexos

Anexo 1: Descripción de Categorías de Pérdidas de Disponibilidad

Tabla 13: Descripción de categorías de pérdida de disponibilidad en la línea.

Código	Pérdida Disponibilidad	Descripción
01	Falla Mecánica	Corresponde a una detención de la línea y/o máquina a causa de que un equipo o componente deje de cumplir su función. Comprende rotura, desgaste o soltura de componentes mecánicos, y lubricación deficiente.
02	Falla Eléctrica	Corresponde a una detención de la línea y/o máquina a causa de que un equipo o componente deje de cumplir su función. Comprende defectos de componentes eléctricos, cortocircuitos o fallos en lógicas de control.
03	Colación	Corresponde a una detención de la línea y/o máquina a causa de la falta de operadores que se encuentran en periodo de colación, que corresponde a 40 minutos.
04	Aseo General	Corresponde a una detención de la línea y/o máquina a causa de aseos. Comprende aseo por cambio de turno, aseo por cambio de producto, aseo (LILA), lavado programado u otro evento que requiera de limpieza.
05	Falta Insumo	Corresponde a una detención de la línea y/o máquina a causa de la falta de material o por material defectuoso. Comprende falta o mal estado de láminas, cajas, bombillas, termocontraible, adhesivos, entre otros.
06	Falta Personal	Corresponde a una detención de la línea y/o máquina a causa de la falta de personal necesario para que se logre el funcionamiento adecuado de los equipos. Comprende la falta de operador, cajero y/o gruero, reemplazos en otras líneas y atrasos.
07	Cambio de Formato	Corresponde a una detención de la línea y/o máquina a causa de la preparación de los equipos para el cambio de tamaño de material de envase, peso de producto o cantidad de envases por caja.
09	Falla de Servicios	Corresponde a una detención de la línea y/o máquina a causa de la falta de suministros básicos para la operación de los equipos y que su generación es externa a la planta, también está asociado al arriendo del servicio. Comprende cortes de energía eléctrica en planta, falta de aire comprimido, falta de vapor, falta de agua osmosis, falla de equipos Video Jet.

10	Cambio de Programación	Corresponde a una detención de la línea y/o máquina a causa de la modificación al programa de producción.
12	Ajuste de Equipo	Corresponde a una detención de la línea y/o máquina a causa de ajustes de componentes y/o parámetros de los equipos que permiten la normal operación. Comprende ajustes de parámetros/componentes, ajuste por limpieza de partes y ajuste por corrección y reanudación de producción.
13	Pruebas de Desarrollo	Corresponde a una detención de la línea y/o máquina a causa de pruebas planificadas del área de desarrollo. Comprende pruebas de materia primas, insumos o productos.
14	Mantenimiento Planificado	Corresponde a una detención de la línea y/o máquina a causa del tiempo en que se excede del horario de entrega de una mantención planificada.
19	Falta de Materia Prima	Corresponde a una detención de la línea y/o máquina a causa de la falta de producto para comenzar la producción. Comprende falta de producto proveniente de elaboración (polvos), falta de pulpas o falta de hidrogeno (HI).
23	Cambio de Bobina	Corresponde a una detención de la línea y/o máquina a causa del cambio de material de envase primario. Cambio de rollo material de envase y film termocontraible.
25	Falla Operacional	Corresponde a una detención de la línea y/o máquina a causa del no cumplimiento o inadecuado desarrollo de las actividades del operador.
35	Capacitación	Corresponde a una detención de la línea y/o máquina a causa de la falta de operadores que se encuentran en capacitaciones, charlas de seguridad y charlas con jefaturas.
37	Inicio/Termino de Producción	Corresponde a una detención de la línea y/o máquina a causa de actividades o procedimientos de puesta en marcha de equipos al inicio de semana o de detención de equipos al finalizar la semana.
44	Logística	Corresponde a una detención de la línea y/o máquina a causa de atrasos logísticos. Comprende falta de espacio para dejar producto terminado, atrasos de eléctrico/mantenedor o personal de laboratorio.

Anexo 2: Planilla Resumen de Proyecto de Mejora

Tabla 14: Planilla resumen de proyecto de mejora.

Proyecto de Mejora				
Resumen del Proyecto				
Objetivos del Proyecto				
Alcances del Proyecto				
Metas del Proyecto				
Equipo del Proyecto	ID Rol	Rol / Cargo	Responsabilidad	
Plan de Acción				
N°	Etapa	Acción	Responsable	Plazo