



POSGRADOS

Maestría en PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES

RPC-SO-30-NO.506-2019

Opción de Titulación:

Propuestas metodológicas y tecnológicas avanzadas

Tema:

“DISEÑO DE UNA PROPUESTA DEL INDICADOR OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS EN LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN DE BOTELLONES Y BOTELLAS DE 500 ML EN UNA PLANTA EMBOTELLADORA DE AGUA”.

Autor

JORGE ALEXANDER NEGRETE ALARCÓN

Director:

WILLIAM GUSTAVO DÍAZ DÁVILA

QUITO – Ecuador

2025

Autor(es):



Jorge Alexander Negrete Alarcón
Ingeniero Químico
Candidato a Magíster en Producción y Operaciones Industriales por
la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Quito.
jnegretea@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



William Gustavo Díaz Dávila
Ingeniero Mecánico
Magíster en Gestión de la Producción
wdiaz@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS
2025 © Universidad Politécnica Salesiana.
QUITO– ECUADOR – SUDAMÉRICA
JORGE ALEXANDER NEGRETE ALARCÓN

“DISEÑO DE UNA PROPUESTA DEL INDICADOR OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS EN LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN DE BOTELLONES Y BOTELLAS DE 500 ML EN UNA PLANTA EMBOTELLADORA DE AGUA”.

DEDICATORIA

A mis amadas madre y hermana, mi papá (+) y abuelita (+).

AGRADECIMIENTO

A la vida principalmente por permitirme seguir creando experiencias y disfrutarla con sus altos y bajos.

A mi madre por ser mi guía durante mi vida.

A mi hermana, por ser mi confidente y mi mejor amiga en los buenos y malos momentos.

Agradezco de manera especial a mi tutor del trabajo de titulación, William Díaz, por su importante guía durante la elaboración de este trabajo.

A María Belén C., Hazol G., Víctor H. y Leyla G., quienes confiaron en mí y me brindaron la oportunidad de aportar a la empresa. Gracias por su amistad sincera, sus valiosos consejos y por hacer de mi experiencia en la organización un recuerdo maravilloso. Sin su apoyo, este proyecto no habría sido posible.

A mi amigo Pablo, por recordarme con su ejemplo que la disciplina, la paciencia y la templanza son virtudes que sostienen cualquier camino.

Tabla de Contenido

DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTO.....	4
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
ÍNDICE DE TABLAS.....	9
ÍNDICE DE ANEXOS	10
Resumen	12
Abstract	13
Introducción	14
OBJETIVOS	15
OBJETIVO GENERAL	15
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
Determinación del Problema.....	16
1. MARCO GENERAL DEL PROCESO PRODUCTIVO	17
1.1. Introducción	17
1.2. Descripción del proceso de producción	17
1.2.1. Planificación de producción	20
1.2.2. Recepción, filtrado y almacenamiento de agua	20
1.2.3. Preparación de línea.....	21
1.2.4. Producción de botellas de 500 ml	22
1.2.5. Producción de botellones.....	28
1.3. Layout de planta de embotellamiento	34
1.4. Capacidad de planta	37
1.4.1. Capacidades de máquina.....	37
1.4.2. Capacidad de materia prima	38
2. ALTERNATIVAS DE PROPUESTA DE MEJORA	41
2.1. Introducción	41
2.2. Métodos: falta de estandarización en procesos	42
2.2.1. Propuesta de mejora	44
2.3. Maquinaria: mantenimiento preventivo.....	45
2.3.1. Propuesta de mejora	47
2.4. Medio ambiente: condiciones que afectan al personal	50

2.4.1.	Propuesta de mejora	51
2.5.	Materiales: Problemas con herramientas y recursos.....	52
2.5.1.	Propuesta de mejora	53
2.6.	Mano de obra: Capacitación y autonomía operativa.....	55
2.6.1.	Propuesta de mejora	56
3.	PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DEL INDICADOR OEE	59
3.1.	Introducción	59
3.2.	Fundamento teórico del OEE.....	59
3.3.	Justificación de la propuesta	63
3.4.	Metodología	64
3.4.1.	Elección de línea de estudio	65
3.4.2.	Levantamiento de documentación técnica.....	66
3.4.3.	Capacitación al personal involucrado.....	69
3.4.4.	Ejecución de prueba piloto.....	70
3.4.5.	Análisis de datos	71
4.	MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	74
4.1.	Materiales utilizados	74
4.1.1.	Registro diario.....	74
4.1.2.	Base de datos en Excel	76
4.1.3.	Dashboard visual de OEE.....	77
4.2.	Variables de estudio y unidades de medida.....	78
4.2.1.	Variables primarias de operación.....	78
4.3.	Alcance y recolección de datos	80
4.4.	Procesamiento de datos.....	80
4.4.1.	Verificación de registros	81
4.4.2.	Ejemplo de Cálculo de indicadores parciales y globales	81
4.4.3.	Clasificación de fallas y análisis de pérdidas	84
4.4.4.	Cálculo de disponibilidad total diaria	85
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	87
5.1.	Presentación de resultados	87
5.2.	Análisis de Pareto	91
5.3.	Discusión de resultados.....	96
5.3.1.	Interpretación de indicadores	96
5.3.2.	Análisis de paradas planificadas y no planificadas.....	97
5.4.	Propuesta de mejoras derivadas.....	98

5.4.1.	Reducción de tiempos de calibración y alistamiento.....	98
5.4.2.	Fortalecimiento del mantenimiento preventivo y mantenimiento autónomo (TPM básico)	98
5.4.3.	Gestión de repuestos críticos	99
5.4.4.	Mejora de la gestión de calidad y reducción de defectos.....	99
5.4.5.	Capacitación continua y empoderamiento operativo.....	100
5.4.6.	Resumen del aporte estimado a la mejora del indicador	101
5.4.7.	Justificación de cálculo de aportes al OEE.....	101
5.4.8.	Aplicación de indicadores parciales	105
5.4.9.	Análisis temporal de la disponibilidad y rendimiento de máquina durante la prueba piloto.....	106
5.5.	Estimación de mejoras	106
6.	CONCLUSIONES.....	108
7.	RECOMENDACIONES	111
	REFERENCIAS	113
	ANEXOS.....	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de producción de agua embotellada.....	18
Figura 2. Proceso de producción de botellones de agua.	19
Figura 3. Diagrama de soplado de preformas PET. Tomado de Sidel [2].....	22
Figura 4. Layout de línea de producción de botellas PET.	35
Figura 5. Layout de línea de producción de botellones.	36
Figura 6. Diagrama de Ishikawa para determinación de causas que afectan la productividad.....	42
Figura 7. Matriz de criticidad para equipos y máquinas en producción.....	48
Figura 8. Mapa de elevación y temperatura del cantón La Maná. Tomado de Burgos et al. [10].....	51
Figura 9. Metodología de las 5's.	54
Figura 10. Ejemplo de Diagrama de Pareto de fallas que afectan el OEE.....	73
Figura 11. Ejemplo de registro diario para cálculo del OEE.	75
Figura 12. Base de datos con clasificación de fallas.....	77
Figura 13. Base de datos con resultados de OEE por día y producto.	77
Figura 14. Pareto por tiempo acumulado de paradas para la línea de 20 litros.	92
Figura 15. Pareto por frecuencia de ocurrencia para la línea de 20 litros.....	93
Figura 16. Pareto por tiempo acumulado de paradas para la línea de 500 ml.....	94
Figura 17. Pareto por frecuencia de ocurrencia para la línea de 500 ml.....	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Velocidades nominales de máquinas en la línea de producción de botellas de 500 ml.	37
Tabla 2. Velocidades nominales de máquinas en la línea de producción de botellones de 20 litros.	38
Tabla 3. Caudales promedio de fuentes de agua de manantial.	39
Tabla 4. Temas del plan de capacitación para operarios de planta.	58
Tabla 5. Clasificación del OEE por su valor. Tomado de [21].	62
Tabla 6. Resultados diarios de OEE para línea de botellones de 20 l y botellas de 500 ml para el mes de julio.	88
Tabla 7. Resultados diarios de OEE para línea de botellones de 20 l y botellas de 500 ml para la primera semana de agosto.	88
Tabla 8. Resultado global de OEE para línea de botellones de 20 l y botellas de 500 ml.	88
Tabla 9. Resumen de tiempos perdidos por tipo de parada en el periodo de análisis para la línea de botellones de 20 litros.	89
Tabla 10. Resumen de tiempos perdidos por tipo de parada en el periodo de análisis para la línea de botellas de 500 ml.	90
Tabla 11. Aporte estimado por propuesta al aumento de OEE.	101
Tabla 12. Identificación de pérdidas relevantes y aporta al global.	102
Tabla 13. Determinación de propuestas y su accionar sobre las pérdidas.	103
Tabla 14. Eficacia de reducción estimada.	103
Tabla 17. Indicadores parciales	105

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Formato para registro de datos operativos en producción.....	115
Anexo 2. Codificación estandarizada de fallas y paradas operativas.	116
Anexo 3. Interfaz de Base de datos para el cálculo automatizado del OEE.	117
Anexo 4. Dashboard diario de OEE en planta.	118
Anexo 5. Tríptico informativo sobre el OEE.	119
Anexo 6. Datos recopilados en la prueba piloto para botellones de 20 litros y botellas de 500 ml.	120
Anexo 7. Tiempos de paradas registradas en la prueba piloto para la línea de 20 litros y 500 ml.	123
Anexo 8. Disponibilidad total en el día para la línea de botellones de 20 litros.	131
Anexo 9. Disponibilidad total en el día para la línea de botellas de 500 ml.	133
Anexo 10. Disponibilidad de máquina en el tiempo planificado de producción vs Tiempo para la línea de 20 litros	134
Anexo 11. Rendimiento de máquina en el tiempo planificado de producción vs Tiempo para la línea de 20 litros	134
Anexo 12. Disponibilidad de máquina en el tiempo planificado de producción vs Tiempo para la línea de 500 ml	135
Anexo 13. Rendimiento de máquina en el tiempo planificado de producción vs Tiempo para la línea de 500 ml	135

DISEÑO DE UNA PROPUESTA DEL
INDICADOR OVERALL EQUIPMENT
EFFECTIVENESS EN LAS LÍNEAS DE
PRODUCCIÓN DE BOTELLONES Y
BOTELLAS DE 500 ML EN UNA PLANTA
EMBOTELLADORA DE AGUA

Autor:

JORGE ALEXANDER NEGRETE ALARCÓN

Resumen

Diseñar una propuesta de indicador Overall Equipment Effectiveness OEE en las líneas de producción de botellones y botellas de 500 ml, que permita cuantificar la eficiencia, disponibilidad y calidad del producto en una orden de producción. A través de revisión bibliográfica se determina el valor objetivo a alcanzar y se establece un valor medible y alcanzable, se determina la aplicación en las líneas que producen los ítems con mayor demanda en el mercado. Para cumplir la propuesta de implementación se levantó documentación para el registro de datos, creación de una base de datos, divulgación y capacitación al personal del área de manufactura y un tablero de control para medir y controlar el avance del indicador de forma periódica. Se definen las principales causas de paradas no planificadas y planificadas, para cuantificar el tiempo de afectación en las órdenes de producción. Mediante el registro de los tiempos en una base de datos se realiza un análisis que permita conocer las principales causas al no cumplimiento de una orden de producción y disminución de la productividad, para plantear planes de acción correctivos y preventivos entre el área de producción y las áreas de apoyo. La propuesta constó de las fases de: análisis del problema, determinación de objetivos, levantamiento de documentación, capacitación e implementación.

Con el uso de la bibliografía y conocimiento de proceso se determinó un objetivo medible y alcanzable que permita guiar al equipo de trabajo al seguimiento. El seguimiento y control de los resultados ofrece pautas para la aplicación de correctivos en el proceso productivo y asegurar el cumplimiento de la mejora continua, compromiso y empoderamiento del personal y aumento en la competitividad de la empresa.

Palabras clave:

Indicador, manufactura, competitividad, eficiencia, operativa, seguimiento, control

Abstract

Design a proposal for an Overall Equipment Effectiveness (OEE) indicator for the production lines of large bottles and 500 ml bottles, which allows the efficiency, availability, and quality of the product in a production order to be quantified. Through a literature review, the target value to be achieved is determined and a measurable and achievable value is established. The application is determined for the lines that produce the items with the highest demand in the market. To comply with the implementation, documentation was collected for data recording, creation of a database, dissemination and training of manufacturing area personnel, and a control panel to measure and monitor the progress of the indicator on a regular basis. The main causes of unplanned and planned stoppages are defined in order to quantify the time affected in production orders. By recording the times in a database, an analysis is performed to identify the main causes of non-compliance with a production order and decreased productivity, in order to propose corrective and preventive action plans between the production area and the support areas. The proposal consisted of the following phases: problem analysis, goal setting, documentation gathering, training, and implementation.

Using the bibliography and process knowledge, a measurable and achievable objective was determined to guide the work team in monitoring. Monitoring and controlling results provides guidelines for applying corrective measures in the production process and ensuring continuous improvement, staff commitment and empowerment, and increased competitiveness for the company.

Keywords:

Indicator, manufacturing, competitiveness, efficiency, operations, monitoring, control

Introducción

La planta de embotellamiento de agua se encuentra ubicada en La Maná, en la provincia de Cotopaxi. La actividad principal es el embotellamiento de agua artesiana mediante el proceso de producción. La empresa prioriza el cuidado del medio ambiente y asegura la sostenibilidad de sus operaciones, además, es responsable socialmente al mantener buenas relaciones con la comunidad aledaña. La planta recibe como materia prima agua artesiana directamente de los manantiales de la empresa, esta es transportada mediante tuberías de acero grado quirúrgico desde la fuente hasta la planta de embotellamiento con el objetivo de preservar al máximo las propiedades físicas del agua de los acuíferos.

Actualmente, la empresa se encuentra expandiéndose en el mercado nacional e internacional con exportaciones hacia Estados Unidos. Con el incremento en la demanda de sus productos, se vio la necesidad de mejorar sus procesos productivos y producir más reduciendo costos de horas extras, generación de mermas y producto no conforme. Durante el proceso de producción se evidenció un incremento en el tiempo de paradas no planificadas que retrasan el cumplimiento de las cantidades planificadas en las órdenes de producción, afectando al inventario y disponibilidad del producto en los centros de distribución.

Esta propuesta plantea crear sinergia entre las áreas de calidad, producción y mantenimiento, mediante el trabajo en equipo y el involucramiento del personal para la aplicación de planes de acción; haciendo énfasis en la capacitación y empoderamiento de los líderes de área. La estandarización de la implementación y la creación de documentos para la toma y almacenamiento de datos asegurará que esta se mantenga en el tiempo y forme parte de la cultura de mejora de la empresa. Este estudio toma como base herramientas dadas en la metodología kaizen y propone la implementación de un indicador que permita medir, controlar y proponer planes de acción que mejoren la productividad en planta y aseguren una mayor competitividad de la empresa en el mercado.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar una propuesta del indicador Overall Equipment Effectiveness en las líneas de producción de botellones y botellas de 500 ml en una planta embotelladora de agua.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Definir las máquinas involucradas en el proceso de producción para identificar sus capacidades y limitaciones.
2. Especificar los parámetros de trabajo mediante la obtención de datos insitu para obtener valores actuales de producción.
3. Registrar tiempos de paradas no planificadas y planificadas de las máquinas en las líneas de producción para generar oportunidades de mejora.
4. Diseñar la propuesta del indicador Overall Equipment Effectiveness mediante el desarrollo de un algoritmo de pasos consecutivos para la estandarización futura en el proceso productivo.

Determinación del Problema

En la planta de embotellamiento de agua se ha identificado un conjunto de limitaciones que afectan la eficiencia de las líneas de producción. A pesar de contar con máquinas que han permitido automatizar parte del proceso, persisten altos niveles de paradas no planificadas que superan los 60 minutos en un turno de 8 horas, generando incrementos en el requerimiento de mano de obra y aumento de horas extras. Estos factores evidencian un bajo control sobre la disponibilidad de los equipos y la gestión de recursos, lo que afecta a los costos de producción, la calidad del producto y la capacidad de respuesta frente a la creciente demanda de productos.

Frente a esta situación, la propuesta del indicador Overall Equipment Effectiveness (OEE) se justifica como una herramienta integral para medir y gestionar de manera objetiva la eficiencia de la planta. El indicador OEE permitirá cuantificar de forma simultánea la disponibilidad, el rendimiento y la calidad del proceso productivo, generando información precisa para identificar las causas de pérdida y proponer acciones de mejora.

1. MARCO GENERAL DEL PROCESO PRODUCTIVO

1.1. Introducción

La comprensión del proceso de producción es fundamental para la implementación de metodologías de mejora continua. Conocer detalladamente cada etapa del proceso permite identificar áreas de oportunidad para incrementar la eficiencia operativa, reducir costos y optimizar el uso de los recursos. Además, la evaluación de la capacidad instalada facilita la identificación de limitaciones y el aprovechamiento del potencial de la planta en su configuración actual, lo que es esencial para una toma de decisiones informada.

Este capítulo presenta un análisis integral del proceso, incluyendo las máquinas disponibles, la capacidad instalada y la infraestructura, con el objetivo de establecer un marco de referencia que permita entender las interacciones entre las distintas etapas y su impacto en la productividad global de la planta. Este enfoque proporcionará las bases necesarias para proponer la implementación del indicador OEE que guíe la mejora continua.

1.2. Descripción del proceso de producción

A continuación, en las Figura 1 y 2, se presenta un diagrama flujo con el proceso general de producción de botellas y botellones en el que se detallan responsabilidad y principales etapas desde el inicio con la planificación de la demanda hasta el final con la entrega del producto terminado a bodega.

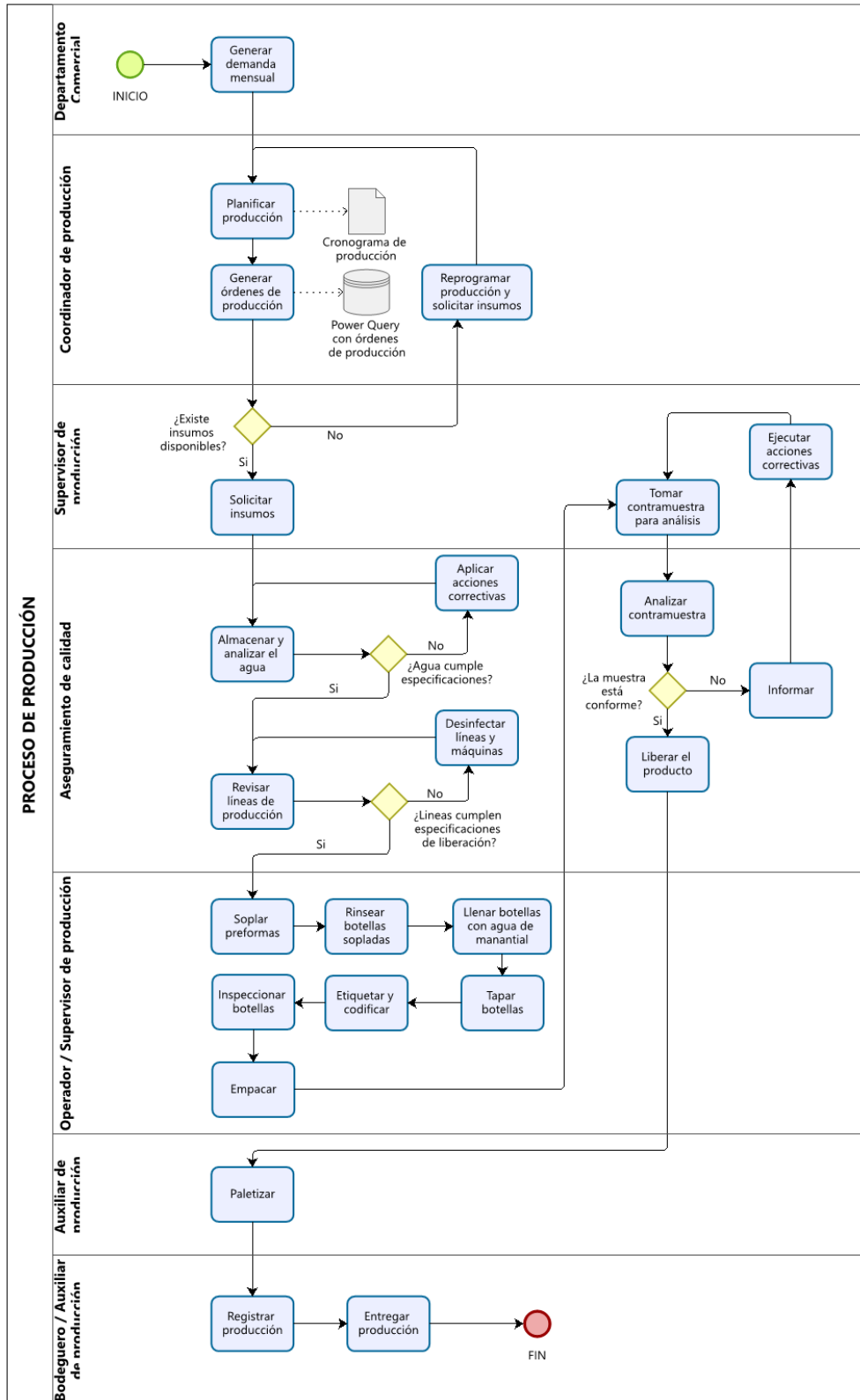


Figura 1. Proceso de producción de agua embotellada.

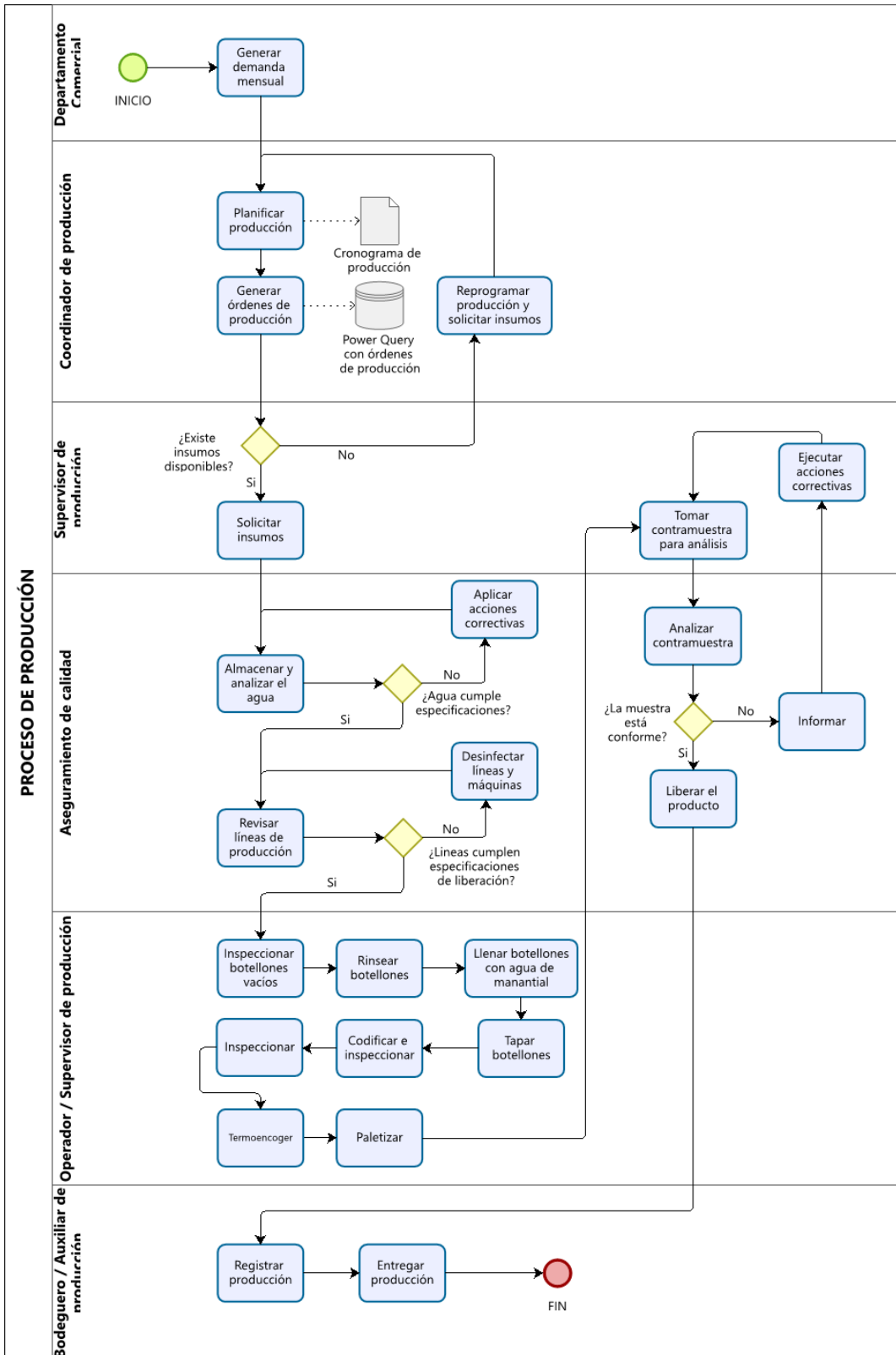


Figura 2. Proceso de producción de botellones de agua.

1.2.1. Planificación de producción

El proceso de producción inicia con la planeación mensual de la demanda, que es tomada en base a los requerimientos de los centros de distribución y clientes específicos.

La necesidad es programada en un cronograma en función a la disponibilidad de insumos, recursos, mano de obra y principalmente la materia prima que es el agua de manantial. La coordinación de producción crea las órdenes de producción y los supervisores son los encargados en verificar la disponibilidad de insumos en la bodega de materia prima.

1.2.2. Recepción, filtrado y almacenamiento de agua

El área de calidad es la encargada de recibir el agua captada de las fuentes de manantial. Esta agua es transportada por una tubería de acero quirúrgico que une a las fuentes de manantial hasta el área de recepción y almacenamiento continuo de agua, es en esta área donde se recibe el agua en tres pretanques de almacenamiento de 12 m³ de capacidad cada uno. Luego, el agua ingresa a un tren de filtrado en serie que constan de un tanque de arena, y cinco filtros de: 4.5 µm, 3 µm, 2 µm, 1 µm y 0,2 µm; en esta etapa se asegura la eliminación progresiva de partículas sólidas, microorganismos y otros contaminantes, garantizando que el agua a ser embotellada cumpla con estándares de calidad y sea inocua.

Se detalla de forma breve las etapas de filtrado, clave para asegurar la inocuidad del agua:

Filtro de 4.5 µm – Filtración gruesa: Retiene partículas grandes como arena, barro, restos vegetales, o cualquier impureza física visible. Protege las etapas siguientes de sobrecarga o daño.

Filtros de 3 µm y 2 µm – Filtración media: Eliminan partículas más finas que pueden pasar el primer filtro, como sedimentos más pequeños, algas u óxidos metálicos. También ayudan a extender la vida útil del filtro de 1 µm y 0.2 µm.

Filtro de 1 μm – Filtración fina: Elimina casi toda la materia en suspensión restante, incluyendo algunas bacterias grandes y esporas. Esta etapa ya comienza a tener un efecto importante en la calidad microbiológica.

Filtro de 0.2 μm – Filtración estéril o final: Considerada una microfiltración que retiene prácticamente todas las bacterias y protozoos. No reemplaza una desinfección completa si hay riesgo microbiológico alto, pero sí garantiza un agua microbiológicamente segura.

Para asegurar que el agua no contenga carga microbiana, finalmente pasa por un equipo de desinfección llamado Elektro-Katadyn EK 3-24, este es un punto crítico de control PCC dentro del proceso de producción. Este equipo añade iones de plata Ag^+ al agua mediante una reacción electrolítica. La plata iónica es un potente agente antimicrobiano, inhibiendo el crecimiento de microorganismos, hongos y bacterias. Permite tratar el agua a una razón de 30 m^3/hora . Smith [1] afirma que la plata es ampliamente conocido como un antiséptico para la purificación del agua y mediante su síntesis no genera subproductos que sean tóxicos para el ser humano.

Finalmente, el agua es almacenada en un tanque cónico con capacidad de 36 m^3 y a partir de este punto se distribuirá el agua al área de llenado mediante la ayuda de bombas.

1.2.3. Preparación de línea

Esta etapa inicia cuando se ha verificado y confirmado la disponibilidad de mano de obra, insumos y agua de manantial.

Durante el embotellado del agua el departamento de calidad mediante análisis, seguimiento y liberación de líneas asegura la inocuidad del producto y el cumplimiento de parámetros requeridos por el cliente.

Es durante el proceso operativo que inicia desde el almacenamiento del agua en tanques hasta el paletizado del producto terminado en el que intervienen directamente las áreas de

producción, calidad y mantenimiento, trabajando en sinergia asegurando el flujo continuo de la cadena de suministro.

1.2.4. Producción de botellas de 500 ml

Una vez que las líneas de producción hayan sido liberadas y se haya dado la calibración y arranque de las máquinas, empieza el proceso productivo que inicia en el soplado de las preformas hasta el paletizado y entrega de producto final a la bodega. En la figura 3 se presenta un diagrama con las principales etapas del proceso de soplado, empezando desde el ingreso de preformas (1) hasta la obtención de la botella soplada (5).

Soplado de preformas

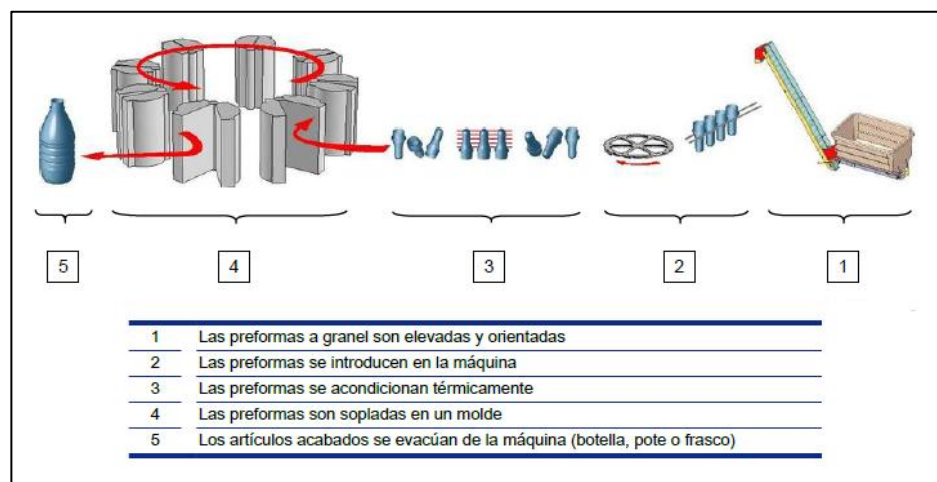


Figura 3. Diagrama de soplado de preformas PET. Tomado de Sidel [2]

La máquina sopladora de preformas es la que inicia la producción en la línea de botellas PET de 500 ml, en ella se alimentan preformas PET con un gramaje determinados para los diferentes tamaños de botellas. Las preformas ingresan cuello arriba al horno infrarrojo mediante carril guía de alimentación, donde son acondicionadas con lámparas infrarrojas que mediante radiación térmica calientan el cuerpo de las preformas de manera controlada de aproximadamente 110 °C.

Una vez que las preformas se han condicionado, salen del horno e ingresan al puesto de soplado, aquí pasan por un proceso de estirado, pre soplado y soplado. [2]

Primero, una barra estira de forma axial la preforma hacia abajo mientras se inyecta aire a baja presión (pre-soplado) para comenzar su expansión. Luego, se aplica aire a alta presión de 30 bar para que la preforma tome la forma del molde. Durante este proceso, el molde está refrigerado para enfriar la botella formada. Finalmente, se abre el molde y la botella es extraída para continuar su camino en la línea de producción.

La sopladora almacena recetas específicas para los distintos volúmenes de botellas. La velocidad de soplado varía en función del volumen. La capacidad nominal proporcionada por el proveedor oscila entre 23000 y 64400 botellas por hora (bph). No obstante, esta velocidad se ve reducida en la práctica debido a la capacidad total de la línea de producción y a los cuellos de botella existentes.

Llenadora de botellas

Es en esta parte del proceso donde se llenan las botellas con el agua de manantial. Antes del llenado, las botellas sopladas pasan por un enjuague con agua ozonificada, el cual garantiza su limpieza e inocuidad microbiológica. En esta etapa se eliminan partículas y residuos, y se desinfectan las botellas, dejándolas preparadas para la siguiente etapa.

La llenadora automatiza el proceso, asegurando precisión, higiene y una velocidad de operación variable según el formato que se esté produciendo. Es una máquina esencial dentro de la línea de envasado e incluye componentes como: un sistema de alimentación que posiciona las botellas, válvulas que controlan el flujo de agua, un tanque de acero inoxidable para el almacenamiento del producto, sensores, y un sistema de control que permite monitorear y ajustar la velocidad.

La estructura de la máquina está diseñada con criterios higiénicos para prevenir la contaminación, y está conectada a un sistema de limpieza CIP (Clean in Place), que permite realizar limpiezas internas sin necesidad de desmontarla.

Las botellas enjuagadas e inocuas llegan a la llenadora, donde se dosifica la cantidad de agua según el volumen configurado. Esta máquina requiere un tiempo de ajuste y calibración de entre 45 minutos y 1 hora, dependiendo del formato de producción.

La máquina trabaja a una velocidad nominal de 10200 bph a 10800 bph para el formato de 500 ml. Sin embargo, el operador puede regularla de acuerdo con la fluidez general de la línea, esta velocidad puede disminuir con problemas que generalmente se presentan como: mal tapado, bajo nivel de llenado y deformación en la botella por fallas mecánicas. La velocidad real en producción se encuentra por debajo de la nominal, influye considerablemente el formato con el que se esté trabajando, así como también el tiempo en el que se mantiene la línea de producción. La producción de lotes pequeños, afectan a la disponibilidad y eficiencia de la máquina.

Al finalizar el llenado, las botellas pasan por un tapado automático asegurando que el producto se encuentre sellado y pueda pasar a la próxima etapa de etiquetado.

Etiquetadora

La máquina etiquetadora es responsable de recibir las botellas no etiquetadas y aplicar etiquetas tipo roll feed que envuelven completamente la botella y dan una visión de 360° presentando la información de la marca e información legal.

El sistema está compuesto por una bobina de alimentación de 50 cm de ancho, acoplada a una unidad de corte de alta precisión que mediante un sensor óptico detecta las marcas de registro (tacas) impresas en la etiqueta, garantizando una alineación y separación exacta. Finalmente, un adhesivo caliente es el que fija la etiqueta a la botella.

El equipo es capaz de ajustar dinámicamente la velocidad de corte en función de la cantidad de botellas proveniente del área de llenado, lo que permite mantener la sincronización y eficiencia del proceso en condiciones variables de operación.

Codificado e inspección

Luego del etiquetado, la botella pasa por un proceso de codificado e inspección por el personal de planta. Es en este punto donde se marca la codificación obligatoria para dar trazabilidad y cumplir requisitos legales solicitados por organismo como la Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria ARCSA.

En el codificado las botellas reciben un código impreso con información sobre: lote, fecha de fabricación, fecha de vencimiento y hora de producción. La impresión se da mediante un sistema inkjet (inyección a tinta)

El codificador inkjet aplica la tinta de forma directa y sin contacto sobre la superficie de la botella, en la zona del hombro. Este equipo al igual que la etiquetadora ajusta su velocidad a la velocidad de trabajo de la línea, sin embargo, una falla eléctrica o mecánica, mala impresión de lote o el quedarse sin tinta, si ocasiona que toda la línea se detenga hasta solucionar el inconveniente, afectando directamente a la disponibilidad y eficiencia.

Tras el codificado, las botellas pasan frente a un panel con luz blanca, diseñado para resaltar el contraste del código y permitir su lectura clara. Este mismo punto se aprovecha para observar otros aspectos visuales, como:

- Legibilidad y ubicación del lote,
- Nivel de llenado correcto,
- Deformación en la botella,
- Mal etiquetado.

Un operador está asignado para trabajar esta estación, es el encargado de revisar continuamente que las botellas estén conformes. En caso de detectar una botella no conforme (por ejemplo, sin código, mal impresa o mal llenada), el operador la retira manualmente de la línea.

Debido a la naturaleza del proceso, en esta etapa, se rota al operador para evitar fatigas por la posición ergonómica y la exposición prolongada a la luz. El autor Gonzales et al. [3] en su estudio, afirma que los métodos tradicionales de inspección de defectos que se basan en el análisis visual humano, consumen tiempo, son propensos a errores y afectan negativamente la comodidad y ergonomía de los trabajadores.

Además, la fatiga por exposición puede afectar directamente la calidad del producto, ya que el personal podría cometer errores humanos y permitir el paso de botellas no conformes hacia la línea de empaçado. Por esta razón, como medida preventiva, se realizan paradas planificadas de al menos 5 minutos para efectuar el cambio de personal en el puesto de inspección, lo que a su vez impacta en la eficiencia global del proceso.

Empacado

Esta etapa viene luego del codificado, inspección y control de calidad. Las botellas son trasladadas por una banda transportadora y agrupadas en conjuntos de 6 y 12 unidades según la presentación que se haya solicitado en la orden de producción. Aquí, las botellas agrupadas son envueltas con plástico film termoencogible proveniente de un rollo que es colocado de forma manual en la máquina; este film es cortado transversalmente por una cuchilla automática que es regulada en la calibración de la línea, donde se ajusta una longitud de corte suficiente para que pueda envolver al conjunto de botellas, considerando su altura y cantidad.

Una vez que las botellas se encuentran envueltas pasan automáticamente al túnel de calor de 2 metros de longitud, donde por medio de resistencias térmicas se genera calor suficiente para termo encoger el film, asegurando el conjunto de botellas, convirtiéndolas en una paca, de esta forma se da por finalizada la etapa de empaçado.

Esta etapa es clave para garantizar la integridad del producto durante el transporte y optimizar el almacenamiento en pallets.

La máquina empacadora puede trabajar a una velocidad de 5 pacas/min. Requiere la presencia constante de un operador encargado de monitorear su funcionamiento, con el fin de detectar y atender oportunamente cualquier falla o interrupción del proceso, como atascos provocados por la acumulación de botellas.

Paletizado

El paletizado es la etapa final de proceso, a continuación del empacado.

Esta etapa ocupa dos personas que toman las pacas y las acomodan en el pallet de forma ordenada, cuando el pallet se encuentra listo es envuelto con papel film que asegura las pacas y permite transportarlo hacia la bodega de producto terminado.

Debido a que es una etapa netamente manual, no se tiene velocidad estándar fija, sin embargo, por análisis de tiempos y movimientos internos, se considera que se maneja una velocidad de 3 pacas/min para la presentación de 6 unidades y 4 pacas/min para la presentación de 12 unidades, estos valores pueden variar en función a la condición física del personal, la hora del día y las condiciones climáticas que influyen en la fatiga, debido a que la planta se encuentra en La Maná, las condiciones climáticas como humedad relativa y temperatura influyen en la productividad, en un estudio publicado en el 2021, Morrissey M. et al. [4] detalla que las pérdidas de productividad están directamente vinculadas a altas temperaturas ambientales y mediante una revisión sistemática se encontró que el 30% de los trabajadores reportaron pérdida de productividad, con una caída del 2.6% por cada grado por encima de 24 °C de temperatura.

Una vez que el pallet se encuentre listo para entregar a la bodega de producto terminado, control de calidad toma una muestra para realizar análisis de laboratorio y mantener una contramuestra en custodia. Finalmente, si el producto se encuentra conforme es liberado y puede salir a comercialización, terminado así el proceso de producción.

1.2.5. Producción de botellones

Clasificado

Esta etapa es el inicio del proceso de embotellamiento para los botellones. Este es un proceso manual debido a que la inspección de botellones de retorno se realiza por el personal operativo, por ende, esta condición lo convierte en un punto potencial de variabilidad dentro del flujo de producción, debido a factores humanos como: la fatiga, el nivel de atención, y la experiencia del personal asignado que afectan a la velocidad del proceso.

Esta etapa es crítica, debido a que es el filtro inicial en el cual se descartan botellones reutilizables que puedan afectar la inocuidad del producto final; aquí se asegura que los recipientes cumplan con los estándares de buenas prácticas de manufactura, integridad física y ausencia de materiales extraños antes de ingresar al ciclo de lavado y llenado. Para asegurar la conformidad de los botellones antes del ingreso a la etapa de lavado, el personal realiza las siguientes inspecciones sensoriales:

- **Inspección auditiva (Escuchar).** - el personal operativo toma los botellones de retorno, los agita y escucha si existe la presencia de algún material sólido extraño en su interior. Esto permite descartar materiales que pueden quedar dentro del botellón como: tapas, monedas, piedras pequeñas o tornillos.
- **Inspección visual (Ver).** - los botellones vacíos pasan a través de una lámpara de luz blanca que facilita la ubicación de daños físicos en el recipiente como: roturas, manchas de pintura o suciedad evidente. Además, ayuda a encontrar fácilmente elementos extraños en su interior. Todo botellón que no sea conforme en esta etapa, se separa.
- **Inspección olfativa (Oler).** - en esta etapa el operador toma los botellones y acerca su nariz a la boquilla para identificar olores atípicos provocados por: residuos de

combustible, pintura, agua estancada o solventes. Los botellones que presentan olores persistentes, penetrantes y no identificados se descartan inmediatamente.

Debido a su naturaleza manual, el clasificado es una etapa que condiciona el ritmo del proceso. Las demoras en esta fase generan acumulación de botellones en la línea, reduciendo la disponibilidad de botellones aptos para el lavado. Para disminuir la afectación a la eficiencia global se han determinado estrategias como: rotación del personal, refuerzo operativos y estandarización de procedimientos de inspección.

Lavado

Una vez que los botellones hayan sido clasificados y no presenten novedades organolépticas ni físicas, pasan a la etapa de lavado, es aquí donde se asegura la limpieza y desinfección. Esta etapa es un punto crítico para asegurar la inocuidad del producto, disminuyendo el riesgo de contaminación por microorganismos u objetos extraños.

Esta máquina de marca R.BARDI es dirigida por un operador que puede modificar las condiciones de operación en las etapas que forman parte de una línea completa: lavado, llenado y tapado. Está configurada para trabajar con el formato de 20 litros, en una velocidad que va de 1000 a 1200 bph.

Para el lavado se usa agua ablandada, de esta forma se evitando daños por incrustación de metales y permite que el detergente sea efectivo en el momento del lavado. La máquina asegura el correcto lavado de botellones al considerar variables de: tiempo de lavado (2,50 segundos por botellón), presión de lavado (hasta 6 bar), temperatura (60 °C a 65 °C), concentración del detergente y desinfectante en porcentaje másico, %m/m que es una forma de expresar la concentración de una solución, relacionando la masa de soluto presente por cada 100 unidades de masa de la solución (5% m/m a 10% m/m dependiendo del químico usado).

El lavado se ejecuta de manera secuencial y a continuación se describe el proceso:

- **Prelavado.** - esta es la etapa inicial, aquí ingresan los botellones clasificados, se realiza un enjuague con agua a presión a fin de retirar los materiales extraños adheridos al recipiente.
- **Aplicación de detergente.** - a continuación, los botellones rociados con una solución de detergente alcalino, esta solución ingresa dentro del botellón mediante una boquilla de aspersión y retira la suciedad orgánica e inorgánica, La combinación de las variables: concentración del detergente, presión de rociado y temperatura, aseguran la eficacia de remoción de la suciedad.
- **Primer enjuague.** – aquí se aplica agua a presión para eliminar residuos de la solución detergente, asegurando una neutralización del sanitizante.
- **Aplicación de desinfectante.** – una vez que el botellón se encuentre sin remanentes de solución detergente, se aplica una solución previamente diluida de desinfectante recomendado para la industria alimenticia. El objetivo de este paso es disminuir la carga de microorganismos patógenos para la salud.
- **Enjuague final.** – finalmente, los botellones pasan por el último enjuague, en el que se utiliza agua blanda y ozonificada para asegurar la completa limpieza interna y externa, asegurando condiciones de higiene óptimas para la etapa de llenado.

Llenado

La etapa de lavado y llenado se encuentra en un monobloque para asegurar que no haya contaminación cruzada. La velocidad y volumen de llenado son ajustados en la calibración inicial, al arranque de línea por el operador de la máquina.

Esta etapa define la velocidad global de la máquina. El llenado se lleva de forma automática, con válvulas neumáticas que controlan la dosificación de agua de manantial a los botellones. El agua proviene del tanque pulmón descrito en el punto 1.2.2., cada botellón está configurado para ser sobrellenado y asegurar un volumen neto de más de 20 litros.

Tapado

El tapado se encuentra seguido a la línea de llenado, para mantener un flujo continuo. La máquina tiene un tapador tipo press-on que aplica las tapas a presión en la boquilla de los botellones sin necesidad de un roscado. Esta etapa recibe las tapas desde una tolva que es alimentada continuamente por el operador de máquina.

Una vez que el botellón haya sido llenado, este tipo de tapado, asegura la hermeticidad del recipiente, sin permitir fugas ni contaminación con agentes externos físicos, químicos o biológicos

Sellado

Una vez que los botellones hayan sido tapados, el operador y un auxiliar colocan las fajillas termoencogibles de forma manual. Estas fajillas asegurarán la integridad del producto y actúan como un sello de garantía. Es esencial que estén correctamente centradas para evitar desalineaciones que afecten la hermeticidad.

Esta etapa se debe ajustar a la velocidad de la línea debido a que es netamente manual, debido a ello se requiere dos personas para asegurar que todos los botellones contengan la fajilla.

Codificado e inspección

El botellón pasa por un proceso de codificado e inspección. Es en este punto donde se marca la codificación obligatoria para dar trazabilidad y cumplir requisitos legales solicitados por organismo como la ARCSA.

El codificado se coloca sobre las tapas y reciben un código impreso con información sobre: lote, fecha de fabricación, fecha de vencimiento y hora de producción. La impresión se da mediante un sistema inkjet (inyección a tinta)

El codificador inkjet aplica la tinta de forma directa y sin contacto sobre la tapa del botellón.

Al igual que el codificado de botellas, este equipo ajusta su velocidad a la velocidad de trabajo de la línea, sin embargo, una falla eléctrica o mecánica, ocasiona que toda la línea se detenga hasta solucionar el inconveniente, afectando directamente a la disponibilidad y eficiencia.

Tras el codificado, los botellones pasan frente a un panel con luz blanca, diseñado para resaltar el botellón y su contenido. Aquí, el auxiliar de producción revisa la conformidad de los siguientes ítems:

- Legibilidad y ubicación del lote,
- Nivel de llenado correcto,
- Deformación del botellón,
- Materiales extraños.

Termoencogido de fajillas

Una vez que los botellones hayan sido inspeccionados en línea y no se hayan observado las novedades detalladas en el párrafo anterior, pasarán a través de un túnel de calor. Este equipo, genera calor por medio de resistencias eléctricas que permiten que las fajillas se contraigan y sellen la tapa con el cuello del botellón.

El túnel de calor no ajusta su velocidad, se maneja según la velocidad general de la línea, es por ello que no requiere la supervisión continua de un operador una vez que haya sido encendido y ajustado a la temperatura de trabajo.

Paletizado

Al final de la línea, se encuentra la etapa de paletizado automático, donde un robot sujeta los botellones y los traslada de manera segura a pallets plásticos verticales con capacidad para 48 botellones.

Esta etapa es automatizada, el robot tiene la capacidad de levantar botellones de 20 kg, está programado para trabajar a una velocidad mayor a 1000 bph. El sistema de sujeción del robot funciona con un sistema neumático y está equipado con ventosas de succión, que generan vacío y permite adherirse a la tapa de botellón, sin necesidad de sujeción mecánica que puede dañar el sello de seguridad o el cuello del botellón.

El sistema está configurado para levantar 4 botellones por ciclo, trasladándolos desde la banda transportadora hasta el pallet de manera precisa. La programación del movimiento del robot se encuentra pre establecida, facilitando la operación al operador responsable de máquina.

En condiciones normales de producción la operación se realiza haciendo uso del robot paletizador, sin embargo, en el caso de que exista un incremento en la demanda o el sistema automático presente anomalías que requieran parar el robot, es necesario el apoyo de personal operativo, que coloca manualmente los botellones en los pallets, uno a uno. Esta solución, permite mantener el proceso de la cadena de abastecimiento, asegurando el despacho del producto, pero disminuye la velocidad de línea en un 20% aproximadamente, produciendo de 1000 bph a 800 bph aproximadamente, adicional, se reduce el personal operativo en líneas complementarias. Finalmente, la actividad prolongada de levantar botellones de 20 kg, es un riesgo físico a largo plazo y afecta a la productividad del personal, un estudio realizado por Wahyuni et. al. [5] describió que, si un músculo recibe una carga estática de forma repetida y prolongada como el levantamiento de botellones, puede causar daños en articulaciones, ligamentos y tendones, y estos síntomas pueden reducir la productividad laboral, ocasionar ausentismo y conducir a discapacidades temporales o permanentes. La fatiga y las molestias musculoesqueléticas pueden disminuir el rendimiento y aumentar los errores en el trabajo debido a la pérdida de concentración y las horas laborales perdidas por el dolor.

1.3. Layout de planta de embotellamiento

La disposición de las instalaciones productivas se estructura considerando requisitos requeridos en las normativas de buenas prácticas de manufactura, se busca optimizar el flujo de materiales durante las secuencias operacionales del proceso y permitir un adecuado y seguro flujo de personal dentro de planta.

En las figuras 4 y 5 se puede visualizar las configuraciones de las dos líneas de envasado principales: el circuito de botellas PET y el circuito de botellones retornables. Estas representaciones gráficas facilitan la comprensión del trayecto del producto desde su inicio del proceso hasta el final con el paletizado del producto terminado, se resaltan las etapas fundamentales.

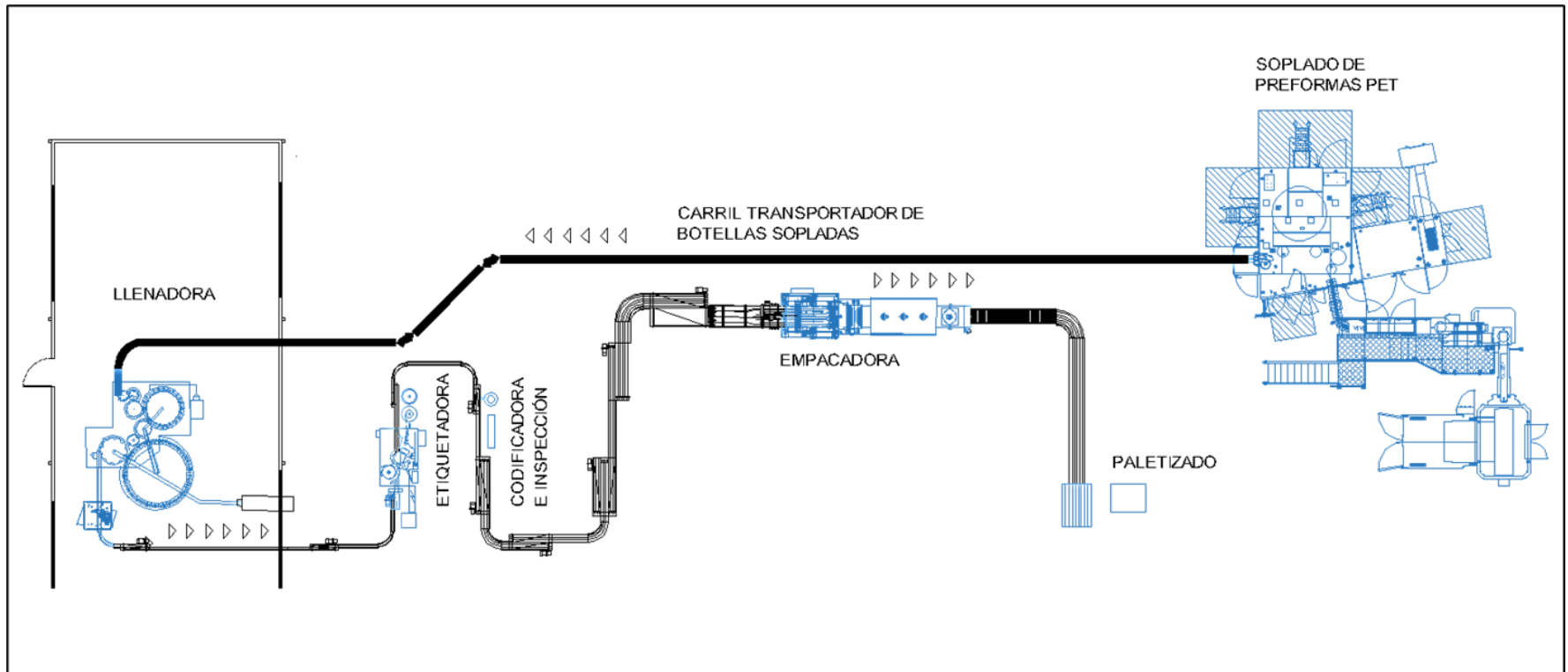


Figura 4. Layout de línea de producción de botellas PET.

La figura 5, describe el proceso de producción de botellones de 20 litros, inicia en la etapa de recepción de botellones y finaliza en el paletizado.

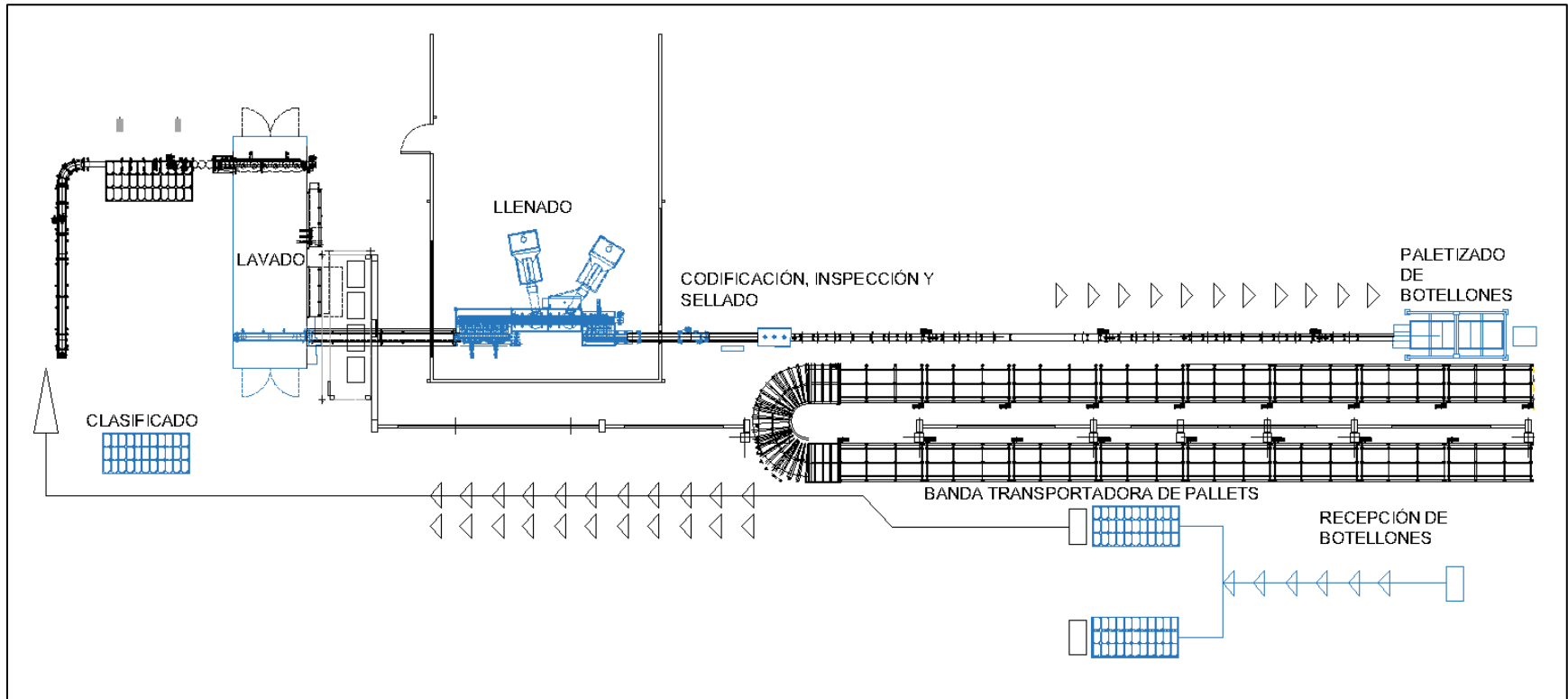


Figura 5. Layout de línea de producción de botellones.

1.4. Capacidad de planta

1.4.1. Capacidades de máquina

La velocidad nominal es la velocidad a la que una máquina está diseñada para trabajar, funcionando eficientemente y sin sufrir daños.

Cada máquina tiene una velocidad nominal, sin embargo, dado que ningún proceso es ideal, las condiciones reales afectan al rendimiento haciendo que las máquinas se ajusten a la realidad del proceso, variables como: tipo de formato, disponibilidad de agua, tiempo de paradas no planificadas, daños mecánicos, eléctricos o neumáticos, y productividad del personal operativo, son las principales causas que ocasionan que una línea no pueda funcionar a la velocidad nominal. Finalmente, las máquinas ajustarán su velocidad a la velocidad de la etapa que genere el cuello de botella.

A continuación, en la Tabla 1, a manera de información, se detallan las capacidades individuales de las máquinas que componen a la línea de producción de botellas de 500 ml y en la Tabla 2 se detalla información para la línea de botellones de 20 litros.

Tabla 1. Velocidades nominales de máquinas en la línea de producción de botellas de 500 ml.

Máquina	Velocidad nominal Botellas por hora [bph]
Sopladora de preformas	23000 a 64400
Llenadora de botellas	10200 a 10800
Etiquetadora	21000
Codificadora	*No aplica
Empacadora	3600 a 9000

*La máquina codificadora que funciona por inyección de tinta, no tiene velocidad nominal como las máquinas de la línea, sin embargo, tiene un rango de velocidad de impresión ajustable.

La tabla 2, detalla las velocidades nominales en todas las etapas de producción de los botellones de 20 litros.

Tabla 2. Velocidades nominales de máquinas en la línea de producción de botellones de 20 litros.

Máquina	Velocidad nominal Botellas por hora [bph]
Lavadora	1000 a 1200
Llenadora	1000 a 1200
Tapadora	1000 a 1200
Codificadora	*No Aplica
Termoencogedora	1000 a 1200
Paletizadora	1000

*La máquina codificadora que funciona por inyección de tinta, no tiene velocidad nominal como las máquinas de la línea, sin embargo, tiene un rango de velocidad de impresión ajustable.

1.4.2. Capacidad de materia prima

La planta de embotellamiento se encuentra dentro de un ecosistema de selva húmeda tropical, que es conocido por su biodiversidad y pureza natural, a 220 msnm. Desde el inicio de sus operaciones la empresa ha priorizado la protección del medio ambiente asegurando que sus procesos sean sostenibles en el tiempo y generen el menor impacto.

Debido a su ubicación estratégica, la planta puede obtener de manera controlada agua artesiana de fuentes cercanas a ella, sin comprometer la integridad del ecosistema que lo rodea, es así, que cuenta con 7 fuentes de agua artesiana, que proveen continuamente de materia prima a la planta de embotellamiento.

Cada fuente tiene un caudal máximo de agua, no todas son utilizadas en simultáneo debido a que actualmente la planta no tiene la posibilidad de recibir toda el agua. La recepción de materia prima tiene una capacidad 30 m³/h para realizar el pre tratamiento del agua y almacenamiento en tanque pulmón.

Es por este motivo que las válvulas que dirigen el agua desde las fuentes hasta la planta son abiertas según la necesidad de producción, dejando continuar con su cauce natural a las fuentes que no se utilizan.

Una de las restricciones que tiene la planificación de la producción es la capacidad de almacenamiento del agua y para suplir esta necesidad se ve obligada a extender la jornada laboral de 8 a 12 horas por turno.

A continuación, en la Tabla 3, se presenta un promedio de los caudales de las fuentes de manantial, sin embargo, estas mediciones pueden variar en función a la época del año afectando a la operatividad general de la planta. Generalmente, en épocas de estiaje, de junio a noviembre los caudales disminuyen su valor, creando la necesidad de usar más fuentes en simultáneo para satisfacer la necesidad de producción. Con el aumento de la demanda, la empresa ha visto la necesidad de utilizar nuevas fuentes de manantial e incrementar la capacidad de almacenamiento de agua.

Tabla 3. Caudales promedio de fuentes de agua de manantial.

Fuente de agua de manantial	Caudal promedio m³/h
Fuente 1	10.35
Fuente 2	5.98
Fuente 3	0.55
Fuente 4	0.10
Fuente 5	2.36
Fuente 6	9.75
Fuente 7	7.68

La producción diaria se realiza con el objetivo de evitar que la planta se quede sin abastecimiento de agua, las fuentes 1, 2, 6 y 7 son las que más aportan y son las que se abren para el embotellamiento. Con el propósito de no afectar a la orden de producción durante el turno, la producción inicia con el tanque de recepción lleno con 30 m³, que es abastecido durante la madrugada cuando la planta esté inoperativa.

Es muy importante el uso eficiente de agua para el embotellado y la velocidad de consumo de agua no puede superar a los 30 m³/h ya que el área de recepción se quedaría sin agua para responder a la necesidad y obligaría a una parada no planificada que afecta a la productividad del turno.

2. ALTERNATIVAS DE PROPUESTA DE MEJORA

2.1. Introducción

La eficiencia operativa de una planta industrial depende en gran medida de la identificación oportuna de los puntos críticos que limitan el rendimiento del proceso.

En este capítulo se presentan las alternativas de mejora considerando las principales causas que afectan a la productividad en la planta. Barsalou [6] menciona que cuando se producen fallos en calidad es recomendable encontrar la raíz del problema para evitar que este vuelva a suceder, una metodología usada para este fin es el diagrama de Ishikawa que enumera las causas que se pueden analizar, para el caso de estudio se hará el uso de esta herramienta para enlistar las principales hipótesis. En el diagrama las flechas en ángulo apuntan hacia la flecha horizontal y éstas son las ramas principales y cada una tiene una etiqueta donde se describirán las hipótesis: método, medio ambiente, materiales, maquinaria, mediciones y mano de obra.

Con la ayuda de un diagrama de Ishikawa detallado en la figura 6, se eligieron a los componentes que tienen más impacto y en función a ello se procede a clasificarlos y analizarlos.

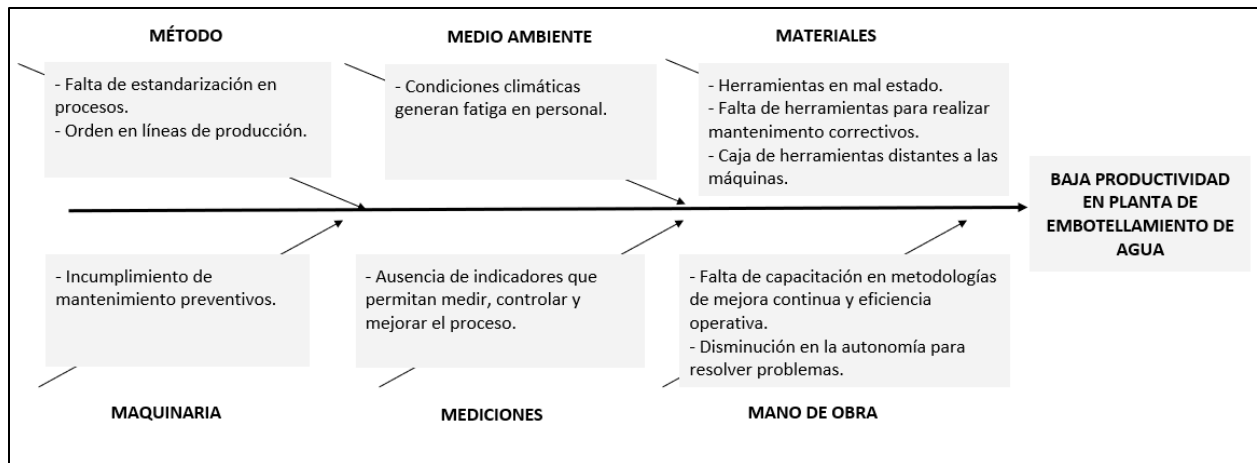


Figura 6. Diagrama de Ishikawa para determinación de causas que afectan la productividad.

Estos elementos han sido identificados como factores que afectan directamente la eficiencia, disponibilidad de máquina y calidad del producto terminado.

El objetivo del capítulo es analizar las hipótesis encontradas y proponer soluciones concretas que optimicen los recursos disponibles. A través de observación directa, el análisis de registros de producción y entrevistas al personal, se ha recopilado información clave que sustenta las propuestas aquí presentadas. Esta propuesta de implementación busca no solo mejorar el rendimiento de la planta, sino también establecer una base sólida para una gestión más eficiente y sostenible en el largo plazo.

2.2. Métodos: falta de estandarización en procesos

La estandarización es la aplicación de reglas y especificaciones uniformes que buscan lograr consistencia y orden en actividades dentro de un proceso, ISO [7] define a un proceso como un conjunto de actividades que se relacionan entre sí para convertir una entrada en una salida o resultado previsto.

En el flujo del proceso se componen las actividades ejecutadas en todo el transcurso, actividades y recursos utilizados. Mientras existan más desviaciones del proceso definido, menor estandarización tendrá. El autor Wurm [8], en su trabajo de investigación sobre

estandarización de procesos en negocios, menciona que cuantas más variaciones y excepciones se encuentren en el proceso, más ineficiente será.

En el mismo estudio citado en el párrafo anterior Wurm [8] detalla que, sin una documentación y capacitación rigurosa, se deja a los colaboradores que actúen bajo su mismo criterio, generando variabilidad, debido a que cada colaborador ejecuta el proceso de forma diferente según su entendimiento.

El objetivo de una buena documentación no es sobrecargar de tareas administrativas a los empleados, sino ayudar a un rendimiento y continuidad uniforme del proceso.

Actualmente, con el objetivo de cumplir con requisitos documentales dados por las buenas prácticas de manufactura y normativa internacional, la planta de embotellamiento cuenta con un proceso definido para el área de producción, sin embargo, el mismo no se ha actualizado desde su creación. Al realizar una revisión al sistema de gestión documental en el área de producción se evidenció la ausencia de documentos para el control operacional y registros que no son diligenciados correctamente por el personal a cargo.

El personal realiza el registro en documentos que no se encuentran estandarizados ni incluidos en el sistema de gestión que maneja la empresa, lo que ocasiona:

- Confusiones en el uso de registros sin codificar,
- Dificultad en el control del proceso,
- Pérdida de trazabilidad.

Así mismo, se observó que debido a la falta de una adecuada capacitación al personal en el que se le presenten todas las etapas del proceso y los documentos relacionados a él, se pierde el orden lógico en la secuencia de actividades dentro de los puestos de trabajo, lo cual conduce a desplazamientos innecesarios, acumulación de materiales en proceso y una menor fluidez en la línea.

La inexistencia de diagramas de flujo, instructivos operativos y layouts funcionales contribuye a la generación de tiempos improductivos y retrabajos, afectando la eficiencia global.

2.2.1. Propuesta de mejora

Para corregir estas novedades y aplicar acciones que mantengan la estandarización a largo plazo en el área operativa se propone una estrategia basada en tres pilares:

Documentación y divulgación oportuna

La presente propuesta plantea actualizar el proceso de producción en conjunto con las áreas de mantenimiento, producción y calidad, describiendo paso a paso las etapas que lo conforman, así como también considerar los recursos y tareas críticas. La creación de registros que cuenten con codificación y sean formalizados para mantener la trazabilidad en los datos. La actualización de los instructivos operativos es importante para ayudar a los operadores y auxiliares a poder iniciar y finalizar la operación fácilmente, evitando tiempos muertos en los arranques de línea.

Se propone colocar en la planta un diagrama de flujo que resuma la secuencia y etapas del proceso para ayudar a la visualización y fácil entendimiento por parte del personal.

Toda la documentación actualizada y creada deberá ser divulgada a través de capacitaciones y se asegurará que el personal entienda mediante la aplicación de una evaluación para que aplique en sus actividades, se debe mantener la documentación como registros o instructivos cerca a los puestos de trabajo, ya sea de forma física o usando medios electrónicos como Tablet. El procedimiento deberá ser de conocimiento de todo el personal y ser evaluado para asegurar la comprensión del mismo.

Metodología 5S

Aplicar las cinco disciplinas japonesas (clasificar, ordenar, limpiar, estandarizar y sostener) en cada estación de trabajo. Para mejorar el orden, la limpieza, la organización de herramientas y la eficiencia del espacio disponible.

Auditorías internas y ciclos de retroalimentación

Para asegurar que se están cumpliendo con el flujo de un proceso estandarizado, es necesario realizar auditorías que detecten posibles desviaciones y oportunidades de mejora. Se debe incluir en el cronograma de auditorías internas, revisiones semanales conformado por un grupo que incluye a los supervisores de calidad.

En el caso de no conformidades, se deberá realizar una reunión interdepartamental en el que se analicen las causas que originaron el hallazgo, aplicar metodologías como Ishikawa o 5 por qué para determinar la causa raíz.

Finalmente, las retroalimentaciones se realizarán en reuniones cortas de 10 minutos al inicio de la jornada, lideradas por el coordinador de producción o supervisores encargados en las que se refuerce las buenas prácticas, se informen desviaciones detectadas y oportunidades de mejora.

2.3. Maquinaria: mantenimiento preventivo

El mantenimiento continuo de un proceso productivo depende de la fiabilidad de las máquinas, la fiabilidad es la probabilidad de que una máquina mantenga su correcto funcionamiento durante un tiempo determinado. Rey Sacristan [9] detalla que la continuidad del proceso se conseguirá cuando se realiza una inspección planificada antes de que el desgaste ocasione un daño en la máquina y para ello es necesario el mantenimiento preventivo, que permite detectar fallos potenciales.

Los equipos han mostrado signos de desgaste y fallas intermitentes que afectan directamente a los tiempos de producción. Si bien la planta posee un cronograma de mantenimiento preventivo, no se evidenció un control y cumplimiento, lo que ha dado lugar a paradas no planificadas. El área de mantenimiento se encuentra disponible durante toda la jornada y responde inmediatamente para realizar mantenimientos correctivos según los requerimientos de producción.

El deber ser de mantenimiento es el de realizar las actividades necesarias para que la operación no se detenga, el proceso de producción se vuelve lo más eficiente posible, genera menos productos no conformes y menos desperdicio cuando trabaja de forma continua, es por ello que una avería causada por un incumplimiento en el mantenimiento preventivo generará pérdidas económicas a la empresa, que se verán reflejadas en:

- Aumento de horas extras para cumplir con el plan de producción,
- Incremento en el desperdicio de botellas, tapas y etiquetas,
- Los repuestos y piezas se adquieren a un costo elevado debido a la urgencia por evitar paros prolongados, lo que impacta negativamente en los costos operativos,
- Retrasos en la entrega de producto obliga a modificar planificación logística para cumplir los pedidos de los principales centros de distribución.

Estas pérdidas generadas por una parada no planificada, generan la necesidad de cumplir con un plan de mantenimiento preventivo que siga el objetivo principal, la eficiencia operativa del área de producción.

El autor Sacristán R. [9] en su libro sugiere las principales eficiencias que se deben evitar para no desviar el enfoque en la eficiencia operativa:

- Realizar reparaciones de forma apresurada y sin las condiciones técnicas adecuadas.
- Asignar al personal disponible, aun cuando no cuenta con la preparación técnica requerida.
- Implementar soluciones provisionales en lugar de reparaciones definitivas.

- Extender los tiempos de reparación debido a la falta de planificación y capacitación técnica del personal.

2.3.1. Propuesta de mejora

El cumplimiento de un plan de mantenimiento preventivo asegura la detección temprana de averías y fallos potenciales que puedan detener a la máquina. Es imprescindible el cumplimiento de este para que se mantenga el proceso productivo.

Con el propósito de atenuar los efectos negativos, se sugieren las siguientes propuestas que no requieren capital de inversión y brinda un enfoque preventivo y sistemático incluyendo al personal en la resolución de problemas.

Clasificar las máquinas por criticidad

Mediante una revisión en conjunto entre las áreas de producción y mantenimiento definir los principales equipos, tomando a consideración:

- El impacto que tienen su avería o parada para la continuidad de las operaciones,
- El costo de inversión del equipo,
- El tiempo que tomará su reparación,
- El costo de las piezas y repuestos.

El área de mantenimiento deberá tomar decisiones en función a las recomendaciones y guías dadas en los manuales de máquinas, es importante registrar las piezas y repuestos críticos de las máquinas con el objetivo de responder a tiempo ante cualquier falla que detenga las operaciones.

Mediante una clasificación de los equipos por criticidad, se priorizará esfuerzo y recursos para lo importante y urgente. La clasificación ayuda a una priorización de los equipos y esto es fundamental para la operación de la empresa ya que su falla podría ocasionar impactos graves, como pérdidas financieras o riesgos para la seguridad.

La siguiente matriz de criticidad detallada en la figura 7 permite evaluar y clasificar los diferentes tipos de fallas en función de su frecuencia de ocurrencia y la consecuencia que generan sobre el proceso productivo.

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia de fallo} * \text{Consecuencia de fallo} \quad (1)$$

		Frecuencia	No interrumpe la operación. De fácil solución	Afecta parcialmente el proceso, requiere intervención sin urgencia.	Interrumpe el proceso, implica costos y paradas.	Detiene por completo la operación, genera pérdidas económicas relevantes.
		Nivel	Leve	Moderado	Significativo	Crítico
Descripción	Frecuencia	Nivel	1	2	3	4
Daño ocasional, menos de una vez al año.	Rara (Baja)	1	1	2	3	4
Daño esporádico, pero es inusual, una vez al año.	Ocasional (Media - Baja)	2	2	4	6	8
Daño se repite varias veces al año, pero no en cada operación.	Habitual (Media - Alta)	3	3	6	9	12
El daño es constante en casi todas las operaciones.	Muy Frecuente (Alta)	4	4	8	12	16

Criticidad	
Baja	
Media	
Alta	
Muy alta	

Figura 7. Matriz de criticidad para equipos y máquinas en producción.

Finalmente, se recomienda realizar un análisis de las piezas críticas definiendo criterios de criticidad como: costo, frecuencia de falla y tiempo de entrega. Con ello clasificar en críticas, semi-críticas o no críticas, para asegurar repuestos estratégicos.

Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo por máquina

Se recomienda priorizar el mantenimiento en función a la criticidad de la máquina haciendo uso de la herramienta descrita en el punto anterior.

El plan de mantenimiento preventivo es la base sobre la cual se planificarán las actividades a lo largo de un periodo definido, para que este sea efectivo se debe mantener:

- Descripción del equipo,
- Un historial documentado de las averías de las máquinas,
- Codificación e identificación de los principales equipos,
- Instructivos de uso de los equipos,
- Tiempo de duración estimado del mantenimiento,
- Descripción de las piezas que se deberán revisar,
- Valores límites de ciertos parámetros medibles en las máquinas,
- Considerar el horómetro para definir el tiempo en el que se realizará el mantenimiento preventivo.

Una vez que se hayan determinado la información enlistada en una matriz donde se puede evidenciar todo lo detallado y se encuentre revisado y aprobado por el área de mantenimiento y producción, se deberán levantar las órdenes de mantenimiento e incluir en la planificación de producción el tiempo necesario para la parada y ejecución de tareas.

Se recomienda ejecutar los mantenimientos preventivos a inicios de mes o en periodos donde baje la demanda de producto, esto se podrá realizar cuando se planifiquen los trabajos en conjunto entre producción, mantenimiento y calidad.

Los mantenimientos en máquinas críticas deberán realizarse al menos dos veces al año.

Capacitar al personal en mantenimiento autónomo

Mediante una transferencia de conocimiento entre el personal de mantenimiento y producción, levantar un cronograma de capacitación y capacitar a los operadores para promover el automantenimiento. Los operadores son las personas que están en primera línea con las máquinas, por lo que son los responsables del arranque adecuado siguiendo las instrucciones del fabricante previamente informadas, asegurará los cambios de

herramientas y piezas dentro de su alcance. Los operadores deberán tener una capacitación en el correcto arranque y parada de la máquina bajo su responsabilidad, el cumplimiento de esta capacitación deberá ser verificada por un departamento externo como el de calidad que asegure la imparcialidad.

Finalmente, se sugiere crear un manual operativo de operación, que se encuentre disponible para todas las líneas de producción, en el cual se detalle el paso a paso del correcto encendido y apagado de la máquina.

Indicadores de desempeño

Para medir el cumplimiento del plan, se sugiere manejar un dashboard para el área de mantenimiento en el que se detalle el porcentaje de cumplimiento del plan de mantenimiento de manera mensual. Esta información permitirá medir el impacto de las propuestas de mejora implementadas.

2.4. Medio ambiente: condiciones que afectan al personal

La planta se encuentra ubicada entre la altitud de 200 metros sobre el nivel del mar msnm a 400 msnm. Debido a esta altura y la vegetación abundante en el sector, las condiciones meteorológicas son un factor que influye en el aumento de calor y fatiga dentro de las instalaciones.

Un estudio realizado en 2024 por Burgos et al. [10] proporciona valores de elevación y temperatura ambiente, en el cual se observa que, para la altura de la planta detallada en el párrafo anterior la temperatura varía entre 22.3 °C a 24.5 °C, a esto se le suma una humedad relativa promedio de 91.7 %, generan condiciones que pueden incrementar la fatiga en el personal que se encuentra realizando trabajo operativo, como el levantamiento de botellones de 20 litros, aproximadamente 20 kg. Una temperatura de confort se puede

encontrar entre 18°C y 24°C para reposo y 16°C y 18°C para actividades que requieran esfuerzo.

A continuación, en la figura 8 se presentan un mapa de elevación y temperatura:

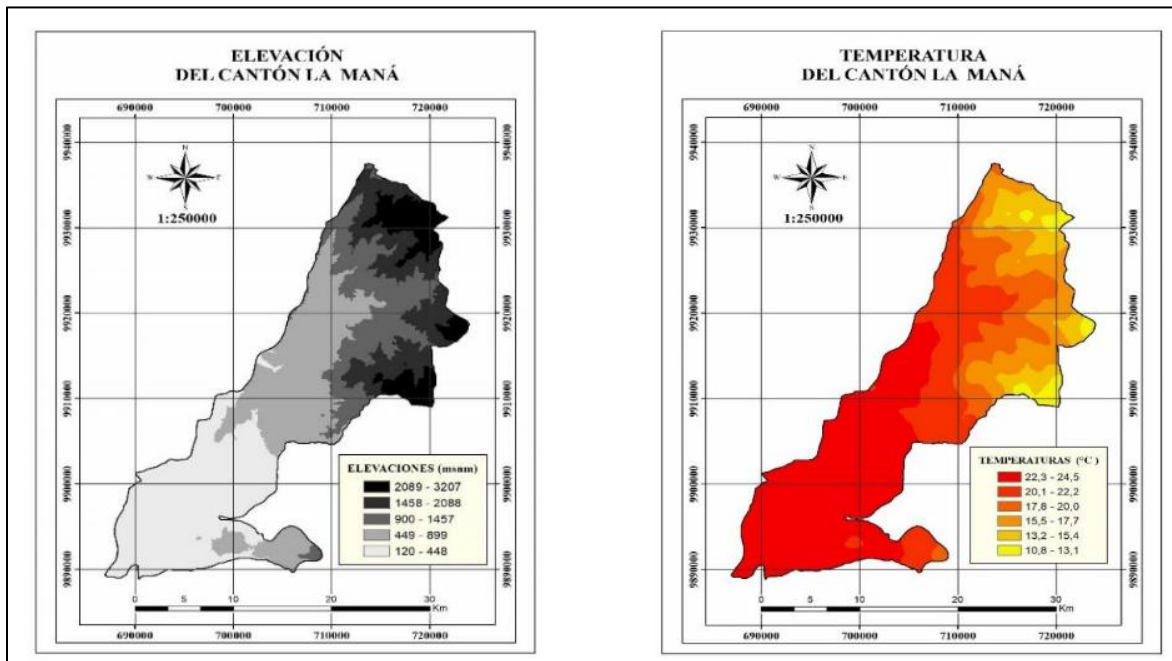


Figura 8. Mapa de elevación y temperatura del cantón La Maná. Tomado de Burgos et al. [10]

Ouyang [11] describe que los efectos combinados de la temperatura y la fatiga física son más significativos que un factor por separado y pueden dar problemas de seguridad graves, sugiriendo que la industria debería considerar las acciones para mitigar este efecto negativo en el personal. Ergo, el ambiente laboral tiene una influencia directa en el desempeño del personal.

2.4.1. Propuesta de mejora

Como medida para disminuir los efectos negativos detallados, se sugiere realizar pausas activas de 10 minutos cada 2 horas durante la jornada con el fin de asegurar que disminuir la fatiga y estrés, mediante estiramientos y ventilación. Adicional, mantener ordenado y

adecuado los espacios de descanso para que el personal pueda distraerse en el horario del almuerzo. Esto ayudaría a mantener el nivel de alerta y reducir errores por fatiga.

Mantener puntos de hidratación cercanos al área de embotellamiento de botellones de 20 litros.

Se puede incluir soluciones que no requieran inversión considerable:

- Incorporar tapetes antifatiga en zonas donde el operario permanece de pie largos periodos.
- Revisar la disposición de herramientas y materiales para que estén al alcance visual y manual, evitando movimientos innecesarios o posturas forzadas. Asegurar que cada máquina cuente con sus propias herramientas.

2.5. Materiales: Problemas con herramientas y recursos

La disponibilidad de herramientas y su debida organización son variables clave para dar respuestas prontas y efectivas a las novedades que se presentan en producción.

En planta se ha encontrado que el personal presenta retrasos en la solución de problemas de averías en las máquinas debido a la poca disponibilidad, estado y ubicación de las herramientas necesarias para la operación.

En ocasiones los tiempos muertos por cambios de formato y las paradas no planificadas se ven influenciadas por:

- Herramientas incompletas o deterioradas,
- Herramientas compartidas entre puestos de trabajo, sin asignación fija,
- Ausencia de un sistema de reposición o control de inventario de herramientas (como repuestos menores, llaves y destornilladores),
- Desorganización en el puesto de trabajo,
- Búsqueda de elementos que deberían estar disponibles en el área de trabajo.

Esto ocasiona demora en el tiempo de respuesta, generando pérdidas por búsqueda, improvisación de las actividades y postergación de las tareas, afectando principalmente a la disponibilidad de máquina, incrementando los tiempos de paradas no planificadas PNP.

2.5.1. Propuesta de mejora

Considerando que la falta de orden es una causa que ha originado retrasos en los tiempos de respuesta se recomienda iniciar con la implementación de un programa de 5's que involucre a todo el personal, haciéndolo parte de la cultura de la organización.

Para el área de manufactura como parte principal de la cadena de suministro es de gran importancia la implementación de esta metodología.

En el estudio realizado en 2021 por Crisóstomo V. et al. [12] se puede verificar mediante la comparación de auditorías internas realizadas antes y después de aplicar las 5's el orden y mejoraron notablemente, además de reducir los tiempos innecesarios por búsqueda de materiales y por transporte del personal.

Implementación de 5's

La metodología de las 5's es una filosofía japonesa que basa sus principios en orden, limpieza, estandarización y disciplina en el área de trabajo.

Cada S tiene un significado proveniente de su origen japonés, los autores Socconini L. y Barrantes [13] ofrecen una definición precisa y detallada de la metodología, destacando sus principios fundamentales:

- Seiri (Seleccionar). – retirar del área de trabajo todo lo que no se usa en la actividad productiva, clasificar y mantener todo lo que si es imprescindible. Almacenar únicamente lo necesario y separar el resto.

- Seiton (Organizar). – identificar y organizar todos los elementos que se usan, facilitar la forma de localizarlos colocándolos en lugares accesibles. Es importante garantizar que estos elementos permanezcan en su lugar, no se mezclen entre sí ni sufran daños.
- Seiso (Limpiar). – mantener en buenas condiciones los equipos y mantener el orden y limpieza del puesto de trabajo, se debe hacer parte de la cultura de la empresa. Además, es importante apoyar con capacitaciones y proporcionar los suministros necesarios.
- Seiketsu (Estandarizar). – llevar de forma consistente las actividades, mediante el seguimiento por auditorías internas, procedimientos, registros de orden y limpieza.
- Shitsuke (Seguimiento). – fomentar el compromiso con el personal para convertirlo en un hábito. Es importante el cumplimiento de las normas de trabajo y usar los suministros necesarios.

De manera esquemática se resume la metodología de las 5S' en Figura 9.

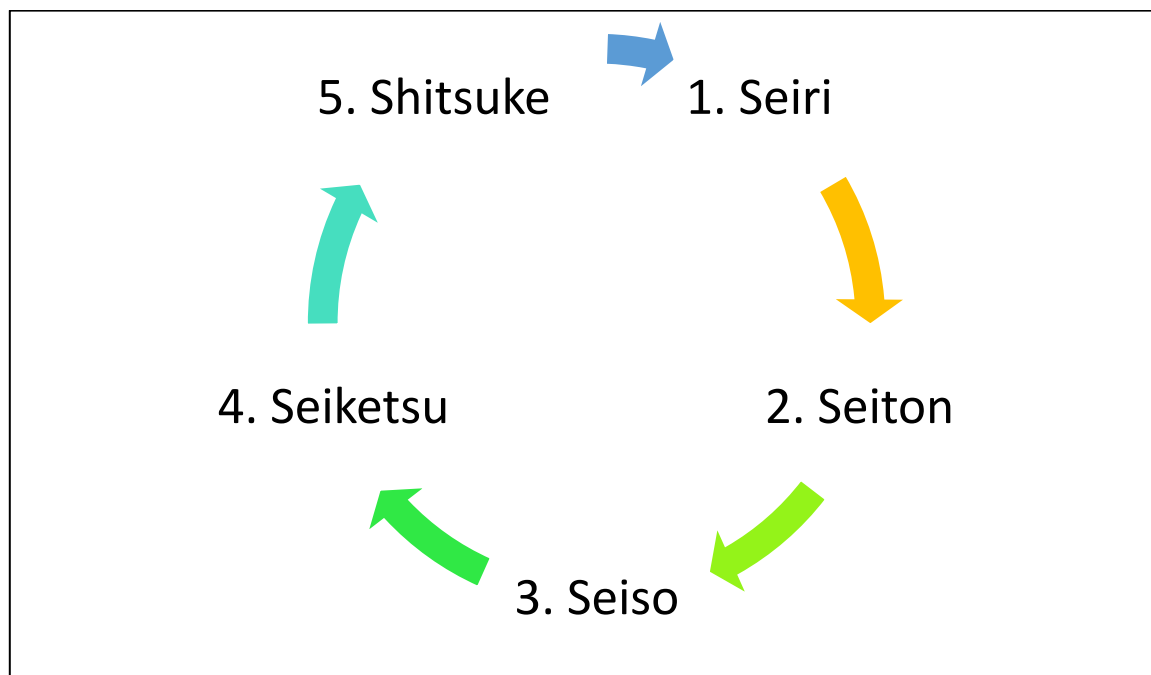


Figura 9. Metodología de las 5's.

2.6. Mano de obra: Capacitación y autonomía operativa

Uno de los factores que influyen en la productividad de cualquier organización son las capacidades técnicas, nivel de preparación y autonomía del personal que la conforman. Sin la existencia de estas habilidades, las actividades realizadas en el día a día tenderían a ejecutarse con errores que hagan que el proceso se aleje de lo estandarizado y retrase el cumplimiento de objetivos del área.

El área de manufactura cuenta con un cronograma de capacitación en el que se imparten temas relacionados con: inocuidad, análisis de peligros y puntos críticos de control, buenas prácticas de manufactura, higiene personal y manipulación de materias primas, principalmente. Sin embargo, se ha identificado una oportunidad de mejora al evidenciar una falta de capacitación estructurada en procedimientos operacionales, resolución de problemas y metodologías de mejora continua como kaizen y 5's. Este tipo de conocimiento se adquiere por experiencia o a través de compañeros, lo que genera desigualdad en el nivel de habilidades entre el personal operativo.

Además, el personal tiende a depender de los supervisores para tomar decisiones simples, lo que ralentiza la operación y reduce la eficiencia. Esta situación se agrava cuando no hay personal experimentado en el turno, exponiendo a la línea a paradas prolongadas o retrabajos.

Se han encontrado las principales causas que afectan al desarrollo de habilidades técnicas y toma de decisiones en el personal operativo:

- Falta de un plan de capacitación formal y continuo con temas relacionados a operaciones en planta y mejora continua,
- Escasa documentación técnica como procedimientos e instructivos, accesible al personal,
- Baja participación de los operarios en la solución de problemas.

Un estudio realizado en 2022, donde Anand J. et al. [14] estudia el impacto positivo de la capacitación de los trabajadores en la eficiencia y eficacia, producto del estudio obtuvo los siguientes resultados:

- Más del 90% de los empleados perciben que la capacitación mejora sus habilidades y desempeño.
- Se encontró una fuerte correlación positiva entre la capacitación y la satisfacción laboral, el compromiso organizacional y la reducción en la intención de rotación.
- Las áreas donde la capacitación tiene mayor impacto son: eficiencia, toma de decisiones, conocimientos organizacionales y métodos de trabajo.
- La capacitación contribuye directamente a alcanzar los objetivos organizacionales y fortalece la adaptabilidad de los empleados.

Frente a las brechas identificadas en el desarrollo de habilidades técnicas, toma de decisiones y participación del personal operativo, se plantea una propuesta de mejora enfocada en fortalecer la formación continua en planta.

La propuesta se sustenta en la necesidad en planta y la evidencia empírica que demuestra el impacto positivo de la capacitación sobre el desempeño y la adaptabilidad del personal.

2.6.1. Propuesta de mejora

La capacitación y el desarrollo tienen un impacto positivo significativo en el desempeño laboral, la satisfacción, el compromiso y la productividad de los empleados. Se recomienda invertir de manera estratégica y continua en el desarrollo de su personal. Las capacitaciones pueden ser impartidas por el personal de calidad, mantenimiento y producción de cargos medios a altos que cuenten con experiencia previa.

Se propone el siguiente proceso de capacitación:

1. Evaluación de necesidades.
2. Diseñar el programa de capacitaciones con objetivos claros.
3. Definir la metodología de capacitación (presencial o en línea).
4. Evaluar y dar seguimiento de resultados.

Antes de iniciar se debe alinear los programas de capacitación con las necesidades reales del personal.

Una vez que las necesidades hayan sido determinadas, se recomienda capacitar al personal a inicios de mes, debido a que es el momento en el que la producción es menor y se puede tomar entre 30 minutos a 1 hora entre la jornada, evitando generar horas extras. La capacitación debe ser considerada en la planificación semanal, deben ser continuas, didácticas e inclusivas, basadas en múltiples metodologías como la entrega de folletos o realización de casos prácticos que involucren a todo el personal.

Las capacitaciones deben transmitir el mensaje de que no son una obligación tediosa, sino una oportunidad valiosa para el desarrollo del colaborador. Para lograrlo, el capacitador debe adoptar una actitud positiva, mostrar entusiasmo por el tema y apoyarse en herramientas didácticas que hagan la sesión dinámica e interactiva, evitando así el desinterés o el aburrimiento.

La Tabla 4 contiene los temas sugeridos para incluir en el cronograma:

Tabla 4. Temas del plan de capacitación para operarios de planta.

Tema de capacitación	Objetivo	Responsable	Enfoque
Operación segura y eficiente de maquinaria	Enseñar el correcto uso de las máquinas de la línea (soplado, llenado, etiquetado), arranque y parada segura, interpretación de alarmas y buenas prácticas operativas.	Jefatura o coordinación de mantenimiento	Práctico, con instructivos visuales por máquina.
Mantenimiento autónomo básico (TPM)	Capacitar al personal en tareas simples de mantenimiento como limpieza, lubricación, inspección visual y detección temprana de fallas.	Jefatura de mantenimiento con apoyo de un capacitador externo.	Crear cultura de cuidado del equipo y reducir fallas prevenibles.
Aplicación de la metodología 5's en el puesto de trabajo	Ordenar, organizar y mantener limpio el entorno operativo para mejorar eficiencia y seguridad.	Jefatura o coordinación de calidad.	Actividades prácticas por estaciones con seguimiento visual.
Identificación y reporte de problemas operativos	Enseñar a detectar anomalías, registrarlas correctamente y comunicar acciones correctivas.	Coordinación de calidad y producción	Introducción al pensamiento estructurado (PDCA, Ishikawa básico, checklist).
Cultura de mejora continua y trabajo en equipo	Motivar al personal a proponer mejoras, participar en reuniones de piso y círculos de calidad.	Jefatura de calidad	Casos reales, dinámicas participativas y reconocimiento de iniciativas.

3. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DEL INDICADOR OEE

3.1. Introducción

En este capítulo se presenta la propuesta de implementación del indicador OEE (Overall Equipment Effectiveness) como herramienta de control y eficiencia operativa que permitirá cuantificar las pérdidas de eficiencia y desviaciones con calidad, que proporcionará información para orientar acciones de mejora continua en la planta embotelladora.

Tomando como iniciativa la mejora continua en los procesos de la empresa nació la idea de implementar un indicador que permita cuantificar: calidad, eficiencia y disponibilidad de máquina, a fin de obtener información y con ello ejecutar planes de acción sobre las causas que mayor afectación generen al proceso productivo.

Barreras [15] establece que la mejora continua aplicada en una empresa ofrece una cultura de disciplina, generando procesos de calidad y proporcionando una ventaja competitiva en el mercado laboral. Cuando una organización opta por la implementación de una cultura de mejora continua se asegura que la gestión estratégica tome decisiones basadas en principios de calidad.

3.2. Fundamento teórico del OEE

Días [16] detalla que el Overall Equipment Effectiveness OEE (Eficiencia Global de Equipos), es un indicador que fue creado por Seichi Nakajima en el siglo XX. Es un valor numérico presentado como porcentaje que fluctúa entre un rango de 0% a 100%.

Esta métrica considera las variables de: calidad, disponibilidad de máquina y eficiencia. Mohammed [17] y Haddad [18] definen los componentes del indicador OEE.

- **Rendimiento.** - mide la eficiencia con la que un equipo produce productos en comparación con su capacidad máxima teórica o velocidad nominal.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Producción real}}{\text{Producción ideal a velocidad nominal}} \quad (2)$$

Donde,

Producción real: Es la cantidad de productos que realmente se produjeron durante la orden de producción.

Producción ideal a velocidad nominal: Es la cantidad máxima de productos que la línea debería producir si estuviera funcionando a su máxima capacidad y en funcionamiento continuo.

- **Calidad.** - considera la cantidad de producto mal fabricado y no vendible por defectos en sus características comparado contra todos los productos elaborados por una orden de producción.

$$\text{Calidad} = \frac{\text{Número de unidades de producto conforme}}{\text{Número de unidades totales producidas}} \quad (3)$$

Donde,

Número de unidades de producto conforme: Son los productos que cumplen con los estándares de calidad y pueden salir a la venta.

Número de unidades totales producidas: es la cantidad de productos que realmente se produjeron durante la orden de producción incluyendo los conformes y no conformes.

- **Disponibilidad de máquina.** - este componente considera el tiempo que una máquina estuvo operando y lo compara con el tiempo en el que tuvo que trabajar la máquina sin ninguna interrupción.

En este componente se consideran las paradas planificadas (PP) y las paradas no planificadas (PNP)

$$Disponibilidad = \frac{Tiempo\ real\ de\ producción}{Tiempo\ Disponible} = \frac{Tiempo\ Disponible - PNP - PP}{Tiempo\ Disponible} \quad (4)$$

Donde,

Tiempo real de producción: Es el tiempo que en el que la línea estuvo operando sin novedades y de forma continua.

PNP: acrónimo para Paradas No Planificadas, es el tiempo de interrupciones inesperadas causadas por fallas en equipos, problemas de procesos u otros eventos imprevistos que interrumpen la producción.

PP: acrónimo para Paradas Planificadas, es el tiempo de interrupciones en la producción que se anticipan y se programan para realizar mantenimiento preventivo, limpieza, capacitación, alimentación, cambio de producto u otras tareas planificadas.

Tiempo disponible: Es el tiempo total en el que la línea podría haber estado operando sin paradas por averías.

El producto de los tres componentes detallados da el valor del OEE.

$$OEE = Rendimiento * Calidad * Disponibilidad \quad (5)$$

Singh et al. [19], detalla que conocer a las principales pérdidas que se asocian a la disponibilidad de máquina y en conjunto con la estandarización de procesos es una actividad de suma importancia para garantizar el funcionamiento efectivo de una empresa. Una línea de producción activa y en constante control tenderá a la excelencia con el menor costo posible, esto va de la mano con una capacitación adecuada de la mano de obra que asegure una aplicación sistemática y sostenible. En Singh et al. [19] asegura también que este

indicador junto con metodologías como 5 S's, Just in time JIT y Kaizen, pueden reducir ineficiencias en los procesos.

Uno de los objetivos del OEE es comparar a la línea productiva que se está midiendo con los estándares internacionales y evaluar que tan competitiva puede llegar a ser. Tomando como referencia la investigación de Herrera [20], en la Tabla 5 se presenta un resumen, donde se relaciona los valores de OEE y la competitividad de una empresa.

Tabla 5. Clasificación del OEE por su valor. Tomado de [21].

VALOR DE OEE	CALIFICACIÓN	OBSERVACIONES	COMPETITIVIDAD
OEE<64%	Inaceptable	Se producen importantes pérdidas económicas.	Muy baja competitividad
65%<OEE< 74%	Regular	Aceptable sólo si se está en proceso de mejora. Pérdidas económicas.	Baja competitividad
75%<OEE< 84%	Aceptable	Continuar la mejora para superar el 85% hacia la World Class. Ligeras pérdidas económicas.	Competitividad ligeramente baja
85%<OEE< 94%	Buena	Entra en valores de World Class.	Buena competitividad
OEE>95%	Excelencia	World Class.	Excelente competitividad

3.3. Justificación de la propuesta

La implementación y mantenimiento del indicador OEE en una organización permite obtener información y cuantificar el estado actual del proceso productivo, a partir de donde se podrán tomar decisiones basada en información precisa y mediante un adecuado análisis de causa – efecto se podrán trabajar sobre las principales causas que afecten al indicador. La implementación del OEE es una aplicación sistemática e integral que involucrará a las áreas de mantenimiento, producción y calidad. Esto se corrobora en la investigación de Rodríguez [22] y Canahua [23], donde detalla que la implementación correcta del OEE permitirá tomar decisiones relacionadas con producción, costos y mermas, da información sobre la influencia del operador en la eficiencia de línea y la disponibilidad de la máquina.

El autor Dobra et al. [24] presenta de forma concisa varios de los beneficios que trae a la empresa la correcta aplicación del OEE con una cultura de mejora continua, detallando principalmente:

- Es una métrica que permite conocer de forma global el trabajo en funcionamiento de producción y su sinergia con las áreas de apoyo.
- Es una herramienta para controlar y mejorar continuamente la eficiencia del proceso productivo, enfocado en el objetivo de eliminar fallas, mermas y defectos.
- Sirve como un estándar y referencia para comparar el estado de la empresa con otras empresas líderes en el mercado de consumo masivo.
- Disminuye o elimina seis grandes tipos de pérdidas (fallos de equipo, ajustes, paradas menores, reducción de velocidad, defectos y pérdidas durante la puesta en marcha) y mejora la efectividad en los procesos productivos.

Para el estudio, al evidenciar oportunidades de mejora en uno de los elementos de la cadena de suministro, como lo es producción, se requiere disminuir los costos de producción, disminuir mermas y estandarizar un proceso que permita aplicar la metodología de mejora continua de forma sistemática e integral. Esto se logrará mediante un indicador que presente

la realidad del proceso productivo y que permita tomar acciones correctivas ante las principales causas que afecten a la calidad, disponibilidad y rendimiento en producción.

Practicar la disciplina y estandarización de procesos durante la propuesta de implementación del OEE ofrecerá una ventaja competitiva a la planta de embotellamiento, siendo más eficiente y mejorando los procesos continuamente, y finalmente teniendo una mayor efectividad de línea de producción que permita producir más en menos tiempo y optimizando recursos.

3.4. Metodología

Para la propuesta de implementación del indicador OEE la metodología empezará enfatizando el análisis de las líneas que embotellan los productos que mayor demanda tienen. Además, se considerará la frecuencia de paradas no planificadas que tiene la línea.

Luego, se continuará con el levantamiento de documentación técnica de apoyo como instructivos, velocidades estándar, tipos de fallas y registros para la toma y almacenamiento de datos de OEE que permitan obtener la información concisa, así como también el almacenamiento en una base de datos que permita visualizar la tendencia de los resultados. Previo el inicio de la propuesta es importante involucrar al personal operativo en producción, mantenimiento y calidad, por lo que se capacitará y transmitirá la importancia y beneficios del indicador, así como la gestión integral y multidisciplinaria entre las áreas de operaciones.

Una vez determinadas las líneas que se requieren mejorar y que se haya comunicado al personal involucrado, se procederá con el registro de datos, incluyendo cantidad producida, tiempos de paradas planificadas y no planificadas y producto que haya salido no conforme de la línea de producción. Se consolidará los datos obtenidos para obtener la tendencia del indicador OEE y se comparará con el valor objetivo, de esta forma se conocerá el estado del proceso.

Con la información consolidada se podrán conocer los principales motivos que ocasionan retrasos en la línea de producción, para esto, se tratará con un análisis causa raíz que determine las causas que mayor impacto tienen en los resultados. Se evaluarán los resultados entre las áreas de calidad, mantenimiento y producción.

La propuesta finalizará con la entrega de un dashboard que permita hacer un seguimiento mensual del indicador, se ofrecerá la posibilidad de extender gradualmente a otras líneas, integrándolo al sistema de control de producción.

Se establecerán rutinas de revisión mensuales para el seguimiento de los resultados.

3.4.1. Elección de línea de estudio

Esta primera etapa en la propuesta de implementación del indicador OEE consiste en seleccionar la o las líneas de producción que servirán como punto de partida para la aplicación piloto. Esta elección no es aleatoria, sino basada en experiencia, criterios técnicos y estratégicos que aseguren que los resultados obtenidos sean representativos, gestionables y útiles para replicar la metodología en el resto de la planta.

Para este trabajo de titulación, la elección de las líneas piloto se basó en los siguientes criterios:

- **Criticidad en la línea de producción:** Se priorizó la línea que tiene máquinas cuya eficiencia impacta directamente en el ritmo global del proceso. Esto corresponde al llenado, etiquetado y empacado, que son máquinas con influencia directa en el cuello de botella.
- **Demanda de producción:** Se seleccionaron las líneas de producción que presentan un nivel de actividad superior al 30 % del tiempo semanal considerando 16 horas de trabajo dividido en 2 turnos, incluyendo sábados, debido a la alta demanda. Esta elección se fundamentó en los volúmenes de venta reportados por el área comercial, que identificó estos SKU (Unidad de Mantenimiento de Inventario del inglés “Stock Keeping Unit”) como

los más requeridos por el mercado, lo cual exige mantener una producción constante para cumplir con los pedidos programados.

- **Historial de paradas frecuentes:** Se consideraron equipos que presenten altas tasas de paro no planificado, ya sea por fallas técnicas o problemas operativos. Esto permitirá analizar pérdidas reales y detectar oportunidades de mejora.
- **Facilidad de medición y supervisión:** Se seleccionará una línea que tenga datos disponibles, fácil acceso a operarios y supervisores, y posibilidad de hacer observación directa o recolección manual de información sin requerir automatización.
- **Disponibilidad del personal operativo para colaborar:** La selección también considera el compromiso del personal del área, ya que el éxito de la medición piloto depende de una correcta recolección de datos y del seguimiento de procedimientos e instructivos.

Luego de evaluar los factores antes mencionados, se propone seleccionar como líneas piloto la línea de producción de botellones y la línea de producción de botellas de 500 ml, debido a las siguientes razones:

1. Son las líneas que producen los SKU's que mayor demanda poseen.
2. En estas líneas se encuentran las máquinas con mayor índice de paro y variabilidad de producción, lo cual representa una oportunidad clara de mejora.
3. El personal a cargo cuenta con experiencia y disposición para participar en la prueba piloto.

3.4.2. Levantamiento de documentación técnica

Una vez seleccionadas las líneas piloto, es necesario realizar un levantamiento detallado de la documentación técnica y operativa que permitirá estructurar correctamente el cálculo del OEE. Esta etapa es fundamental, ya que estandarizará la propuesta y permitirá obtener información ordenada y trazable del proceso.

El levantamiento de datos se debe ejecutar de manera conjunta entre el área de producción, mantenimiento y calidad, con el fin de asegurar que los valores obtenidos reflejen con precisión la operación real de la línea.

Formato para registro de datos

Como parte de la propuesta de implementación del sistema de medición OEE, se elaboró un formato de registro diario de producción (ver Anexo 1), diseñado para registrar de forma sistemática las variables operativas necesarias para calcular la eficiencia de los equipos en cada turno.

Este formato incluye campos para registrar datos como: número de orden de fabricación, lote, cantidad requerida y producida, tiempo efectivo de operación, número de empleados involucrados, descripción de fallas por periodos de tiempo y observaciones relevantes. El registro se deberá llenar al finalizar la orden de producción de un lote. La información recolectada permitirá identificar pérdidas de disponibilidad, rendimiento y calidad y será usada posteriormente en una base de datos donde se almacenará la información para el análisis de tendencias y la toma de decisiones enfocadas en la mejora continua. Además, el registro está estructurado para ser utilizado directamente por el personal operativo y supervisores, promoviendo la participación activa del equipo en el control del desempeño de la línea.

Código de fallas

Con el objetivo de estandarizar el registro de paradas planificadas y no planificadas que afectan la eficiencia operativa, se desarrolló un listado de códigos de falla, presentado en el Anexo 2. Este documento clasifica las novedades más comunes registradas en planta y las organiza según su origen (mecánico, eléctrico, producción) y su impacto en el indicador OEE (disponibilidad, eficiencia o calidad).

Cada novedad en producción deberá ser identificada por el personal mediante el código correspondiente, registrando además el tiempo exacto (en minutos) de duración de la

parada no planificada. Esta codificación facilita la coordinación entre áreas, estandariza y clasifica las paras, y permite almacenar la información en una base de datos.

Base de datos de OEE

Para facilitar el almacenamiento de información se desarrolló una base de datos operativa en Excel (ver Anexo 3), la cual permite almacenar y calcular automáticamente el indicador OEE de cada turno productivo. Este archivo está diseñado para tomar como insumo los datos recolectados mediante el registro diario presentado en el Anexo 1, incluyendo información sobre unidades producidas, tiempos de operación, cantidad de unidades no conformes y paradas ocurridas. Además, incorpora la lista de códigos de fallas del Anexo 2, lo que permite estandarizar la identificación de las causas de pérdida y facilitar su clasificación según el tipo de impacto (disponibilidad, rendimiento o calidad), generando reportes mensuales para análisis con jefaturas y gerencias.

La automatización del cálculo del OEE se logra a través de fórmulas integradas y el uso de macros que permite obtener resultados inmediatos.

Dashboard para presentación de datos

En el Anexo 4 se presenta un complemento a la base de datos de cálculo y al sistema de registros operativos, es el dashboard visual de OEE, el cual será colocado en un área visible de la planta, accesible para todo el personal. Este tablero permite registrar diariamente el valor del OEE consolidado por línea.

El objetivo principal es fomentar la transparencia de la información, promover la cultura de mejora continua y generar conciencia operativa en todo el equipo. Su actualización diaria permitirá a operarios, supervisores y jefaturas identificar rápidamente desviaciones en el desempeño, visualizar tendencias y tomar decisiones correctivas oportunas.

3.4.3. Capacitación al personal involucrado

La correcta implementación del sistema OEE requiere no solo de herramientas de registro, control y análisis, sino también de la preparación adecuada del personal que participará en la toma, validación y uso de los datos. Por lo tanto, la capacitación será el pilar fundamental para asegurar la calidad de la información y fomentar la participación activa de los distintos niveles operativos. La capacitación tiene como objetivo el garantizar que todo el personal involucrado en la operación y supervisión de la línea comprenda el concepto y la importancia del OEE, así como su aplicación práctica en planta y toma de decisiones. Se busca unificar criterios para el registro de datos y fomentar la participación activa en la implementación.

De igual manera, la capacitación pretende fortalecer la cultura de mejora continua, de modo que el indicador OEE sea utilizado no solo como una métrica de control, sino como una herramienta para identificar oportunidades, reducir pérdidas y optimizar la eficiencia operativa. Generando una competencia positiva, buscando continuamente mejorar los resultados en planta.

Población objetivo

La capacitación estará dirigida a:

- **Operadores de máquina**, responsables de registrar la información diaria en el formato establecido (Anexo 1).
- **Supervisores de turno**, encargados de validar los registros, verificar que los códigos de falla se apliquen correctamente (Anexo 2) y cargar información en base de datos (Anexo 3).
- **Personal de mantenimiento**, que debe conocer cómo la información registrada se vincula con el diagnóstico de problemas recurrentes.
- **Jefaturas de producción y calidad**, responsables de analizar los resultados y definir acciones correctivas y preventivas.

Metodología de capacitación

Se propone un enfoque **teórico-práctico** con las siguientes estrategias:

1. **Sesiones presenciales breves** (30–45 minutos), adaptadas por turno, para no interrumpir el flujo productivo.
2. **Presentaciones visuales y material didáctico** con ejemplo de metodología y aplicación en planta, se propone la entrega de un tríptico para facilidad en la consulta de información. Como apoyo se elaboró un tríptico informativo (ver Anexo 5) diseñado para explicar de forma clara y visual el concepto del OEE, su método de cálculo, sus beneficios y las pautas para su implementación en planta.
3. **Uso de instructivo**, como guía para el ingreso de información a la base de datos.

3.4.4. Ejecución de prueba piloto

La prueba piloto constituye la primera aplicación práctica del indicador OEE en planta. Su objetivo es validar la metodología de registro, medición y análisis antes de escalarla al resto de las líneas de producción.

La ejecución de la prueba piloto contempla las siguientes etapas:

1. **Preparación del entorno:** Verificación del correcto funcionamiento de las máquinas, disponibilidad de formatos de registro (Anexo 1) y codificación de fallas (Anexo 2).
2. **Capacitación puntual previa:** Revisión rápida con el personal sobre el uso de registros y el significado de cada indicador.
3. **Recolección de datos en tiempo real:** Durante un periodo de prueba definido (una semana o varios turnos consecutivos), se registrarán todas las variables necesarias para el cálculo del OEE, incluyendo tiempos de operación, paradas, unidades producidas y defectos.

4. **Monitoreo continuo:** los supervisores validarán en planta que el registro de datos sea correcto y consistente.
5. **Evaluación de la experiencia operativa:** Se recopilarán observaciones del personal sobre posibles mejoras en los formatos y toma de datos.

Esta fase permite detectar inconsistencias en la captura de datos, verificar que los códigos de falla sean aplicados correctamente y confirmar que el cálculo automático en la base de datos (Anexo 3) arroje resultados coherentes.

3.4.5. Análisis de datos

Finalizada la fase de recolección de datos en la prueba piloto, se procede a un análisis con el fin de obtener información confiable y accionable que permita orientar las decisiones de mejora. Esto garantizará que los resultados no se limiten a cifras aisladas, sino que se conviertan en un diagnóstico claro del desempeño de la línea.

Todos los registros diarios obtenidos durante el periodo de prueba se integran en la base de datos desarrollada en Excel (Anexo 3), la cual calcula el indicador OEE en base a sus tres componentes: disponibilidad, rendimiento y calidad.

Clasificación de fallas y pérdidas

Las paradas y defectos registrados se clasifican según el catálogo de códigos del Anexo 2, agrupándolos por tipo de pérdida:

- **Disponibilidad:** fallas no planificadas, averías, tiempos de espera por insumos, cambios de formato prolongados.
- **Rendimiento:** disminución de la velocidad de producción respecto a la velocidad nominal, microparadas, ajustes repetitivos.
- **Calidad:** unidades defectuosas, reprocesos.

Uso de diagramas de Pareto

Para priorizar las causas que generan mayor impacto negativo, se aplicará el principio de Pareto (80/20). Con los datos clasificados, se generarán gráficos en los que las fallas se ordenan de mayor a menor impacto en el indicador OEE, calculando su contribución acumulada.

- **Objetivo:** identificar las pocas causas críticas que concentran la mayor parte de las pérdidas, de modo que las acciones de mejora se focalicen en ellas.
- **Aplicación:** se elaborarán tres diagramas de Pareto independientes, uno para cada componente del OEE, permitiendo diferenciar si las pérdidas se deben principalmente a disponibilidad, rendimiento o calidad.

En la figura 10, a manera de ejemplo se presenta un gráfico de Pareto, el gráfico muestra la clasificación de las principales fallas registradas durante el periodo de prueba piloto, ordenadas según el tiempo total perdido. La línea roja representa el porcentaje acumulado, permitiendo identificar que un pequeño número de causas concentra la mayor parte de las pérdidas, en concordancia con el principio 80/20.

En el ejemplo presentado, las causas que concentran la mayor parte de las pérdidas y, por lo tanto, deberían recibir prioridad en las acciones correctivas son las tres primeras: avería mecánica, falta de insumos y cambio de formato prolongado. Estas tres causas, según el gráfico, acumulan aproximadamente el 80 % del tiempo total perdido, lo que significa que concentrar esfuerzos en ellas es la manera más eficiente de mejorar el OEE global.

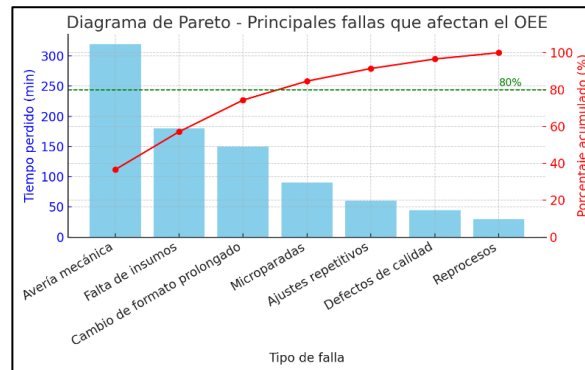


Figura 10. Ejemplo de Diagrama de Pareto de fallas que afectan el OEE.

4. MATERIALES Y METODOLOGÍA

4.1. Materiales utilizados

Para la ejecución del presente trabajo se emplearon registros que facilitaron la recolección de datos en la planta de embotellamiento, así como también se utilizó una hoja en Excel que facilitó el procesamiento de la información. Estos materiales fueron seleccionados estratégicamente para garantizar la confiabilidad de los resultados y la aplicabilidad de la propuesta de implementación del OEE.

4.1.1. Registro diario

La toma de datos se realizó en la prueba piloto, los responsables de registrar la información diariamente fueron los supervisores de producción, mientras que el área de calidad realizó el seguimiento que asegure la calidad y confiabilidad de datos.

Para el registro de datos se usó como guía la planificación mensual para el mes de julio e inicios de agosto, con el fin de conocer los días en los que se produjeran botellones de 20 litros y botellas de 500 ml.

Se utilizó el registro impreso (Anexo 1) para ser completados por los operadores de máquina y verificado por los supervisores, en estos registros se documentó información clave como horas de operación, tiempos de paro, unidades producidas, rechazos y observaciones. Para cada parada planificada o no planificada el personal hizo uso del catálogo de fallas (Anexo 2) que estandarizó la clasificación de los principales eventos que afectan la operación.

En el Anexo 1, se detalló información relacionada a toda la orden de producción, como la cantidad producida, las máquinas utilizadas, el lote, fecha y cantidad de personal; esta información además de aportar para el indicador OEE permite dar trazabilidad al proceso productivo. En la figura 11 se muestra un ejemplo del registro de datos diseñado para la

planta, esta información se alimenta a una base de datos que realiza el cálculo de forma automática.

ORDEN FABRICACIÓN:	L03-19125	RECETA:	524	FECHA FABRICACIÓN:	10/07/2025
DESCRIPCIÓN:	Paca 12 Unidades 500ml SinGas				
CANTIDAD REQUERIDA:	40140				
CANTIDAD PRODUCIDA:	39848				

MANO DE OBRA	
N° Empleados	Tiempo Real
9	6:11

MÁQUINAS	
Descripción Máquina	Operador
Sopladora	Operador 1
Llenadora	Operador 2
Etiquetadora	Operador 3
Horno termoencogido	

HORA INICIO	06:15	TURNO	1
HORA FINAL	12:26		

TURNO 1	FALLAS								
HORAS	117	120	124	132	123				
05:00 - 05:30									
05:30 - 07:30	30	10	5						
07:30 - 09:30					30				
09:30 - 11:30									
11:30 - 13:30				5					
13:30 - 15:30									
15:30 - 17:30									
17:30 - 19:30									

Figura 11. Ejemplo de registro diario para cálculo del OEE.

4.1.2. Base de datos en Excel

La base de datos en Excel (Anexo 3) constituye la herramienta para el procesamiento y consolidación de la información recolectada en planta. Su diseño permite integrar los registros diarios documentados por los operadores (Anexo 1) y los códigos de fallas estandarizados (Anexo 2), transformando los datos brutos en indicadores de gestión.

La herramienta, de fácil uso, se encuentra conformada por distintas hojas de trabajo que incluyen:

- **Ingreso de datos:** espacio donde se cargan los registros diarios de producción, tiempos de operación, paros y unidades defectuosas.
- **Clasificación de fallas:** tablas que almacenan todos los eventos por código, facilitando su análisis y la identificación de las principales causas de pérdida.
- **OEE:** indicador calculado en base a la información ingresada para ser usado en presentación en el dashboard.

En la figura 12 podemos observar una captura de pantalla de la base de datos que se genera en el archivo de Excel, donde almacena todas las causas de paradas y el tiempo en minutos.

FECHA	RECETA	FORMATO	FALLA	CAUSA	TIEMPO [min]
4/8/2025	342	20 litros	130	Para por falta de agua	60
4/8/2025	342	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	60
4/8/2025	342	20 litros	115	Preparación de Linea (Alistamiento de material)	15
4/8/2025	342	20 litros	101	Falla mecánica llenadora	27
5/8/2025	342	20 litros	130	Para por falta de agua	45
5/8/2025	342	20 litros	101	Falla mecánica llenadora	9
5/8/2025	342	20 litros	128	Calibración de la línea	15
5/8/2025	342	20 litros	115	Preparación de Linea (Alistamiento de material)	5
5/8/2025	342	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	60
6/8/2025	342	20 litros	130	Para por falta de agua	420
6/8/2025	342	20 litros	128	Calibración de la línea	15
6/8/2025	342	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	60
6/8/2025	342	20 litros	101	Falla mecánica llenadora	45
5/7/2025	305	500 ml sin gas	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	60
5/7/2025	305	500 ml sin gas	115	Preparación de Linea (Alistamiento de material)	15
5/7/2025	305	500 ml sin gas	128	Calibración de la línea	15
5/7/2025	305	500 ml sin gas	100	Falla mecánica sopladora	10
5/7/2025	305	500 ml sin gas	102	Falla mecánica tapadora	10
5/7/2025	305	500 ml sin gas	106	Falla eléctrica tapadora	10
5/7/2025	305	500 ml sin gas	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	60
5/7/2025	305	500 ml sin gas	128	Calibración de la línea	15

Figura 12. Base de datos con clasificación de fallas.

La Figura 13, muestra una captura de pantalla de la base de datos de Excel donde se almacenan los resultados del indicador OEE, considerando los componentes de disponibilidad, calidad y rendimiento.

FECHA	TURNO	FORMATO	RECETA	RESPONSABLE	DISPONIBILIDAD	CALIDAD	RENDIMIENTO	OEE
1/8/2025	1	20 litros	341	Supervisor 1	85.71	99.43	87.10	74.23
13/7/2025	2	20 litros	341	Supervisor 2	85.17	99.75	91.11	77.40
16/7/2025	1	20 litros	341	Supervisor 1	81.82	99.95	97.50	79.73
20/7/2025	1	20 litros	342	Supervisor 2	83.33	99.97	92.63	77.17
23/7/2025	2	20 litros	342	Supervisor 3	87.50	99.97	96.67	84.55
27/7/2025	1	20 litros	342	Supervisor 2	91.88	99.95	90.93	83.51
18/7/2025	1	500 ml sin gas	305	Supervisor 1	95.00	99.97	81.72	77.61
2/8/2025	1	500 ml sin gas	305	Supervisor 2	75.69	99.97	96.79	73.23

Figura 13. Base de datos con resultados de OEE por día y producto.

4.1.3. Dashboard visual de OEE

El dashboard visual constituye la herramienta de gestión a la vista, diseñada para mostrar de manera clara y accesible el desempeño productivo de la planta. El tablero se ubicó en un área visible dentro del área de embotellado, de modo que tanto operarios como supervisores y personal administrativo puedan consultar diariamente el valor del OEE. Se siguió el formato del Anexo 4, la información es actualizada de forma manual diariamente.

El tablero cumple el rol de comunicar los resultados e incitar la mejora diariamente, permitiendo identificar el estado actual del proceso.

La actualización del dashboard está a cargo de los supervisores de producción, quienes registran los valores obtenidos del OEE al cierre de cada turno diariamente. Posteriormente, en reuniones de cinco minutos al inicio de la jornada, se presenta al personal operativo un resumen de las novedades que impactaron en el indicador, así como las oportunidades de mejora identificadas. En este espacio de comunicación breve se busca reflexionar sobre los resultados del día y acordar acciones inmediatas mediante comentarios y sugerencias, fortaleciendo así la participación activa del personal.

4.2. Variables de estudio y unidades de medida

Para el análisis del indicador OEE se requiere identificar variables críticas que intervienen en la operación productiva. Cada una ellas se definen con su respectiva unidad de medida y finalidad, de modo que los datos recolectados sean cuantificables y útiles para el análisis.

4.2.1. Variables primarias de operación

Las variables primarias corresponden a los datos que se registran directamente en planta por medio de los formatos de recolección diaria (Anexo 1). Son datos fundamentales ya que reflejan el comportamiento real del proceso y permiten el cálculo de los indicadores derivados. A continuación, se describen:

- **Tiempo planificado de producción (horas):**

Un factor principal, es el tiempo, para el registro dado en el Anexo 1, se documenta el tiempo total de producción desde que se da el arranque de línea (hora de inicio) hasta que se finaliza la orden de producción (hora final), cumpliendo la cantidad planificada. Este dato es ingresado en horas:

$$\textit{Tiempo total: hora final} - \textit{hora de inicio} [\textit{horas}] \quad (6)$$

Esta variable define la base temporal para calcular la disponibilidad.

- **Tiempo de paro (minutos):**

Se refiere a la duración de todas las interrupciones no planificadas y planificadas que afectan la operación, tales como averías mecánicas, falta de insumos, ajustes prolongados, almuerzo, capacitación. Para la identificación de cada tipo de parada, se tiene el catálogo de fallas en el Anexo 3.

La unidad de medida es en minutos, lo que facilita la clasificación de pérdidas y su posterior análisis en diagramas de Pareto.

- **Producción real (unidades):**

Es la cantidad de botellas o botellones que efectivamente se produjeron durante el tiempo planificado de producción. Este dato se obtiene de los reportes de línea contabilizado por el operador y verificado por el supervisor de producción previo la entrega a bodega. Además, es un valor importante ya que se ingresa al inventario y constituye la base para planificar y ejecutar la distribución del producto hacia los diferentes canales de venta.

El dato es considerado adimensional, ya que depende de la presentación del producto. Para las botellas de 500 ml se registra en pacas de 6 o 12 unidades, mientras que, en el caso de los botellones de 20 litros, la unidad de medida corresponde al número de botellones producidos.

- **Producción defectuosa (unidades):**

Comprende todas las unidades que, tras la inspección de calidad, no cumplen con las especificaciones establecidas y son rechazadas. Este valor es indispensable para calcular el porcentaje de calidad. Es adimensional.

- **Velocidad nominal (unidades/hora):**

Hace referencia a la capacidad teórica máxima del equipo según su ficha técnica o especificaciones del fabricante y experiencia del operador. Representa el referente estándar frente al cual se mide el rendimiento de la máquina.

4.3. Alcance y recolección de datos

El estudio se enfocó en las líneas de producción de botellones de 20 litros y botellas de 500 ml, al ser los SKU de mayor demanda comercial. El periodo de análisis comprendió cinco semanas consecutivas, con el objetivo de obtener información suficiente para identificar tendencias y variaciones entre turnos. Con el propósito de reflejar la realidad operativa de la planta, se incluyeron todas las principales causas de paradas.

La recolección de información se realizó mediante los registros diarios diseñados para tal fin (Anexo 1), completados por los operarios y supervisores al cierre de cada turno. En estos documentos se anotaron horas de operación, tiempos de paro, unidades producidas, rechazos y observaciones. Para garantizar uniformidad, los incidentes fueron clasificados con el catálogo de códigos de falla (Anexo 2). Finalmente, los datos fueron consolidados en la base de datos en Excel.

4.4. Procesamiento de datos

La información fue levantada en los registros para guardar trazabilidad en el proceso e ingresada en el archivo Excel para su cálculo. Durante cinco semanas se alimentó la base de datos, se obtuvo información necesaria para conocer el estado real del proceso y proponer oportunidades de mejora direccionadas a las fallas que mayor impacto tienen en la productividad.

4.4.1. Verificación de registros

Los formatos diarios completados por operadores y verificado por supervisores fueron recopilados al cierre de cada turno y transferidos a la base de datos en Excel, donde se realizó la validación de la información, verificando la coherencia de los tiempos de paro, eficiencia, producción real y unidades defectuosas, para evitar inconsistencias.

4.4.2. Ejemplo de Cálculo de indicadores parciales y globales

A partir de las variables primarias se calcularon los indicadores parciales de disponibilidad, rendimiento y calidad mediante las fórmulas. El valor global del OEE se obtuvo como el producto de estos tres componentes, generando así una medida integral de la eficiencia del equipo piloto y de las líneas evaluadas.

A continuación, se presenta un cálculo usando las fórmulas detalladas en el capítulo 3.2. *Fundamento teórico del OEE*, se tomarán los datos del día 01/08/2025 para una producción de botellones de 20 litros:

- **Conversión de horas a minutos**

$$\textit{T tiempo total} = \textit{T tiempo disponible} = 9 \textit{ horas}$$

$$\textit{T tiempo disponible} = 9 \textit{ horas} * \left(\frac{60 \textit{ min}}{1 \textit{ hora}} \right)$$

$$\textit{T tiempo disponible} = 540 \textit{ min}$$

- **Cálculo de tiempo disponible de producción**

El equipo reportó que hubo novedades en la calibración de línea y durante el alistamiento de materiales, estas paradas se dieron debido a fallos inesperados en el proceso, razón por la cual se clasificaron como paros no planificados PNP (15 min en la calibración de línea, 15

min en el alistamiento de materiales y 5 minutos por presentar una falla en la banda transportadora).

$$\textit{Tiempo Paradas No Planificadas} = \textit{PNP} = 35 \textit{ min}$$

Del intervalo total de tiempo que estuvo abierta la orden de producción, se restan 60 minutos de parada planificada que están repartidos en dos comidas (30 min para desayuno y 30 min para almuerzo).

$$\textit{Tiempo Paradas Planificadas} = \textit{PP} = 60 \textit{ min}$$

Se resta del tiempo total en el que la orden de producción (9 horas) los 60 minutos de paradas planificadas - que están contempladas en la orden de producción - para calcular el tiempo que la línea tenía disponible para producir.

$$\textit{Tiempo disponible} = \textit{Tiempo total} - \textit{PP}$$

$$\textit{Tiempo disponible} = 540 \textit{ min} - 60 \textit{ min}$$

$$\textit{Tiempo disponible} = 480 \textit{ min}$$

- **Cálculo de tiempo real de producción**

Finalmente, se restan el tiempo acumulado de las paradas no planificadas, ya que estas redujeron el tiempo disponible y no estaban contempladas en la orden de producción.

$$\textit{Tiempo real de producción} = \textit{Tiempo disponible} - \textit{PNP}$$

$$\textit{Tiempo real de producción} = 480 \textit{ min} - 35 \textit{ min}$$

$$\textit{Tiempo real de producción} = 445 \textit{ min}$$

- **Cálculo de disponibilidad**

Usando la ecuación 4:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo real de producción}}{\text{Tiempo Disponible}}$$

$$\text{Disponibilidad} = \frac{445 \text{ min}}{480 \text{ min}}$$

$$\text{Disponibilidad} = 0.92$$

- **Cálculo de calidad**

Usando la ecuación 3:

$$\text{Calidad} = \frac{\text{Número de unidades de producto conforme}}{\text{Número de unidades totales producidas}}$$

$$\text{Calidad} = \frac{8400 \text{ botellones producidos} - 1 \text{ botellón no conforme}}{8400 \text{ botellones producidos}}$$

$$\text{Calidad} = 0.99$$

- **Cálculo de rendimiento**

Usando la ecuación 2:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Producción real}}{\text{Producción ideal a velocidad nominal}}$$

$$\text{Producción ideal a velocidad nominal} = \text{Velocidad nominal} * \text{Tiempo Disponible}$$

$$\text{Producción ideal a velocidad nominal} = 1000 \frac{\text{unidades}}{\text{hora}} * 9 \text{ horas}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{8400 \text{ botellones}}{9000 \text{ botellones}}$$

$$\text{Rendimiento} = 0.93$$

- **Cálculo de OEE**

Usando la ecuación 2:

$$OEE = \text{Rendimiento} * \text{Calidad} * \text{Disponibilidad}$$

$$OEE = 0.93 * 0.99 * 0.93$$

$$OEE = 0.85$$

Con el fin de presentar el resultado en valores enteros que faciliten su interpretación y análisis cuantitativo, el índice de OEE se multiplica por 100%.

$$OEE = 85.00 \%$$

4.4.3. Clasificación de fallas y análisis de pérdidas

Una parte fundamental de la propuesta consiste en la cuantificación y clasificación de las pérdidas que afectan la eficiencia del proceso. Se utilizó el catálogo de códigos de falla detallado en el Anexo 2, que asigna a cada incidente registrado un identificador único. Así, se eliminan interpretaciones subjetivas y se asegura uniformidad en la información reportada.

Las fallas se organizaron en tres categorías principales, alineadas con los componentes del OEE:

- **Disponibilidad:** incluye paradas por fallas mecánicas, eléctricas o falta de servicios básicos, generalmente bajo responsabilidad del área de mantenimiento.

- **Eficiencia:** agrupa pérdidas por cambios de formato, preparación de línea, desvíos de materiales o ausencia de insumos, que reducen la velocidad de producción.
- **Calidad:** considera incidencias como liberación de producto no conforme, pruebas industriales o defectos de empaque, que generan rechazo de unidades.

Una vez clasificadas las fallas, se procede a cuantificar el tiempo total perdido por cada categoría, lo que permite medir de manera objetiva el impacto de cada tipo de pérdida en el OEE. Esta información se organizó en tablas dentro de la base de datos de Excel y se adjunta el resultado en el Anexo 7.

El análisis posterior se apoyó en el diagrama de Pareto, que permitió priorizar las causas críticas bajo el principio 80/20, es decir, identificar el pequeño número de fallas que concentran la mayor parte del impacto sobre la productividad.

4.4.4. Cálculo de disponibilidad total diaria

En la planta de embotellamiento, las órdenes de producción se planifican en función de la demanda establecida por el área comercial. Por lo tanto, una orden puede ejecutarse en un solo turno o extenderse a dos, dependiendo de la cantidad requerida y de las eventualidades que puedan retrasar el cumplimiento de la programación. Por este motivo, las líneas se programan en función al requerimiento y no están operativas las 24 horas.

Además, durante la toma de datos correspondientes a la prueba piloto, la planta operó en temporada de estiaje, periodo en el cual se registraron limitaciones en el suministro de agua provenientes de la fuente natural. Esta condición afectó directamente la continuidad del proceso productivo, ocasionando frecuentes interrupciones en la línea de botellones de 20 litros. La magnitud de esta afectación se evidencia en la Tabla 9, donde se detalla que las paradas por falta de agua acumularon un total de 4420 minutos, constituyéndose en la principal causa de indisponibilidad dentro del periodo analizado.

Debido a esta condición, algunas líneas de producción debieron suspender temporalmente sus operaciones al no disponer del recurso, redistribuyéndose el personal a otras áreas de trabajo.

En este contexto, a manera de complementar la información, el cálculo del indicador de disponibilidad se realiza considerando las 24 horas del día como tiempo de referencia, los resultados se encuentran detallados en los Anexos 8 y 9. Si bien el estándar del OEE utiliza el tiempo de operación planificado, esta adaptación permitió evaluar el nivel de utilización real de la línea a lo largo de toda la jornada.

Este enfoque complementario ofrece a la alta dirección una visión más amplia del comportamiento operativo, evidenciando el tiempo que la línea estuvo operativa en el día.

A continuación, se presenta un ejemplo del cálculo realizado para la producción reportada el 09/07/2025 en la línea de botellones de 20 litros.

$$\textit{Tiempo que la máquina estuvo operando} = 18.7 \textit{ horas}$$

$$\textit{Día calendario} = 24 \textit{ horas}$$

$$\textit{Disponibilidad total diaria} = \frac{18.7 \textit{ horas}}{24 \textit{ horas}} * 100$$

$$\textit{Disponibilidad total diaria} = 78 \%$$

Se observa que el resultado muestra que la línea de botellones de 20 litros operó durante el 78 % del tiempo total del día, es decir, 18.7 horas efectivas de producción sobre 24 horas calendario. El resultado refleja un grado de utilización moderado de la máquina, evidenciando que existe un 22 % de tiempo no aprovechado dentro del día. Este indicador permite dimensionar el impacto real que tiene la disponibilidad del recurso hídrico y las paradas no planificadas sobre la productividad diaria.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Presentación de resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos luego de la aplicación de la metodología propuesta en el Capítulo 4 para el cálculo del OEE en las líneas de producción de botellones de 20 litros y 500 ml. El promedio diario del OEE por línea se puede observar en las Tablas 6 y 7.

Toda la información recopilada fue procesada para mostrar de manera clara los valores de disponibilidad, rendimiento y calidad, así como el indicador global OEE, todos los resultados con información de indicadores parciales y globales se encuentran en el Anexo 6. Luego, los datos numéricos se presentan en el formato de tabla del Anexo 4 que permite evidenciar el comportamiento del proceso durante el periodo de estudio, facilitando la identificación de tendencias, comparaciones entre días y líneas.

Asimismo, dentro de los resultados se realizó un análisis de los tiempos perdidos por paradas no planificadas (PNP) y paradas planificadas (PP), que representan una parte significativa de la pérdida de productividad en las líneas de producción. A partir de esta información se crearon diagramas de Pareto, que muestran las principales causas de pérdida en orden de impacto, destacando aquellas pocas incidencias que concentran la mayor proporción de los tiempos improductivos.

Tabla 6. Resultados diarios de OEE para línea de botellones de 20 l y botellas de 500 ml para el mes de julio.

Mes:		Julio																								
Línea	Día:	1	2	3	5	7	8	9	10	11	12	13	15	16	17	18	19	20	22	23	25	26	27	28	30	31
Botellón	Resultado:	26.2	63.3	61.3	85.7	56.3	44.6	13.4	24.4	32.8	66.6	63.0	16.6	59.4	38.7	13.5	48.0	77.2	54.0	84.6	64.3	56.0	72.1	91.0	54.7	85.8
500 ml	Resultado:	-	-	-	61.5	50.6	40.7	62.2	68.3	-	-	-	-	-	65.4	73.9	45.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-

En la tabla 7, se detallan los resultados globales de las líneas de botellas de 500 ml y botellones de 20 litros, tomados desde el 1 hasta el 6 de agosto.

Tabla 7. Resultados diarios de OEE para línea de botellones de 20 l y botellas de 500 ml para la primera semana de agosto.

Mes:		Agosto					
Línea	Día:	1	2	3	4	5	6
Botellón	Resultado:	80.3	12.8	27.6	52.7	47.7	21.8
500 ml	Resultado:	-	69.3	-	-	-	-

En la Tabla 8, podemos observar el promedio general del OEE obtenido durante el periodo de estudio de 5 semanas.

Tabla 8. Resultado global de OEE para línea de botellones de 20 l y botellas de 500 ml.

Línea	Promedio general OEE	Meta
20 litros	53.6 %	60 %
500 ml sin gas	58.5 %	65 %

Las siguientes tablas (Tabla 9 y 10) presentan un resumen de los tiempos perdidos por tipo de parada durante el período de estudio. Se clasifican los distintos motivos de interrupción según su impacto en la calidad, disponibilidad, eficiencia y planificación.

Tabla 9. Resumen de tiempos perdidos por tipo de parada en el periodo de análisis para la línea de botellones de 20 litros.

DESCRIPCIÓN	TIPO DE PARADA				TOTAL TIEMPO GENERAL [min]
	TIEMPO CALIDAD [min]	TIEMPO DISPONIBILIDAD [min]	TIEMPO EFICIENCIA [min]	TIEMPO PLANIFICADO [min]	
Para por falta de agua	-	-	4420	-	4420
Desayuno/Almuerzo/Merienda	-	-	-	2145	2145
Calibración de la línea	-	-	362	-	362
Preparación de Línea (Alistamiento de material)	-	-	307	-	307
Falla mecánica llenadora	-	91	-	-	91
Cambio de Formato	-	-	50	-	50
Liberación del Producto	40	-	-	-	40
Corte de energía eléctrica	-	-	39	-	39
Daño en horno	-	35	-	-	35
Paletizado manual por cambio de formato	-	-	30	-	30
Falla eléctrica llenadora	-	27	-	-	27
Limpieza de área	-	-	25	-	25
Recodificación	-	-	25	-	25
Falla mecánica banda transportadora	-	24	-	-	24
Falla eléctrica banda transportadora	-	21	-	-	21
Falla por desviaciones de material de empaque	11	-	-	-	11
Falla mecánica codificadora	-	10	-	-	10
Falla mecánica tapadora	-	10	-	-	10
Falta de aire comprimido	-	5	-	-	5
Material de Empaque Defectuoso	-	-	5	-	5
Paro por incumplimiento de control de atributos	-	-	5	-	5
Falla de máquina etiquetadora	-	-	2	-	2
TOTAL TIEMPO GENERAL [min]	51	223	5270	2145	7689

La tabla 10, detalla el compilado de tiempo perdido en paradas planificados y no planificadas, clasificando por tipo de parada.

Tabla 10. Resumen de tiempos perdidos por tipo de parada en el periodo de análisis para la línea de botellas de 500 ml.

DESCRIPCIÓN	TIPO DE PARADA				TOTAL TIEMPO GENERAL [min]
	TIEMPO CALIDAD [min]	TIEMPO DISPONIBILIDAD [min]	TIEMPO EFICIENCIA [min]	TIEMPO PLANIFICADO [min]	
Desayuno/Almuerzo/Merienda	-	-	-	750	750
Calibración de la línea	-	-	395	-	395
Preparación de Línea (Alistamiento de material)	-	-	245	-	245
Cambio de Formato	-	-	90	-	90
Falla mecánica sopladora	-	40	-	-	40
Para por falta de agua	-	-	35	-	35
Corte de energía eléctrica	-	-	30	-	30
Liberación del Producto	25	-	-	-	25
Falla mecánica tapadora	-	23	-	-	23
Paro por incumplimiento de control de atributos	-	-	21	-	21
Falla eléctrica llenadora	-	14	-	-	14
Falla mecánica codificadora	-	11	-	-	11
Falla eléctrica codificadora	-	10	-	-	10
Falla eléctrica tapadora	-	10	-	-	10
Material de Empaque Defectuoso	-	-	5	-	5
TOTAL TIEMPO GENERAL [min]	25	108	821	750	1704

5.2. Análisis de Pareto

Con el objetivo de priorizar las principales causas que afectan la productividad de la línea de producción de botellones de 20 litros y botellas de 500 ml, se elaboraron diagramas de Pareto a partir de los tiempos de parada registrados durante el periodo de análisis de las tablas 9 y 10.

Este análisis permitió identificar de manera clara cuáles son las causas que generan la mayor proporción de pérdidas de disponibilidad y eficiencia, siguiendo el principio 80/20. Es importante señalar que, aunque las paradas por falta de agua representaron la causa más crítica en términos de tiempo acumulado para la línea de 20 litros, no fueron consideradas en el levantamiento del Pareto principal, debido a que se trata de un factor externo a la gestión de la planta, condicionado por el fenómeno natural de estiaje. Sin embargo, este hallazgo resalta la necesidad de planificar acciones estratégicas a largo plazo (12 meses), tales como la identificación de nuevas fuentes de agua de manera sostenible, garantizando la continuidad operativa sin comprometer el equilibrio ambiental.

Del mismo modo, los tiempos correspondientes a paradas planificadas relacionadas con el tiempo de alimentación tampoco se incluyen en el análisis, ya que no se debe castigar al OEE con actividades programadas.

A continuación, se presenta los diagramas de Pareto para la línea de 20 litros y botellas de 500 ml.

La Figura 14 muestra un análisis de Pareto del tiempo acumulado por fallas en la línea de producción de botellones de 20 litros, basado en los datos recopilados durante el periodo de estudio.

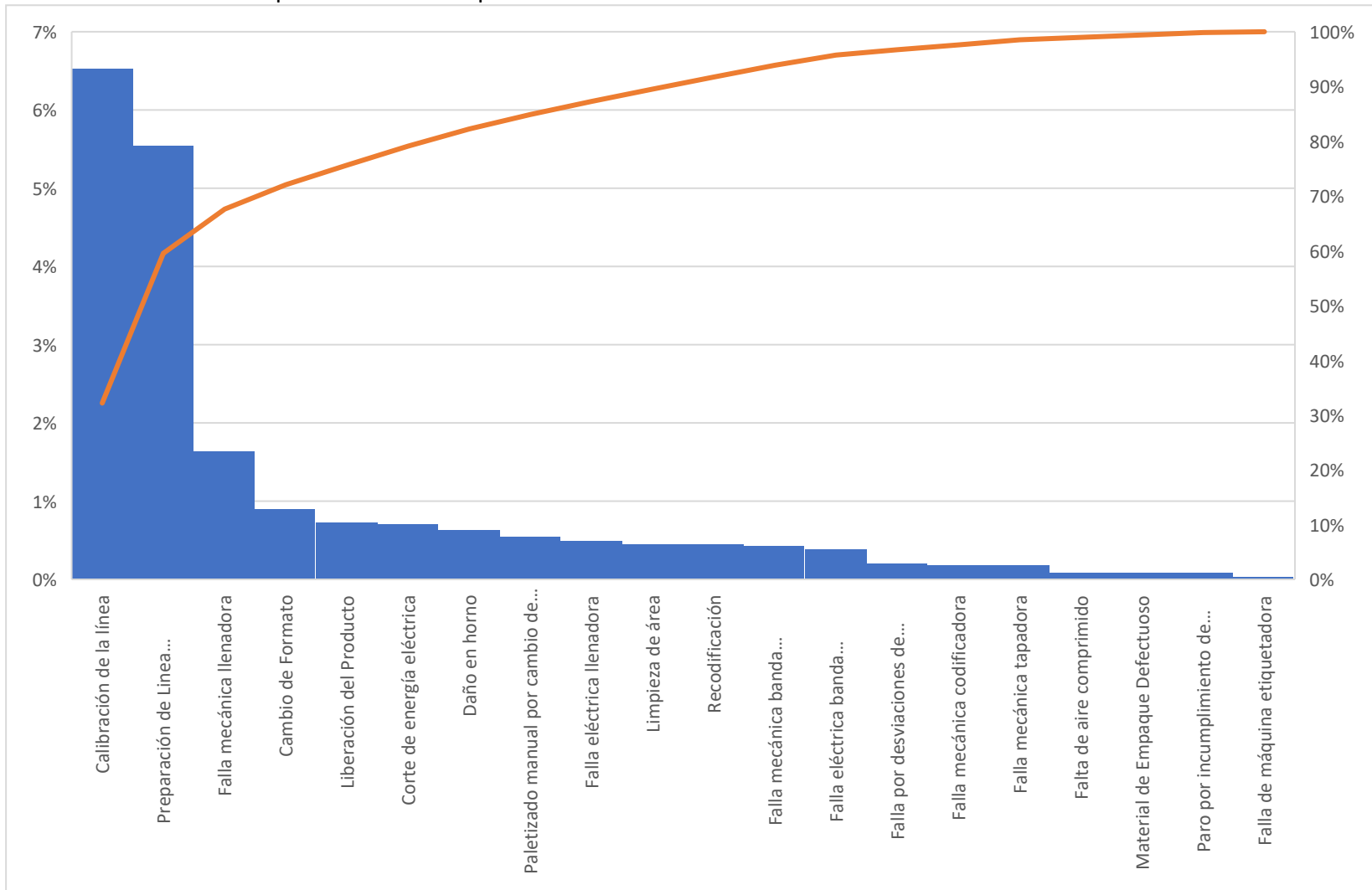


Figura 14. Pareto por tiempo acumulado de paradas para la línea de 20 litros.

La figura 15 presenta un análisis de Pareto de la frecuencia de ocurrencia de fallas y su porcentaje de aporte al global en la línea de producción de botellones de 20 litros, elaborado a partir de los datos recopilados durante el periodo de estudio.

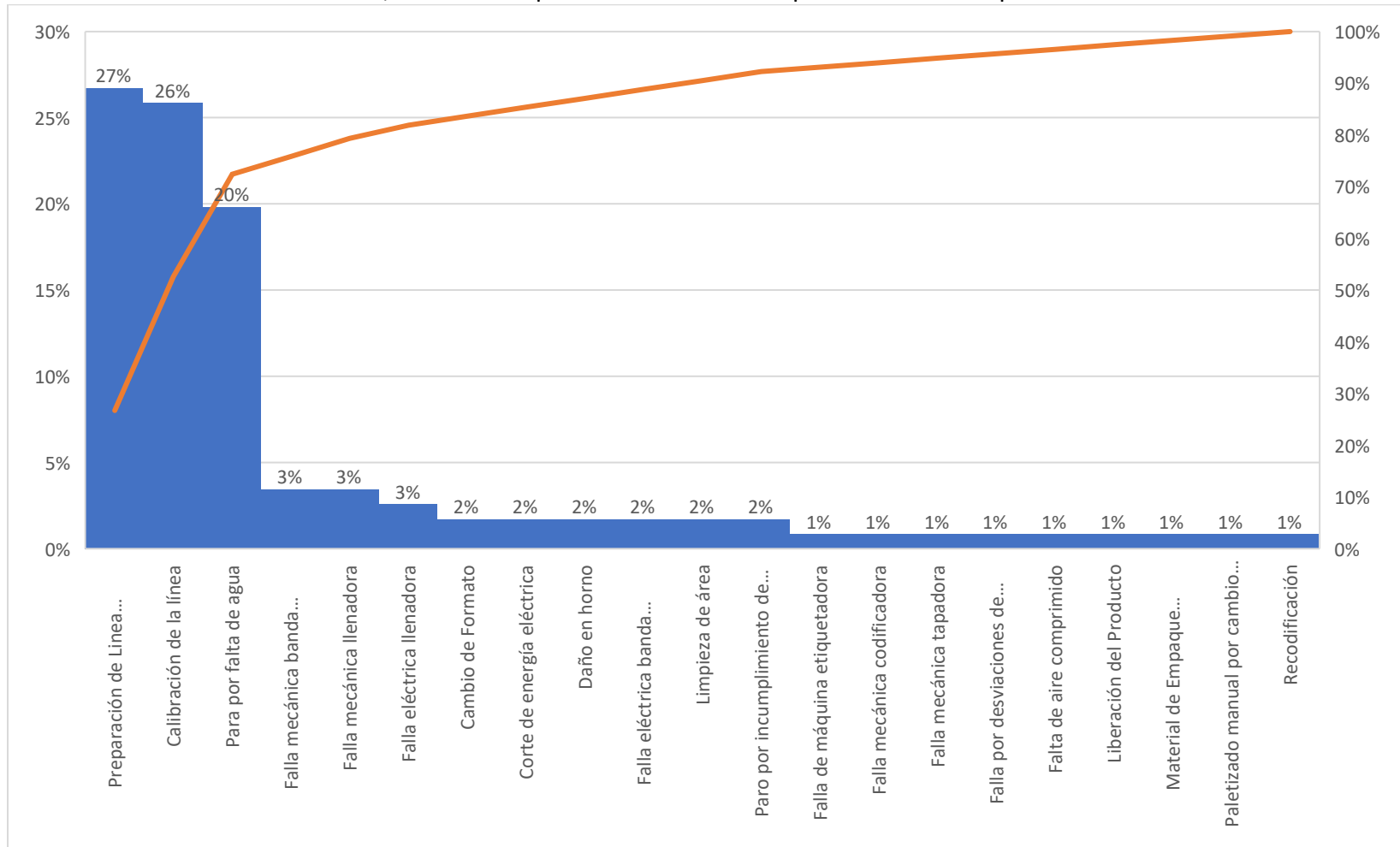


Figura 15. Pareto por frecuencia de ocurrencia para la línea de 20 litros.

La Figura 16 muestra un análisis de Pareto del tiempo acumulado por fallas en la línea de producción de botellas de 500 ml, basado en los datos recopilados durante el periodo de estudio.

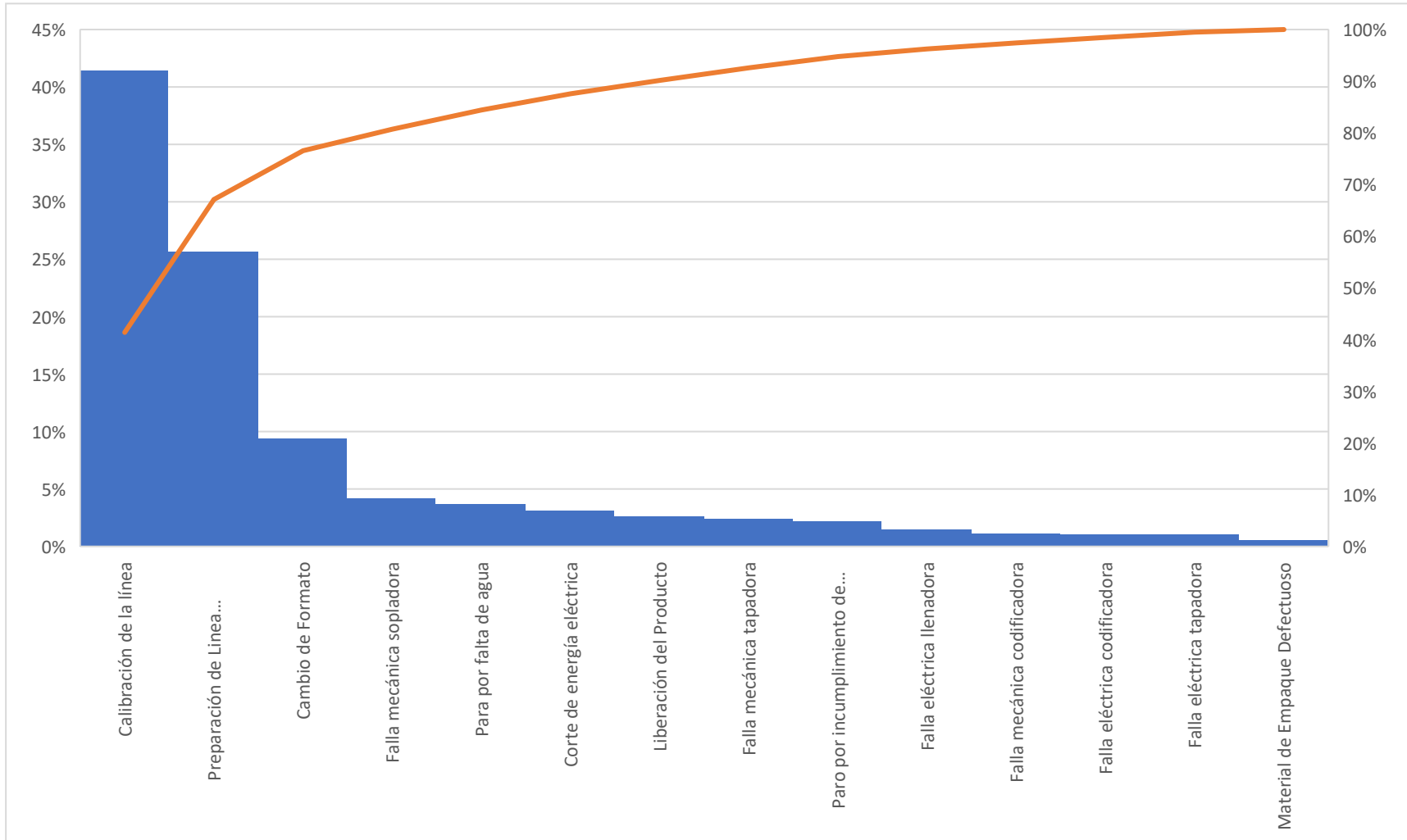


Figura 16. Pareto por tiempo acumulado de paradas para la línea de 500 ml.

La figura 17 presenta un análisis de Pareto de la frecuencia de ocurrencia de fallas y su porcentaje de aporte al global en la línea de producción de botellas de 500 ml, elaborado a partir de los datos recopilados durante el periodo de estudio.

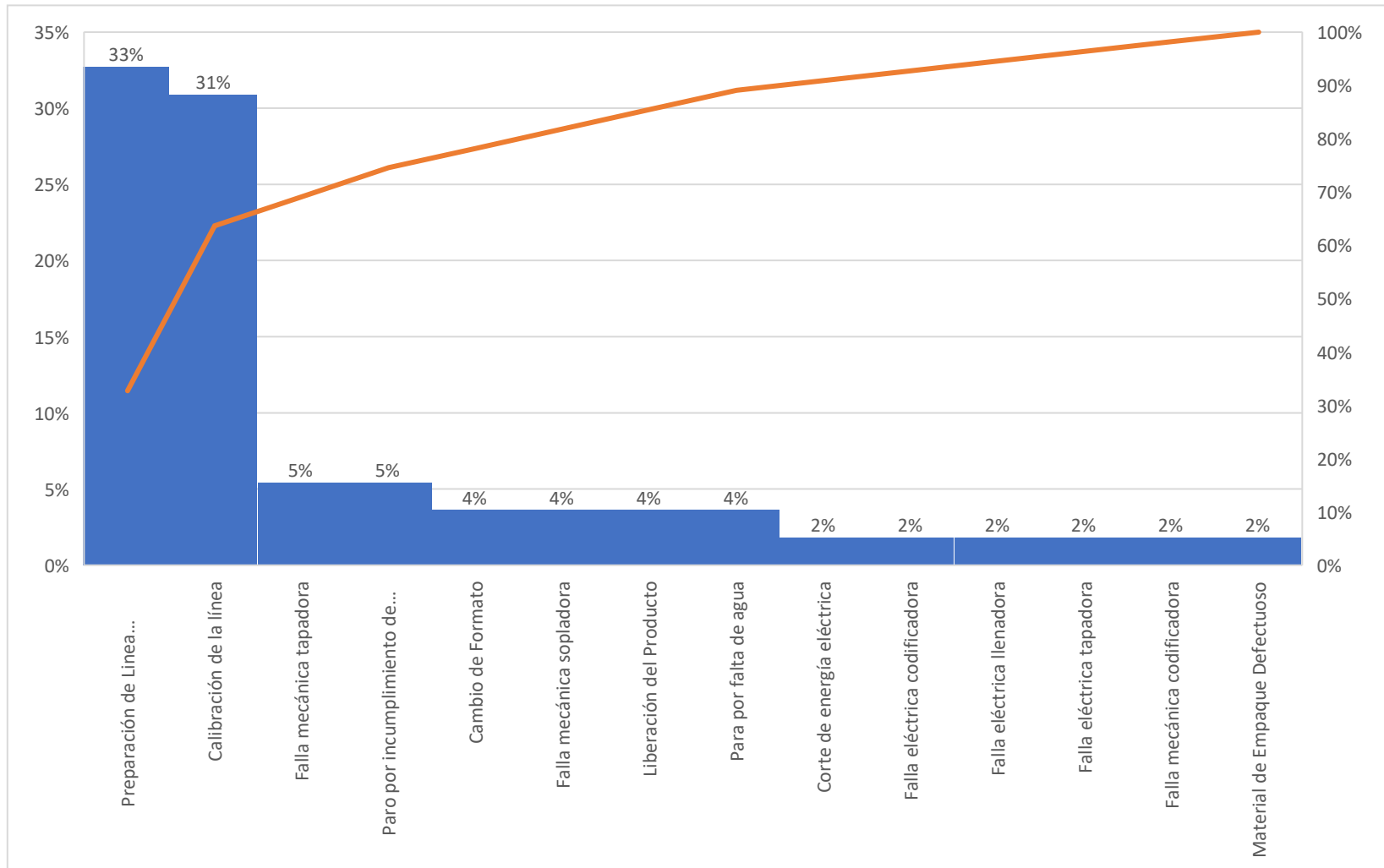


Figura 17. Pareto por frecuencia de ocurrencia para la línea de 500 ml.

5.3. Discusión de resultados

5.3.1. Interpretación de indicadores

La prueba piloto se llevó a cabo durante cinco semanas, entre los meses de julio y agosto, coincidiendo con temporada de estiaje, lo que impactó de manera significativa los resultados, particularmente en el componente de eficiencia. Esta condición climática no es permanente, sino que ocurre únicamente en períodos de escasez de lluvias, por lo que resulta necesario dar continuidad a la medición del indicador a lo largo del año para contar con una visión más representativa del desempeño. La limitación en la disponibilidad de agua generó retrasos en el cumplimiento del plan de producción, afectando de manera especial a la línea de botellones de 20 litros, que acumuló un total de 4420 minutos de parada, como se detalla en la Tabla 9.

El análisis evidencia que la disponibilidad es el factor más afectado, mientras que el rendimiento y la calidad presentan valores relativamente estables. Esto refleja que la mayor pérdida de productividad no está en la velocidad de operación ni en la conformidad del producto, sino en la cantidad de tiempo que la máquina permanece detenida.

En lo que respecta al componente de calidad, los resultados muestran un desempeño estable en comparación con la disponibilidad y la eficiencia, como se observa en el Anexo 6, con resultados por sobre el 99%. El nivel de rechazo de producto se mantuvo bajo, reflejando que las etapas de inspección y control aplicadas son efectivas para asegurar la conformidad de las botellas y botellones producidos, esto reduce la cantidad de unidades no vendibles o no conformes por orden de producción. Sin embargo, en los diagramas de Pareto de las figuras 15 y 17 se evidencia la ocurrencia de paradas por incumplimiento en los controles de atributos; aunque el impacto de la calidad sobre el OEE es menor, es importante mantener la vigilancia y fortalecer los controles preventivos, ya que fallas en atributos críticos como sellado, etiquetado o características organolépticas del agua podrían comprometer no solo la productividad, sino también la percepción del cliente y el cumplimiento normativo.

5.3.2. Análisis de paradas planificadas y no planificadas

El análisis del Pareto por frecuencia de ocurrencia en la línea botellones de 20 litros que se observa en la Figura 15 permite identificar que las paradas más repetitivas corresponden a la preparación de línea (26.7%), la calibración de la línea (25.9%) y las paradas por falta de agua (19.8%), que en conjunto representan más del 70% del total de incidencias registradas. Estos resultados demuestran que, además del tiempo acumulado, la recurrencia de determinadas actividades constituye un factor crítico en la reducción de disponibilidad y eficiencia.

Mientras que las paradas por falta de agua responden a una condición externa y no controlable, las actividades de preparación y calibración son internas y repetitivas, lo que sugiere oportunidades de mejora mediante la estandarización de procedimientos, implementación de metodologías como (Single-Minute Exchange of Die) SMED y fortalecimiento de la capacitación a operadores y auxiliares. De esta manera, se confirma que no solo las paradas largas afectan al OEE, sino también aquellas que, aunque de menor duración, se repiten constantemente y acumulan pérdidas significativas.

En el caso de la línea de 500 ml, el Pareto por frecuencia de ocurrencia de la Figura 17 muestra un comportamiento similar al de la línea de 20 litros, donde las causas más recurrentes son la preparación de línea (32.7%) y la calibración de la línea (30.9%), que juntas representan casi el 65% del total de las incidencias. A diferencia de la línea de botellones, donde la falta de agua tuvo una incidencia importante, en esta línea el mayor peso está dado por actividades internas directamente vinculadas con la gestión operativa, como ajustes y alistamientos. Otras causas como fallas mecánicas en la tapadora (5.5%), el paro por incumplimiento de atributos (5.5%) y los cambios de formato (3.6%) también aparecen como eventos de impacto, aunque con menor representatividad. Estos resultados refuerzan la conclusión de que, más allá de las fallas externas o poco frecuentes, son las actividades de preparación y calibración las que más afectan la continuidad de la producción.

5.4. Propuesta de mejoras derivadas

5.4.1. Reducción de tiempos de calibración y alistamiento

Para disminuir las pérdidas asociadas a la calibración de la línea y al alistamiento, se propone aplicar la metodología SMED (Single-Minute Exchange of Die) junto con 5S en las estaciones críticas como son el área de soplado y llenado de botellas. Las acciones incluyen: estandarizar y documentar los pasos de cambio de formato, preparar kits de herramientas y repuestos por presentación (pacas de 6 y 12 unidades, botellones), y separar claramente las operaciones internas de las externas. Como resultado se pone como meta reducir el tiempo de cambio y calibración en al menos un 30–50%, mejorando la disponibilidad y minimizando paradas largas.

Responsable: Producción con apoyo de Calidad y Mantenimiento.

- **Justificación:** Los tiempos de cambio de formato y calibración representan paradas largas que afectan la disponibilidad. La metodología SMED, junto con la estandarización y preparación de kits, permite reducir significativamente estas paradas.
- **Aporte estimado al OEE:** 2–3% para botellones y 3–4% para botellas de 500 ml, dado que los cambios de formato en botellas pequeñas son más frecuentes.

5.4.2. Fortalecimiento del mantenimiento preventivo y mantenimiento autónomo (TPM básico)

Se propone implementar un plan de mantenimiento preventivo calendarizado para equipos críticos como los son: llenadora, sopladora, etiquetadora, y capacitar a los operadores en mantenimiento autónomo (inspección visual, limpieza, lubricación y detección temprana de anomalías). Esto permitirá disminuir la frecuencia de fallas mecánicas y reducir tiempos de reparación, incrementando la disponibilidad.

Responsable: Mantenimiento con apoyo de Producción.

- **Justificación:** La reducción de fallas mecánicas y tiempos de reparación incrementa la disponibilidad de la línea. La capacitación del personal en mantenimiento autónomo permite detectar problemas antes de que generen paradas mayores.
- **Aporte estimado al OEE:** 2–3% en ambas líneas, principalmente en la reducción de paradas no planificadas.

5.4.3. Gestión de repuestos críticos

Con el fin de trabajar en las causas que se encuentran dentro de control, se sugiere establecer una lista de repuestos críticos con niveles de stock mínimos (safety stock) y un procedimiento de reposición rápida. Esto evitará demoras por espera de repuestos y reducirá paradas prolongadas por faltantes.

Responsable: Mantenimiento y Compras.

- **Justificación:** Las demoras por falta de repuestos prolongan las paradas. Establecer stock mínimo y reposición rápida asegura que los equipos críticos se reparen sin retrasos.
- **Aporte estimado al OEE:** 1–2% en ambas líneas, al eliminar paradas evitables por repuestos faltantes.

5.4.4. Mejora de la gestión de calidad y reducción de defectos

Implementar controles en línea por los inspectores de calidad, revisando los puntos críticos de control cada 30 minutos (sellado, codificado y etiquetado) para responder a tiempo ante cualquier novedad que altere los atributos del producto terminado. Trabajar en junto con análisis de causa raíz para los defectos más frecuentes, con el propósito de aplicar acciones preventivas. Vincular las acciones correctivas al registro de fallas (Anexo 2) y medir su impacto en la calidad del OEE.

Responsable: Calidad con apoyo de Producción.

- **Justificación:** Los defectos de producto reducen el rendimiento. Implementar controles en línea y análisis de causa raíz permite corregir problemas antes de que se acumulen, disminuyendo el retrabajo y los productos defectuosos y materiales que son desechados durante el proceso de fabricación.
- **Aporte estimado al OEE:** 2–3% para botellones y 3–4% para botellas de 500 ml, considerando que las botellas pequeñas presentan mayor riesgo de defectos por velocidad de la línea.

5.4.5. Capacitación continua y empoderamiento operativo

Desarrollar un plan de formación por módulos (operación segura, mantenimiento autónomo, uso de registros, interpretación del OEE) y promover la rotación controlada del personal entre los puntos de trabajo, para que todo el personal tenga conocimiento de la operación en producción. Fomentar círculos de mejora (Kaizen) donde los operarios propongan soluciones, revisar novedades mediante reuniones semanales de 30 minutos entre los supervisores de producción, operadores y jefatura de producción, en las que se definan planes de acción para el tratamiento de PNP's recurrentes. Esto aumentará la autonomía, reducirá errores operativos y facilitará la implementación de mejoras sostenibles.

Responsable: Producción.

- **Justificación:** La formación constante y la rotación controlada de operadores aumentan la autonomía, reducen errores operativos y facilitan la implementación sostenible de mejoras. Esto impacta tanto disponibilidad como rendimiento y calidad.
- **Aporte estimado al OEE:** 1–2% en botellones y 2–3% en botellas de 500 ml, reforzando la sostenibilidad de las demás acciones.

5.4.6. Resumen del aporte estimado a la mejora del indicador

A continuación, se presenta un resumen con el aporte que se estima dar para llegar a la meta detallada en la tabla 8.

Tabla 11. Aporte estimado por propuesta al aumento de OEE.

Propuesta	Aporte OEE Botellones	Aporte OEE Botellas 500 ml
SMED + 5S	2–3%	3–4%
Mantenimiento preventivo / autónomo	2–3%	2–3%
Gestión de repuestos	1–2%	1–2%
Gestión de calidad / reducción de defectos	2–3%	3–4%
Capacitación y empoderamiento	1–2%	2–3%

Con estas estimaciones, se proyecta que:

- **Botellones 20 L:** $53.6\% + (2+2+1+2+1)\% \approx 62\%$
- **Botellas 500 ml:** $58.5\% + (3+2+1+3+2)\% \approx 68.5\%$

La combinación de mejoras en disponibilidad, rendimiento y calidad asegura un incremento sostenible del OEE.

5.4.7. Justificación de cálculo de aportes al OEE

Los porcentajes de aporte de cada propuesta de mejora son estimaciones que consideran el peso relativo de las pérdidas operativas sobre las que actúa cada acción propuesta, de acuerdo con los tiempos reales de parada registrados en las líneas de botellones de 20 L y botellas de 500 ml (Figuras 9 y 10). A cada tipo de pérdida se le asignó una reducción esperada.

De este modo, las propuestas que inciden directamente sobre las pérdidas por alistamiento y calibración (SMED + 5S) y sobre la disponibilidad del equipo generan el mayor impacto sobre el indicador global.

Como ejemplo, la siguiente estimación se desarrolló con base en los datos de la línea de botellones de 20 L, en la que se identificaron las principales pérdidas que afectan el desempeño del OEE.

En primer lugar, se seleccionan las causas que más impacto tuvieron sobre el resultado general del OEE, descritas a continuación en la Tabla 12.

Tabla 12. Identificación de pérdidas relevantes y aporta al global.

Tipo de pérdida	Minutos perdidos	Porcentaje de pérdida sobre el tiempo total (7 689 min)
Falta de agua (causa externa)	4 420	57.5 %
Desayuno/Almuerzo/Merienda (planificada)	2145	27.9 %
Calibración + Preparación + Cambio formato	362 + 307 + 50 = 719	9.3 %
Fallas mecánicas y eléctricas (llenadora, banda, horno, etc.)	≈ 250	3.3 %

Pérdidas de calidad (liberación, empaque defectuoso, etc.)	≈ 50	0.7 %
Otras pérdidas menores	≈ 105	1.4 %

A partir de esta distribución se determinó qué tipo de pérdida aborda cada propuesta de mejora y se describe en la Tabla 13.

Tabla 13. Determinación de propuestas y su accionar sobre las pérdidas.

Propuesta	Pérdida sobre la que actúa	Minutos perdidos
SMED + 5S	Alistamiento, calibración, cambio formato	719 min
TPM / Mantenimiento autónomo	Fallas mecánicas y eléctricas	≈ 250 min
Gestión de repuestos	Misma base que TPM (falla + espera)	≈ 250 min
Mejora de calidad	Pérdidas por defectos y liberación	≈ 50 min
Capacitación	Pérdidas operativas menores / rendimiento	≈ 105 min (estimadas)

Una vez determinada sobre qué pérdida actuará cada propuesta, se asigna una eficacia estimada, valor que es empírico y determinado en base a la experiencia, estos valores se observan en la Tabla 14.

Tabla 14. Eficacia de reducción estimada.

Acción	Reducción estimada
SMED bien aplicado	40 % de reducción
TPM básico / preventivo	35 % de reducción
Gestión de repuestos	15 % reducción
Mejora de calidad / inspección	50 % reducción

Capacitación / empoderamiento Mejora 1–3 punto porcentuales

Finalmente, se realiza el cálculo para determinar los minutos que se estiman reducir al aplicar las propuestas de mejora.

$$\text{Minutos recuperados} = \text{Minutos de pérdidas reportados} * \text{Reducción estimada} \quad (6)$$

SMED + 5S: $719 \times 0.40 = 287.6 \text{ min}$

TPM: $250 \times 0.35 = 87.5 \text{ min}$

Repuestos: $250 \times 0.15 = 37.5 \text{ min}$

Calidad: $50 \times 0.50 = 25 \text{ min}$

Capacitación: mejora indirecta de rendimiento, que equivale a +3 % en rendimiento.

La aplicación de las propuestas da un total de 437 min que se recuperarían.

Finalmente, se hace una relación entre los minutos recuperados (437 min) sobre el tiempo acumulado de paradas no planificadas (5544 min) reportado en la Tabla 9:

$$\frac{437}{5544} = 0.0788 = 7.9\%$$

El resultado nos detalla que al aplicar las propuestas se estima que se reduzca el 7.9% en el tiempo acumulado de paradas no planificadas.

Las paradas no planificadas son la principal causa que afectan al OEE, representan el mayor aporte en la disminución de disponibilidad y rendimiento en las líneas de producción.

Una disminución del 7.9 % en el tiempo de paradas no planificadas provocará un aumento equivalente en la disponibilidad de la máquina, lo que a su vez generará una mejora proporcional en el OEE, siempre que los indicadores de rendimiento y calidad se mantengan constantes.

De esta forma se tendría que el OEE actual de 53.6% en la línea de botellones de 20 litros aumentaría a un 57.85%, que es un valor que tiende a la meta planteada.

$$53.6\% * 1.079 = 57.85\%$$

La estimación demuestra que la aplicación de las propuestas de mejora tiene un impacto potencial real y cuantificable sobre el tiempo perdido por causas que se puede controlar, tomando acciones preventivas que mitiguen la afectación de las paradas no planificadas y futura mejora en el valor del OEE.

5.4.8. Aplicación de indicadores parciales

Finalmente, con el fin de fortalecer la gestión y el seguimiento del indicador global OEE, se propone implementar indicadores parciales por componente, que permitan analizar con mayor detalle las causas que afectan la eficiencia de la línea y asignar responsables directos para su gestión.

Cada indicador parcial deberá tener una frecuencia de control mensual, con un responsable definido, de acuerdo con el área que tenga mayor influencia sobre el componente. De esta forma los responsables se empoderarán del proceso proponiendo planes de acción para mejorar las oportunidades encontradas.

Tabla 15. Indicadores parciales

Componente	Indicador parcial	Responsable	Propósito principal
OEE	propuesto	directo	
Disponibilidad	% de tiempo planificado disponible vs. no planificado	Jefatura de mantenimiento	Controlar la efectividad del mantenimiento y las paradas imprevistas.
Rendimiento	% de velocidad real / velocidad nominal	Supervisor de producción	Identificar pérdidas por microparadas o baja velocidad.

Calidad	% de unidades aprobadas / total producidas	Coordinación de calidad	Detectar y reducir defectos, retrabajos o rechazos.
Gestión operativa	Cumplimiento del plan diario de producción	Producción	Evaluar el grado de cumplimiento del programa y detectar cuellos de botella.

5.4.9. Análisis temporal de la disponibilidad y rendimiento de máquina durante la prueba piloto

En los Anexos 10, 11, 12 y 13 se presenta la variación de los indicadores de disponibilidad y rendimiento de la línea de botellones de 20 litros y la línea de 500 ml, evaluados en función del tiempo durante el periodo de prueba piloto.

Los resultados muestran un comportamiento irregular de los indicadores, con fluctuaciones significativas que reflejan la variabilidad operativa y las condiciones propias del proceso durante la temporada de estiaje. Dado que en esta etapa aún no se han implementado las acciones correctivas, y el periodo de análisis corresponde a una fase experimental o de validación del método de registro, no es posible establecer una proyección confiable o tendencia futura a partir de estos datos.

No obstante, esta información constituye la línea base de referencia para el seguimiento posterior del desempeño de las líneas de producción. Una vez ejecutadas las acciones de mejora, los mismos indicadores podrán compararse con esta base inicial, permitiendo medir de forma objetiva el impacto de las medidas implementadas.

5.5. Estimación de mejoras

Es importante señalar que los aportes estimados al OEE dados por las propuestas de mejora en el presente estudio son estimaciones teóricas y empíricas, basadas en la experiencia

operativa y en el análisis de las pérdidas identificadas. Debido a que las propuestas aún no han sido implementadas, no es posible predecir con certeza el comportamiento futuro del OEE, ni validar la magnitud real del impacto. Los porcentajes de mejora asignados deben considerarse como referencias o guías iniciales, que podrán ajustarse conforme se apliquen los correctivos y se recopile información a lo largo del tiempo. Para obtener resultados concluyentes será necesario realizar un seguimiento continuo de los indicadores y observar su tendencia bajo condiciones estandarizadas. No obstante, estas estimaciones sientan una base técnica sólida para futuras investigaciones y permiten orientar los esfuerzos hacia aquellas áreas con mayor potencial de mejora en la eficiencia global del equipo.

6. CONCLUSIONES

- El valor del promedio inicial de OEE de las líneas de 20 litros y botellas de 500 ml fue de 56.05%, valor que refleja la situación actual del desempeño operativo y constituye una base sólida para impulsar oportunidades de mejora sostenibles en la planta. Aunque se encuentra por debajo del estándar de referencia del 65%, este resultado permite identificar claramente las oportunidades de optimización en las etapas de calibración, alistamiento y mantenimiento. La implementación de las propuestas de mejora basadas en metodologías como SMED, 5S y mantenimiento autónomo permitirá incrementar de forma progresiva la eficiencia y disponibilidad, orientando el OEE hacia la meta del 60% en la línea de 20 litros y 65% en la de 500 ml.

- La eficiencia se identificó como el componente con mayor impacto negativo en el OEE en ambas líneas de producción. En la línea de botellones de 20 L, las pérdidas por eficiencia totalizaron 5 270 minutos, lo que representa el 68,5 % del tiempo total no productivo (7689 min). Las principales causas fueron las calibraciones (362 min) y la preparación de línea (307 min), que juntas aportan 12,1 % de las detenciones totales.

En la línea de botellas de 500 ml, la eficiencia también presentó el mayor peso con 821 minutos perdidos, equivalentes al 48,2 % del total (1704 min), destacando las calibraciones (395 min) y los cambios de formato (90 min) como causas críticas.

- Las pérdidas asociadas a la disponibilidad representaron 223 minutos (2,9 %) en la línea de botellones de 20 L y 108 minutos (6,3 %) en la de 500 ml, derivadas principalmente de fallas mecánicas en la llenadora, banda transportadora y sopladora, así como cortes de energía y falta de agua. Se prevé que el fortalecimiento del mantenimiento preventivo y autónomo, junto con la gestión de repuestos críticos, puede disminuir la frecuencia de estas paradas. En cuanto al componente de calidad, las pérdidas fueron menores (51 minutos; 0,7 % en botellones y 25 minutos; 1,5 % en botellas de 500 ml), la implementación de

controles en línea y análisis de causa raíz permitirá mantenerlas por debajo del 1 % del tiempo total de operación y asegurar la sostenibilidad de los resultados.

- Se identificó que la disponibilidad fue especialmente influenciada por factores externos, como la escasez de agua durante el periodo de estiaje. Este aspecto, aunque fuera del control directo de la planta, ocasionó más de 4.400 minutos de inactividad en la línea de 20 litros, constituyéndose en la principal limitación para cumplir el plan de producción.
- Tanto en la línea de 20 litros como en la de 500 ml, las actividades de preparación y calibración se identifican como las principales causas que afectan la continuidad operativa, acumulando el mayor porcentaje de incidencias. Esto demuestra que, más allá de las fallas técnicas o externas, los problemas recurrentes están asociados a tareas internas y repetitivas que pueden ser optimizadas. Por lo tanto, la prioridad de mejora debe centrarse en reducir los tiempos de preparación y calibración mediante la estandarización de procesos y la aplicación de metodologías como SMED, lo que permitirá incrementar la disponibilidad del equipo y, en consecuencia, elevar el OEE hacia niveles más competitivos.
- Con la implementación integral de las propuestas de mejora —orientadas a la reducción de tiempos de calibración y alistamiento mediante SMED y 5S, el fortalecimiento del mantenimiento preventivo y autónomo, la gestión de repuestos críticos, y el refuerzo de controles de calidad y capacitación operativa— se espera alcanzar una mejora sostenida en la productividad de ambas líneas de embotellado. En la línea de botellones de 20 litros, actualmente con un OEE promedio del 53.6 %, se proyecta un incremento de 6 puntos porcentuales, alcanzando la meta del 60 %. En la línea de botellas de 500 ml, cuyo OEE base es del 58 %, la aplicación de las mejoras permitirá elevar el indicador hasta 65 %, gracias a la disminución de pérdidas por eficiencia y una mejora en la disponibilidad.
- Los incrementos significativos en el indicador OEE resultan complejos en la práctica, debido a que este refleja el desempeño integral del proceso productivo y depende de múltiples factores interrelacionados como la disponibilidad, la eficiencia y la

calidad. Por ello, las metas planteadas de 60 % para la línea de 20 litros y 65 % para la línea de 500 ml se han definido con un enfoque realista y alcanzable, sustentadas en el análisis de las principales pérdidas identificadas y en la factibilidad de las acciones de mejora propuestas, coherente con las condiciones actuales de la planta y con los recursos técnicos y humanos disponibles.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda complementar el indicador global de OEE con indicadores parciales que permitan un análisis más específico de cada componente: disponibilidad, rendimiento y calidad. Estos indicadores deben contar con responsables directos según el área de influencia, facilitando una gestión más focalizada y una respuesta oportuna ante desviaciones.
- Es fundamental actualizar los procedimientos operativos estándar y asegurar que todos los procesos de arranque, parada, calibración y limpieza estén documentados y sean seguidos por el personal operativo. Asimismo, se recomienda fortalecer el plan de mantenimiento preventivo y autónomo, estableciendo rutinas calendarizadas y listas de verificación que reduzcan la ocurrencia de fallas no planificadas.
- Se recomienda crear un comité de mejora continua integrado por representantes de producción, mantenimiento y calidad, con reuniones semanales para revisar los indicadores y definir acciones correctivas. A la par, se debe implementar un plan de capacitación continua enfocado en metodologías de mejora (Ishikawa, Pareto y SMED), que promueva la autonomía operativa y el trabajo colaborativo del personal, fomentando así una cultura organizacional orientada a resultados.
- Se recomienda aplicar de forma trimestral el análisis de Pareto sobre las causas de paradas y fallas registradas, tanto por tiempo como por frecuencia, para priorizar acciones correctivas y recursos hacia las causas que generan mayor impacto en la eficiencia.

- Del análisis de la disponibilidad de las máquinas de los Anexos 8 y 9 para los formatos 20 litros y 500 ml sin gas, se observa que, aunque en teoría el equipo podría operar las 24 horas los 7 días de la semana, en la práctica existen importantes variaciones en el tiempo efectivo de operación. Los registros muestran días con una alta utilización —superiores al 80 %—, pero también jornadas con valores mínimos inferiores al 10 %. Esta irregularidad evidencia que el potencial operativo del equipo no se está aprovechando al 100 %, lo que afecta directamente el indicador global de eficiencia (OEE). Se recomienda implementar el registro detallado de paradas para distinguir causas internas y externas, y programar mantenimientos preventivos en periodos de menor disponibilidad. Además, ajustar la planificación de producción según recursos críticos como el agua.

REFERENCIAS

- [1] A. K. Bhardwaj, S. Sundaram, K. K. Yadav, and A. L. Srivastav, “An overview of silver nanoparticles as promising materials for water disinfection,” *Environ Technol Innov*, vol. 23, p. 101721, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.eti.2021.101721.
- [2] SIDEL, “Manual Usuario SBO Universal2ECO 20/16 - N° 12547,” 2011, *Mexico*.
- [3] D. G. Gonzalez *et al.*, “A Ubiquitous Service-Oriented Automatic Optical Inspection Platform for Textile Industry,” in *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 2021, pp. 217–225. doi: 10.1016/j.procs.2021.12.008.
- [4] M. C. Morrissey, G. J. Brewer, W. J. Williams, T. Quinn, and D. J. Casa, “Impact of occupational heat stress on worker productivity and economic cost,” Dec. 01, 2021, *John Wiley and Sons Inc*. doi: 10.1002/ajim.23297.
- [5] D. Wahyuni, N. Panjaitan, I. Budiman, and E. Dora Manurung, “Hazard identification of repetitive truck loading activities in mineral water industry,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, Jun. 2020. doi: 10.1088/1757-899X/801/1/012102.
- [6] M. Barsalou, “CASE STUDY IN HYPOTHESIS PRIORITIZATION WITH ISHIKAWA DIAGRAMS,” *Management Systems in Production Engineering*, vol. 31, no. 4, pp. 381–388, Dec. 2023, doi: 10.2478/mspe-2023-0042.
- [7] ISO, “ISO 9000:2015 Sistemas de gestión de calidad - Fundamentos y vocabulario,” Ginebra, Sep. 2015. [Online]. Available: www.iso.org
- [8] B. Wurm and J. Mendling, *A Theoretical Model for Business Process Standardization*. in *Lecture Notes in Business Information Processing*. Viena: Springer International Publishing, 2020. doi: 10.1007/978-3-030-58638-6.
- [9] F. Rey Sacristán, *Mantenimiento preventivo: planificación, diseño y optimización*, FUNDACION CONFEMETAL. Madrid, 2024.
- [10] B. A. Burgos-Carpio, V. M. Guamán-Sarango, C. A. Nieto-Cañarte, M. C. Vélez-Ruiz, and M. G. Jiménez-Icaza, “Zonificación agroecológica para la sostenibilidad en tres tipos de cultivos del cantón La Maná, Ecuador,” *Ibero-American Journal of Education & Society Research*, vol. 4, no. 5, pp. 211–219, Aug. 2024, doi: 10.56183/iberoeds.v4is.695.
- [11] Y. Ouyang and X. Luo, “Effects of physical fatigue superimposed on high temperatures on construction workers’ cognitive performance,” *Saf Sci*, vol. 181, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.ssci.2024.106705.
- [12] E. L. Vargas Crisóstomo and J. W. Camero Jiménez, “Aplicación del Lean Manufacturing (5s y Kaizen) para el incremento de la productividad en el área de producción de adhesivos acuosos de una empresa manufacturera,” *Industrial Data*, vol. 24, no. 2, pp. 249–271, Dec. 2021, doi: 10.15381/idata.v24i2.19485.
- [13] Luis Vicente Socconini Pérez Gómez and Marco Antonio Barrantes Verdín, *Manual práctico de las 5's para ganar en calidad y productividad*, 4ta edición. Marge Books, 2023.

- [14] J. Anand, M. Ganesan Alias Kanagaraj, and S. P. S. Arul Doss, “Impact Of Training And Development Of Employees Efficiency And Effectiveness-Empirical Evidence,” *J Pharm Negat Results*, vol. Volume 13, 2022, doi: 10.47750/pnr.2022.13.S07.199.
- [15] I. Zayas Barreras, “La mejora continua: Elemento de competitividad empresarial Continuous improvement: Corporate competitiveness element.” [Online]. Available: <http://orcid.org/0000-0002-5643-5711>
- [16] Carlos A. Díaz Contreras, David A. Catari Vargas, Corazon De Jesús Murga Villanueva, Gabriela A. Díaz Vidal, and Vania F. Quezada Lara, “Efectividad general de equipos (OEE) ajustado por costos,” Venezuela, pp. 158–158, Mar. 2020. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33962773006>
- [17] Mohammed Hamed Ahmed Soliman, *Overall Equipment Effectiveness Simplified: Analyzing OEE to find the Improvement Opportunities*, 5th ed. 2020.
- [18] T. Haddad, B. W. Shaheen, and I. Németh, “Improving Overall Equipment Effectiveness (OEE) of Extrusion Machine Using Lean Manufacturing Approach,” *Manufacturing Technology*, vol. 21, no. 1, pp. 56–64, 2021, doi: 10.21062/mft.2021.006.
- [19] S. Singh, J. S. Khamba, and D. Singh, “Analysis and directions of OEE and its integration with different strategic tools,” Apr. 01, 2021, *SAGE Publications Ltd*. doi: 10.1177/0954408920952624.
- [20] Bryan Carlos Herrera Ccari, “Propuesta de un sistema de indicadores de eficiencia general de equipos (OEE) para mejorar la productividad en el área de tejeduría de una empresa textil,” Lima, 2020.
- [21] B. C. Herrera Ccari, “Propuesta de un sistema de indicadores de eficiencia general de equipos (OEE) para mejorar la productividad en el área de tejeduría de una empresa textil,” Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, 2020.
- [22] José Rodríguez Lugo, “IMPLEMENTACIÓN Y VENTAJAS DE UN SISTEMA DE OEE PARA LA INDUSTRIA DE MANUFACTURA,” EDP, 2021.
- [23] Nohemy Miriam Canahua Apaza, “Implementación de la metodología TPM-LEAN Manufacturing para mejorar la eficiencia OEE de la producción de repuestos en una empresa metalmecánica,” UniversidadNacionaldeSanMarcos, Lima, 2021.
- [24] P. Dobra and J. Jósvali, “Overall Equipment Effectiveness (OEE) Complexity for Semi-Automatic Automotive Assembly Lines.”

ANEXOS

Anexo 1. Formato para registro de datos operativos en producción.

	GESTIÓN DE CALIDAD Y PROCESOS	Fecha de emisión:
	REGISTRO OEE PRODUCCIÓN	Versión:
	XX-YY-ZZ-001	Fecha de revisión:

ORDEN FABRICACIÓN: <input type="text"/>	RECETA: <input type="text"/>	FECHA FABRICACIÓN: <input type="text"/>
DESCRIPCIÓN: <input type="text"/>		
CANTIDAD REQUERIDA: <input type="text"/>		
CANTIDAD PRODUCIDA: <input type="text"/>		

MANO DE OBRA		MÁQUINAS	
N° Empleados	Tiempo Real	Descripción Máquina	Operador
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

HORA INICIO <input type="text"/>	TURNO <input type="text"/>
HORA FINAL <input type="text"/>	

TURNO 1	FALLAS							
HORAS								
05:00 - 05:30								
05:30 - 07:30								
07:30 - 09:30								
09:30 - 11:30								
11:30 - 13:30								
13:30 - 15:30								
15:30 - 17:30								
17:30 - 19:30								
19:30 - 21:30								
21:30 - 23:30								

TURNO 2	FALLAS							
HORAS								
00:00 - 00:30								
00:30 - 01:00								
01:30 - 02:00								
02:00 - 02:30								
02:30 - 03:00								
03:00 - 03:30								
03:30 - 04:00								
04:00 - 04:30								
04:30 - 05:00								
05:00 - 05:30								

OBSERVACIONES									
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

REVISADO POR:									
	<input type="text"/>								
	Supervisor de producción								

Anexo 2. Codificación estandarizada de fallas y paradas operativas.

	GESTIÓN DE CALIDAD Y PROCESOS	Fecha de emisión:
	CÓDIGO DE PARADAS PLANIFICADAS Y NO PLANIFICADAS	Versión:
	XX-YY-ZZ-002	Fecha de revisión:

Código falla	Descripción de Falla / Parada	Responsable	Impacto
100	Falla mecánica sopladora	Mantenimiento	DISPONIBILIDAD
101	Falla mecánica llenadora	Mantenimiento	DISPONIBILIDAD
102	Falla mecánica tapadora	Mantenimiento	DISPONIBILIDAD
103	Falla mecánica codificadora	Mantenimiento	DISPONIBILIDAD
104	Falla eléctrica sopladora	Mantenimiento	DISPONIBILIDAD
105	Falla eléctrica llenadora	Mantenimiento	DISPONIBILIDAD
106	Falla eléctrica tapadora	Mantenimiento	DISPONIBILIDAD
107	Falla eléctrica codificadora	Mantenimiento	DISPONIBILIDAD
108	Falla mecánica enjabadora	Mantenimiento	DISPONIBILIDAD
109	Falla eléctrica enjabadora	Mantenimiento	DISPONIBILIDAD
110	Falla mecánica banda transportadora	Mantenimiento	DISPONIBILIDAD
111	Falla eléctrica banda transportadora	Mantenimiento	DISPONIBILIDAD
114	Falta de aire comprimido	Mantenimiento	DISPONIBILIDAD
115	Preparación de Línea (Alistamiento de material)	Producción	EFICIENCIA
116	Falla de máquina etiquetadora	Producción	EFICIENCIA
117	Cambio de Formato	Producción	EFICIENCIA
118	Paro por incumplimiento de control de atributos	Producción	EFICIENCIA
119	Capacitación / Reunión / Administrativos	Todos	PLANIFICADO
120	Liberación del Producto	Calidad	CALIDAD
121	Falla por desviaciones de material de empaque	Calidad	CALIDAD
122	Prueba industrial	Calidad	CALIDAD
123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	Todos	PLANIFICADO
124	Limpieza de área	Producción	EFICIENCIA
125	Corte de energía eléctrica	Mantenimiento	EFICIENCIA
126	Recodificación	Producción	EFICIENCIA
127	Material de Empaque Defectuoso	Producción	EFICIENCIA
128	Calibración de la línea	Producción	EFICIENCIA
129	Limpieza embotelladora (banda, embotelladora, tubería)	Producción	EFICIENCIA
130	Para por falta de agua	Producción	EFICIENCIA
131	Ruptura de vidrio	Producción	EFICIENCIA
132	Daño en horno	Mantenimiento	DISPONIBILIDAD
133	Plástico brandeado (Envolvedora)	Calidad	CALIDAD
134	Paletizado manual por cambio de formato	Producción	EFICIENCIA
135	Falta de nitrógeno	Producción	EFICIENCIA
136	Falta de CO2	Producción	EFICIENCIA
137	Falta de goma	Producción	EFICIENCIA
138	Carbonatación	Producción	EFICIENCIA

Anexo 4. Dashboard diario de OEE en planta.

	GESTIÓN DE CALIDAD Y PROCESOS	Fecha de revisión:
	REGISTRO DE OEE	Versión:
	XX-YY-ZZ-003	Fecha de emisión:




MES:																																PROMEDIO FINAL		
LÍNEA	META	DÍA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29		30	31
BOTELLÓN	75%	RESULTADO:																																
BOTELLAS PET 500 ml	75%	RESULTADO:																																

Anexo 5. Tríptico informativo sobre el OEE.

¿Qué es el OEE?

El OEE (*Overall Equipment Efficiency*) que se traduce como Eficiencia Global del Equipo es un indicador que mide cuán bien aprovechamos nuestras máquinas en la planta. Nos ayuda a identificar las áreas donde podemos ser más rápidos, eficientes y reducir tiempos de inactividad.

Tiene 3 componentes:

- Disponibilidad:** Mide el tiempo que la máquina está realmente operativa en comparación con el tiempo total disponible para operar. 
- Rendimiento:** Mide la velocidad de producción real del equipo en comparación con su capacidad máxima de producción. 
- Calidad:** Mide la proporción de productos defectuosos o no conformes en relación con el total producido. 

¿Cómo se calcula el OEE?

Su cálculo es sencillo, pero el resultado nos sorprenderá.

Consideremos los 3 componentes detallados:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo real de producción}}{\text{Tiempo disponible}}$$

Tiempo real de producción: Es el tiempo que el equipo estuvo operando sin novedades.

Tiempo disponible: Es el tiempo total en el que el equipo podría haber estado operando sin paradas por averías.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Producción real}}{\text{Producción ideal}}$$

Producción real: Es la cantidad de productos que realmente se produjeron.

Producción ideal: Es la cantidad máxima de productos que el equipo debería producir si estuviera funcionando a su capacidad máxima.

$$\text{Calidad} = \frac{\text{Productos buenos}}{\text{Producción real}}$$

Productos buenos: Son los productos que cumplen con los estándares de calidad y pueden salir a la venta.

Producción real: Es la cantidad total de productos producidos, incluidos los defectuosos.


OEE = Disponibilidad * Rendimiento * Calidad

¿Cómo nos beneficia el OEE?

- Menos paros inesperados:** Podemos identificar los paros en producción y reducir el tiempo perdido mediante planes de acción.
- Mejor calidad:** Al reducir defectos, ahorramos tiempo en reprocesos y obtenemos productos de mayor calidad.
- Mejor flujo de trabajo:** Con menos interrupciones, podemos trabajar de forma más fluida y continua, reduciendo el estrés.

¿Cómo implementarlo en nuestra planta?

- Formación:** Recibirás una capacitación sencilla para entender cómo funciona OEE y cómo leer los datos.
- Trabajo en equipo:** El OEE es un esfuerzo conjunto. Juntos podemos identificar problemas y buscar soluciones.
- Apoyo continuo:** Siempre tendrás el apoyo del equipo para resolver dudas y mejorar continuamente.



¿Sabías qué?
Una empresa de clase mundial tiene un OEE de 85%.

Anexo 6. Datos recopilados en la prueba piloto para botellones de 20 litros y botellas de 500 ml.

FECHA	FORMATO	TIEMPO HORAS	TIEMPO MINUTOS	TIEMPO OPERATIVO	TIEMPO PNP	TIEMPO PP	UNIDADES MALAS	PRODUCCIÓN BOTELLONES/ PACAS	DISPONIBILIDAD	CALIDAD	RENDIMIENTO	OEE
18/7/2025	20 litros	1.7	100.2	5.2	95.0	0.0	5.0	1440.0	5.2	99.7	86.2	4.5
9/7/2025	20 litros	18.7	1120.2	455.2	605.0	60.0	3.0	5836.0	42.9	99.9	31.3	13.4
15/7/2025	20 litros	19.6	1174.2	507.2	607.0	60.0	8.0	7142.0	45.5	99.9	36.5	16.6
10/7/2025	20 litros	18.8	1129.8	902.8	197.0	30.0	5.0	5609.0	82.1	99.9	29.8	24.4
8/7/2025	20 litros	16.4	985.2	680.2	245.0	60.0	5.0	5836.0	73.5	99.9	35.5	26.1
1/7/2025	20 litros	17.7	1060.2	520.2	360.0	180.0	20.0	1796.0	59.1	98.9	44.9	26.2
11/7/2025	20 litros	20.2	1213.8	767.8	386.0	60.0	15.0	9979.0	66.5	99.8	49.3	32.8
17/7/2025	20 litros	11.2	670.8	603.8	37.0	30.0	6.0	4359.0	94.2	99.9	39.0	36.7
16/7/2025	20 litros	18.9	1134.0	926.0	148.0	60.0	3.0	8549.0	86.2	100.0	45.2	39.0
7/7/2025	20 litros	15.4	924.0	664.0	200.0	60.0	2.0	8009.0	76.9	100.0	52.0	40.0
17/7/2025	20 litros	15.6	936.0	786.0	90.0	60.0	10.0	7074.0	89.7	99.9	45.3	40.6
12/7/2025	20 litros	20.2	1210.2	1078.2	72.0	60.0	23.0	9027.0	93.7	99.7	44.8	41.8
13/7/2025	20 litros	6.6	394.8	300.8	64.0	30.0	5.0	4082.0	82.5	99.9	62.0	51.1
5/8/2025	20 litros	1.8	105.0	80.0	25.0	0.0	3.0	1201.0	76.2	99.8	68.6	52.2
13/7/2025	20 litros	1.7	100.2	71.2	14.0	15.0	2.0	1212.0	83.6	99.8	72.6	60.5
3/7/2025	20 litros	0.7	42.0	27.0	15.0	0.0	1.0	669.0	64.3	99.9	95.6	61.3
4/8/2025	20 litros	2.0	120.0	65.0	25.0	30.0	0.0	1742.0	72.2	100.0	87.1	62.9
8/7/2025	20 litros	1.2	70.8	27.8	13.0	30.0	1.0	1092.0	68.1	99.9	92.5	63.0
2/7/2025	20 litros	1.4	82.8	17.8	5.0	60.0	2.0	1121.0	78.1	99.8	81.2	63.3
7/7/2025	20 litros	1.4	84.0	64.0	20.0	0.0	2.0	1338.0	76.2	99.9	95.6	72.7

FECHA	FORMATO	TIEMPO HORAS	TIEMPO MINUTOS	TIEMPO OPERATIVO	TIEMPO PNP	TIEMPO PP	UNIDADES MALAS	PRODUCCIÓN BOTELLONES/ PACAS	DISPONIBILIDAD	CALIDAD	RENDIMIENTO	OEE
1/8/2025	20 litros	2.0	120.0	90.0	15.0	15.0	10.0	1742.0	85.7	99.4	87.1	74.2
13/7/2025	20 litros	2.2	129.6	97.6	17.0	15.0	5.0	1968.0	85.2	99.7	91.1	77.4
16/7/2025	20 litros	2.0	120.0	90.0	20.0	10.0	1.0	1950.0	81.8	99.9	97.5	79.7
25/7/2025	20 litros	1.7	100.2	78.2	7.0	15.0	5.0	1551.0	91.8	99.7	92.9	85.0
5/7/2025	20 litros	2.6	154.8	124.8	15.0	15.0	5.0	2481.0	89.3	99.8	96.2	85.7
31/7/2025	20 litros	1.5	87.0	65.0	7.0	15.0	5.0	1383.0	90.3	99.6	95.4	85.8
12/7/2025	20 litros	2.3	135.0	115.0	5.0	15.0	0.0	2146.0	95.8	100.0	95.4	91.4
28/7/2025	20 litros	2.3	138.0	108.0	0.0	30.0	3.0	2186.0	100.0	99.9	95.0	94.9
18/7/2025	20 litros	21.2	1269.0	1064.0	190.0	15.0	4.0	5625.0	84.8	99.9	26.6	22.6
19/7/2025	20 litros	17.9	1075.2	938.2	77.0	60.0	5.0	9320.0	92.4	99.9	52.0	48.0
20/7/2025	20 litros	4.0	240.0	150.0	30.0	60.0	1.0	3705.0	83.3	100.0	92.6	77.2
22/7/2025	20 litros	18.8	1129.8	1039.8	30.0	60.0	5.0	10469.0	97.2	100.0	55.6	54.0
23/7/2025	20 litros	3.0	180.0	105.0	15.0	60.0	1.0	2900.0	87.5	100.0	96.7	84.6
27/7/2025	20 litros	18.5	1110.0	1035.0	15.0	60.0	5.0	11412.0	98.6	100.0	61.7	60.8
25/7/2025	20 litros	14.7	880.2	795.2	25.0	60.0	2.0	6599.0	97.0	100.0	45.0	43.6
26/7/2025	20 litros	18.5	1110.0	1020.0	30.0	60.0	2.0	10668.0	97.1	100.0	57.7	56.0
27/7/2025	20 litros	4.1	244.8	169.8	15.0	60.0	2.0	3710.0	91.9	99.9	90.9	83.5
28/7/2025	20 litros	6.3	379.2	289.2	30.0	60.0	5.0	6085.0	90.6	99.9	96.3	87.2
30/7/2025	20 litros	17.0	1020.0	928.0	32.0	60.0	5.0	9985.0	96.7	99.9	58.7	56.7
30/7/2025	20 litros	16.9	1015.8	918.8	37.0	60.0	4.0	9287.0	96.1	100.0	54.9	52.7
1/8/2025	20 litros	9.0	541.2	446.2	35.0	60.0	1.0	8400.0	92.7	100.0	93.1	86.3
2/8/2025	20 litros	20.0	1201.2	541.2	600.0	60.0	3.0	5409.0	47.4	99.9	27.0	12.8
3/8/2025	20 litros	12.0	721.8	406.8	255.0	60.0	5.0	5409.0	61.5	99.9	45.0	27.6
4/8/2025	20 litros	13.8	829.8	667.8	102.0	60.0	3.0	6789.0	86.7	100.0	49.1	42.6
5/8/2025	20 litros	18.5	1107.0	973.0	74.0	60.0	5.0	8585.0	92.9	99.9	46.5	43.2
6/8/2025	20 litros	20.3	1216.8	676.8	480.0	60.0	5.0	7546.0	58.5	99.9	37.2	21.8

FECHA	FORMATO	TIEMPO HORAS	TIEMPO MINUTOS	TIEMPO OPERATIVO	TIEMPO PNP	TIEMPO PP	UNIDADES MALAS	PRODUCCIÓN BOTELLONES/ PACAS	DISPONIBILIDAD	CALIDAD	RENDIMIENTO	OEE
5/7/2025	500 ml sin gas	13.9	835.2	715.2	60.0	60.0	15.0	8073.0	92.3	100.0	77.3	71.3
5/7/2025	500 ml sin gas	4.5	270.0	140.0	70.0	60.0	5.0	2615.0	66.7	100.0	77.5	51.6
6/7/2025	500 ml sin gas	3.2	190.2	100.2	30.0	60.0	20.0	2205.0	77.0	99.9	92.7	71.3
6/7/2025	500 ml sin gas	3.7	220.2	128.2	32.0	60.0	7.0	1486.5	80.0	100.0	54.0	43.2
6/7/2025	500 ml sin gas	2.0	120.0	75.0	45.0	0.0	5.0	896.0	62.5	100.0	59.7	37.3
8/7/2025	500 ml sin gas	3.8	229.8	199.8	30.0	0.0	20.0	1347.0	86.9	99.9	46.9	40.7
9/7/2025	500 ml sin gas	17.8	1069.8	984.8	25.0	60.0	50.0	8688.0	97.5	100.0	65.0	63.3
9/7/2025	500 ml sin gas	17.5	1050.0	915.0	75.0	60.0	32.0	8688.0	92.4	100.0	66.2	61.2
10/7/2025	500 ml sin gas	6.2	370.8	236.8	74.0	60.0	5.0	4154.0	76.2	100.0	89.6	68.3
17/7/2025	500 ml sin gas	6.4	385.2	340.2	30.0	15.0	15.0	3426.0	91.9	100.0	71.2	65.4
18/7/2025	500 ml sin gas	24.0	1438.8	1309.8	69.0	60.0	50.0	14697.0	95.0	100.0	81.7	77.6
18/7/2025	500 ml sin gas	2.0	120.0	75.0	30.0	15.0	15.0	1477.0	71.4	99.9	98.5	70.3
19/7/2025	500 ml sin gas	4.3	259.8	193.8	66.0	0.0	13.0	3381.0	74.6	99.9	65.1	48.5
19/7/2025	500 ml sin gas	4.3	259.8	204.8	55.0	0.0	8.0	2446.0	78.8	99.9	47.1	37.1
19/7/2025	500 ml sin gas	1.2	70.2	45.2	25.0	0.0	2.0	406.0	64.4	100.0	77.1	49.6
2/8/2025	500 ml sin gas	7.0	421.8	311.8	50.0	60.0	15.0	3998.0	86.2	100.0	75.8	65.3
2/8/2025	500 ml sin gas	4.8	286.2	171.2	55.0	60.0	12.0	3462.7	75.7	100.0	96.8	73.2

Anexo 7. Tiempos de paradas registradas en la prueba piloto para la línea de 20 litros y 500 ml.

FECHA	FORMATO	CÓDIGO FALLA	CAUSA	TIPO	TIEMPO [min]
17/2/2025	20 litros	101	Falla mecánica llenadora	DISPONIBILIDAD	10
17/2/2025	20 litros	102	Falla mecánica tapadora	DISPONIBILIDAD	10
17/2/2025	20 litros	105	Falla eléctrica llenadora	DISPONIBILIDAD	10
17/2/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	10
12/5/2025	20 litros	126	Recodificación	EFICIENCIA	25
12/5/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	30
1/7/2025	20 litros	117	Cambio de Formato	EFICIENCIA	45
1/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	180
1/7/2025	20 litros	115	Preparación de Línea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	15
1/7/2025	20 litros	130	Para por falta de agua	EFICIENCIA	300
2/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
2/7/2025	20 litros	115	Preparación de Línea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	5
3/7/2025	20 litros	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	15
5/7/2025	20 litros	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	15
5/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	15
7/7/2025	20 litros	115	Preparación de Línea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	5
7/7/2025	20 litros	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	15
8/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	30
8/7/2025	20 litros	118	Paro por incumplimiento de control de atributos	EFICIENCIA	3
8/7/2025	20 litros	115	Preparación de Línea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	5
8/7/2025	20 litros	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	5
12/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	15
12/7/2025	20 litros	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	5
13/7/2025	20 litros	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	7
13/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	15
13/7/2025	20 litros	115	Preparación de Línea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	10

FECHA	FORMATO	CÓDIGO FALLA	CAUSA	TIPO	TIEMPO [min]
13/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	15
13/7/2025	20 litros	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	9
13/7/2025	20 litros	115	Preparación de Linea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	5
16/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	10
16/7/2025	20 litros	115	Preparación de Linea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	5
16/7/2025	20 litros	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	10
16/7/2025	20 litros	117	Cambio de Formato	EFICIENCIA	5
18/7/2025	20 litros	132	Daño en horno	DISPONIBILIDAD	20
18/7/2025	20 litros	115	Preparación de Linea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	15
18/7/2025	20 litros	125	Corte de energía eléctrica	EFICIENCIA	30
18/7/2025	20 litros	134	Paletizado manual por cambio de formato	EFICIENCIA	30
21/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	30
21/7/2025	20 litros	132	Daño en horno	DISPONIBILIDAD	15
21/7/2025	20 litros	124	Limpieza de área	EFICIENCIA	18
21/7/2025	20 litros	115	Preparación de Linea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	15
24/7/2025	20 litros	115	Preparación de Linea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	11
24/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	15
24/7/2025	20 litros	120	Liberación del Producto	CALIDAD	40
25/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	15
25/7/2025	20 litros	115	Preparación de Linea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	7
28/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	30
29/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	10
29/7/2025	20 litros	115	Preparación de Linea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	9
31/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	15
31/7/2025	20 litros	115	Preparación de Linea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	7
1/8/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	15
1/8/2025	20 litros	110	Falla mecánica banda transportadora	DISPONIBILIDAD	5
1/8/2025	20 litros	111	Falla eléctrica banda transportadora	DISPONIBILIDAD	5
1/8/2025	20 litros	115	Preparación de Linea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	5
4/8/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	30

FECHA	FORMATO	CÓDIGO FALLA	CAUSA	TIPO	TIEMPO [min]
4/8/2025	20 litros	110	Falla mecánica banda transportadora	DISPONIBILIDAD	7
4/8/2025	20 litros	105	Falla eléctrica llenadora	DISPONIBILIDAD	10
4/8/2025	20 litros	115	Preparación de Linea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	8
5/8/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	0
5/8/2025	20 litros	115	Preparación de Linea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	15
5/8/2025	20 litros	103	Falla mecánica codificadora	DISPONIBILIDAD	10
7/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
7/7/2025	20 litros	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	20
7/7/2025	20 litros	130	Para por falta de agua	EFICIENCIA	180
8/7/2025	20 litros	130	Para por falta de agua	EFICIENCIA	240
8/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
8/7/2025	20 litros	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	5
9/7/2025	20 litros	130	Para por falta de agua	EFICIENCIA	600
9/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
9/7/2025	20 litros	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	5
10/7/2025	20 litros	130	Para por falta de agua	EFICIENCIA	180
10/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	30
10/7/2025	20 litros	127	Material de Empaque Defectuoso	EFICIENCIA	5
10/7/2025	20 litros	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	12
11/7/2025	20 litros	130	Para por falta de agua	EFICIENCIA	360
11/7/2025	20 litros	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	15
11/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
11/7/2025	20 litros	121	Falla por desviaciones de material de empaque	CALIDAD	11
12/7/2025	20 litros	130	Para por falta de agua	EFICIENCIA	45
12/7/2025	20 litros	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	15
12/7/2025	20 litros	115	Preparación de Linea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	5
12/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
12/7/2025	20 litros	116	Falla de máquina etiquetadora	EFICIENCIA	2
12/7/2025	20 litros	114	Falta de aire comprimido	DISPONIBILIDAD	5
13/7/2025	20 litros	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	15

FECHA	FORMATO	CÓDIGO FALLA	CAUSA	TIPO	TIEMPO [min]
13/7/2025	20 litros	125	Corte de energía eléctrica	EFICIENCIA	9
13/7/2025	20 litros	130	Para por falta de agua	EFICIENCIA	30
13/7/2025	20 litros	115	Preparación de Linea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	10
13/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	30
17/7/2025	20 litros	130	Para por falta de agua	EFICIENCIA	25
17/7/2025	20 litros	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	12
17/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	30
15/7/2025	20 litros	130	Para por falta de agua	EFICIENCIA	600
15/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
15/7/2025	20 litros	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	7
16/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
16/7/2025	20 litros	130	Para por falta de agua	EFICIENCIA	120
16/7/2025	20 litros	110	Falla mecánica banda transportadora	DISPONIBILIDAD	7
16/7/2025	20 litros	111	Falla eléctrica banda transportadora	DISPONIBILIDAD	16
16/7/2025	20 litros	115	Preparación de Linea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	5
17/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
17/7/2025	20 litros	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	15
17/7/2025	20 litros	115	Preparación de Linea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	15
17/7/2025	20 litros	130	Para por falta de agua	EFICIENCIA	60
18/7/2025	20 litros	130	Para por falta de agua	EFICIENCIA	180
18/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	15
18/7/2025	20 litros	115	Preparación de Linea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	10
19/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
19/7/2025	20 litros	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	15
19/7/2025	20 litros	118	Paro por incumplimiento de control de atributos	EFICIENCIA	2
19/7/2025	20 litros	130	Para por falta de agua	EFICIENCIA	60
20/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
20/7/2025	20 litros	130	Para por falta de agua	EFICIENCIA	30
22/7/2025	20 litros	130	Para por falta de agua	EFICIENCIA	15
22/7/2025	20 litros	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	15

FECHA	FORMATO	CÓDIGO FALLA	CAUSA	TIPO	TIEMPO [min]
22/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
23/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
23/7/2025	20 litros	115	Preparación de Linea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	5
23/7/2025	20 litros	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	10
27/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
27/7/2025	20 litros	115	Preparación de Linea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	15
25/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
25/7/2025	20 litros	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	10
25/7/2025	20 litros	115	Preparación de Linea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	15
26/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
26/7/2025	20 litros	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	15
26/7/2025	20 litros	130	Para por falta de agua	EFICIENCIA	15
27/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
27/7/2025	20 litros	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	15
28/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
28/7/2025	20 litros	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	15
28/7/2025	20 litros	115	Preparación de Linea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	15
30/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
30/7/2025	20 litros	130	Para por falta de agua	EFICIENCIA	15
30/7/2025	20 litros	115	Preparación de Linea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	10
30/7/2025	20 litros	105	Falla eléctrica llenadora	DISPONIBILIDAD	7
30/7/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
30/7/2025	20 litros	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	15
30/7/2025	20 litros	115	Preparación de Linea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	15
30/7/2025	20 litros	124	Limpieza de área	EFICIENCIA	7
1/8/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
1/8/2025	20 litros	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	15
1/8/2025	20 litros	115	Preparación de Linea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	15
1/8/2025	20 litros	110	Falla mecánica banda transportadora	DISPONIBILIDAD	5
2/8/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60

FECHA	FORMATO	CÓDIGO FALLA	CAUSA	TIPO	TIEMPO [min]
2/8/2025	20 litros	130	Para por falta de agua	EFICIENCIA	600
3/8/2025	20 litros	130	Para por falta de agua	EFICIENCIA	240
3/8/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
3/8/2025	20 litros	115	Preparación de Linea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	10
3/8/2025	20 litros	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	5
4/8/2025	20 litros	130	Para por falta de agua	EFICIENCIA	60
4/8/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
4/8/2025	20 litros	115	Preparación de Linea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	15
4/8/2025	20 litros	101	Falla mecánica llenadora	DISPONIBILIDAD	27
5/8/2025	20 litros	130	Para por falta de agua	EFICIENCIA	45
5/8/2025	20 litros	101	Falla mecánica llenadora	DISPONIBILIDAD	9
5/8/2025	20 litros	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	15
5/8/2025	20 litros	115	Preparación de Linea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	5
5/8/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
6/8/2025	20 litros	130	Para por falta de agua	EFICIENCIA	420
6/8/2025	20 litros	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	15
6/8/2025	20 litros	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
6/8/2025	20 litros	101	Falla mecánica llenadora	DISPONIBILIDAD	45
5/7/2025	500 ml sin gas	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
5/7/2025	500 ml sin gas	115	Preparación de Linea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	15
5/7/2025	500 ml sin gas	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	15
5/7/2025	500 ml sin gas	100	Falla mecánica sopladora	DISPONIBILIDAD	10
5/7/2025	500 ml sin gas	102	Falla mecánica tapadora	DISPONIBILIDAD	10
5/7/2025	500 ml sin gas	106	Falla eléctrica tapadora	DISPONIBILIDAD	10
5/7/2025	500 ml sin gas	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
5/7/2025	500 ml sin gas	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	15
5/7/2025	500 ml sin gas	117	Cambio de Formato	EFICIENCIA	45
5/7/2025	500 ml sin gas	115	Preparación de Linea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	10
6/7/2025	500 ml sin gas	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
6/7/2025	500 ml sin gas	115	Preparación de Linea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	15

FECHA	FORMATO	CÓDIGO FALLA	CAUSA	TIPO	TIEMPO [min]
6/7/2025	500 ml sin gas	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	15
6/7/2025	500 ml sin gas	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
6/7/2025	500 ml sin gas	115	Preparación de Línea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	15
6/7/2025	500 ml sin gas	118	Paro por incumplimiento de control de atributos	EFICIENCIA	7
6/7/2025	500 ml sin gas	107	Falla eléctrica codificadora	DISPONIBILIDAD	10
6/7/2025	500 ml sin gas	115	Preparación de Línea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	15
6/7/2025	500 ml sin gas	100	Falla mecánica sopladora	DISPONIBILIDAD	30
8/7/2025	500 ml sin gas	115	Preparación de Línea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	15
8/7/2025	500 ml sin gas	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	15
9/7/2025	500 ml sin gas	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
9/7/2025	500 ml sin gas	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	15
9/7/2025	500 ml sin gas	120	Liberación del Producto	CALIDAD	10
9/7/2025	500 ml sin gas	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
9/7/2025	500 ml sin gas	115	Preparación de Línea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	15
9/7/2025	500 ml sin gas	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	60
9/7/2025	500 ml sin gas	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	60
9/7/2025	500 ml sin gas	115	Preparación de Línea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	10
9/7/2025	500 ml sin gas	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	15
9/7/2025	500 ml sin gas	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
10/7/2025	500 ml sin gas	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	15
10/7/2025	500 ml sin gas	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
10/7/2025	500 ml sin gas	115	Preparación de Línea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	10
10/7/2025	500 ml sin gas	102	Falla mecánica tapadora	DISPONIBILIDAD	4
10/7/2025	500 ml sin gas	117	Cambio de Formato	EFICIENCIA	45
10/7/2025	500 ml sin gas	115	Preparación de Línea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	10
10/7/2025	500 ml sin gas	118	Paro por incumplimiento de control de atributos	EFICIENCIA	8
17/7/2025	500 ml sin gas	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	15
17/7/2025	500 ml sin gas	115	Preparación de Línea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	15
17/7/2025	500 ml sin gas	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	15
18/7/2025	500 ml sin gas	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60

FECHA	FORMATO	CÓDIGO FALLA	CAUSA	TIPO	TIEMPO [min]
18/7/2025	500 ml sin gas	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	20
18/7/2025	500 ml sin gas	115	Preparación de Línea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	20
18/7/2025	500 ml sin gas	105	Falla eléctrica llenadora	DISPONIBILIDAD	14
18/7/2025	500 ml sin gas	130	Para por falta de agua	EFICIENCIA	15
18/7/2025	500 ml sin gas	120	Liberación del Producto	CALIDAD	15
18/7/2025	500 ml sin gas	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
18/7/2025	500 ml sin gas	115	Preparación de Línea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	15
18/7/2025	500 ml sin gas	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	15
18/7/2025	500 ml sin gas	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	30
19/7/2025	500 ml sin gas	125	Corte de energía eléctrica	EFICIENCIA	30
19/7/2025	500 ml sin gas	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	20
19/7/2025	500 ml sin gas	118	Paro por incumplimiento de control de atributos	EFICIENCIA	6
19/7/2025	500 ml sin gas	115	Preparación de Línea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	10
19/7/2025	500 ml sin gas	115	Preparación de Línea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	15
19/7/2025	500 ml sin gas	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	40
19/7/2025	500 ml sin gas	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	15
19/7/2025	500 ml sin gas	115	Preparación de Línea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	5
19/7/2025	500 ml sin gas	127	Material de Empaque Defectuoso	EFICIENCIA	5
2/8/2025	500 ml sin gas	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
2/8/2025	500 ml sin gas	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	15
2/8/2025	500 ml sin gas	115	Preparación de Línea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	15
2/8/2025	500 ml sin gas	102	Falla mecánica tapadora	DISPONIBILIDAD	9
2/8/2025	500 ml sin gas	103	Falla mecánica codificadora	DISPONIBILIDAD	11
2/8/2025	500 ml sin gas	128	Calibración de la línea	EFICIENCIA	15
2/8/2025	500 ml sin gas	115	Preparación de Línea (Alistamiento de material)	EFICIENCIA	20
2/8/2025	500 ml sin gas	123	Desayuno/Almuerzo/Merienda	PLANIFICADO	60
2/8/2025	500 ml sin gas	130	Para por falta de agua	EFICIENCIA	20

Anexo 8. Disponibilidad total en el día para la línea de botellones de 20 litros.

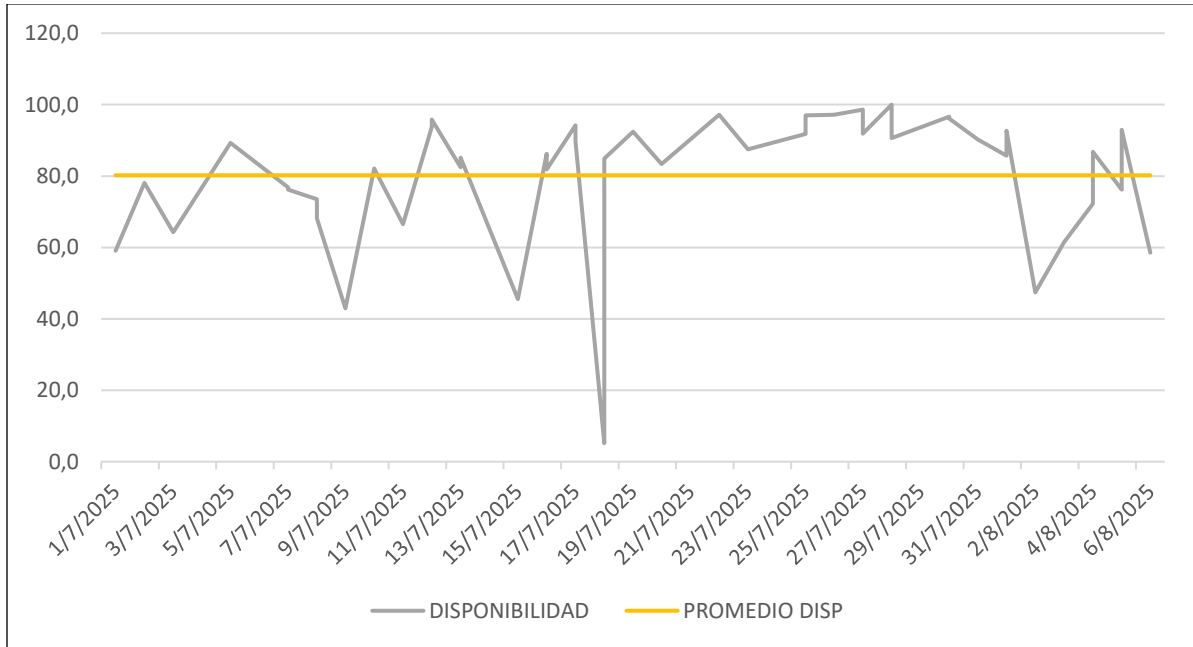
FECHA	FORMATO	TIEMPO EN QUE LA MÁQUINA ESTUVO OPERANDO [horas]	HORAS DISPONIBLES EN EL DÍA	DISPONIBILIDAD DE LA MÁQUINA EN EL DÍA [%]
1/7/2025	20 litros	17.7	24	74%
2/7/2025	20 litros	1.4	24	6%
3/7/2025	20 litros	0.7	24	3%
5/7/2025	20 litros	2.6	24	11%
7/7/2025	20 litros	15.4	24	64%
7/7/2025	20 litros	1.4	24	6%
8/7/2025	20 litros	16.4	24	68%
8/7/2025	20 litros	1.2	24	5%
9/7/2025	20 litros	18.7	24	78%
10/7/2025	20 litros	18.8	24	78%
11/7/2025	20 litros	20.2	24	84%
12/7/2025	20 litros	20.2	24	84%
12/7/2025	20 litros	2.3	24	10%
13/7/2025	20 litros	6.6	24	28%
13/7/2025	20 litros	1.7	24	7%
13/7/2025	20 litros	2.2	24	9%
15/7/2025	20 litros	19.6	24	82%
16/7/2025	20 litros	18.9	24	79%
16/7/2025	20 litros	2	24	8%
17/7/2025	20 litros	11.2	24	47%
17/7/2025	20 litros	15.6	24	65%
18/7/2025	20 litros	1.7	24	7%
18/7/2025	20 litros	21.2	24	88%
19/7/2025	20 litros	17.9	24	75%

20/7/2025	20 litros	4	24	17%
22/7/2025	20 litros	18.8	24	78%
23/7/2025	20 litros	3	24	13%
25/7/2025	20 litros	1.7	24	7%
25/7/2025	20 litros	14.7	24	61%
26/7/2025	20 litros	18.5	24	77%
27/7/2025	20 litros	18.5	24	77%
27/7/2025	20 litros	4.1	24	17%
28/7/2025	20 litros	2.3	24	10%
28/7/2025	20 litros	6.3	24	26%
30/7/2025	20 litros	17	24	71%
30/7/2025	20 litros	16.9	24	70%
31/7/2025	20 litros	1.5	24	6%
1/8/2025	20 litros	2	24	8%
1/8/2025	20 litros	9	24	38%
2/8/2025	20 litros	20	24	83%
3/8/2025	20 litros	12	24	50%
4/8/2025	20 litros	2	24	8%
4/8/2025	20 litros	13.8	24	58%
5/8/2025	20 litros	1.8	24	8%
5/8/2025	20 litros	18.5	24	77%
6/8/2025	20 litros	20.3	24	85%

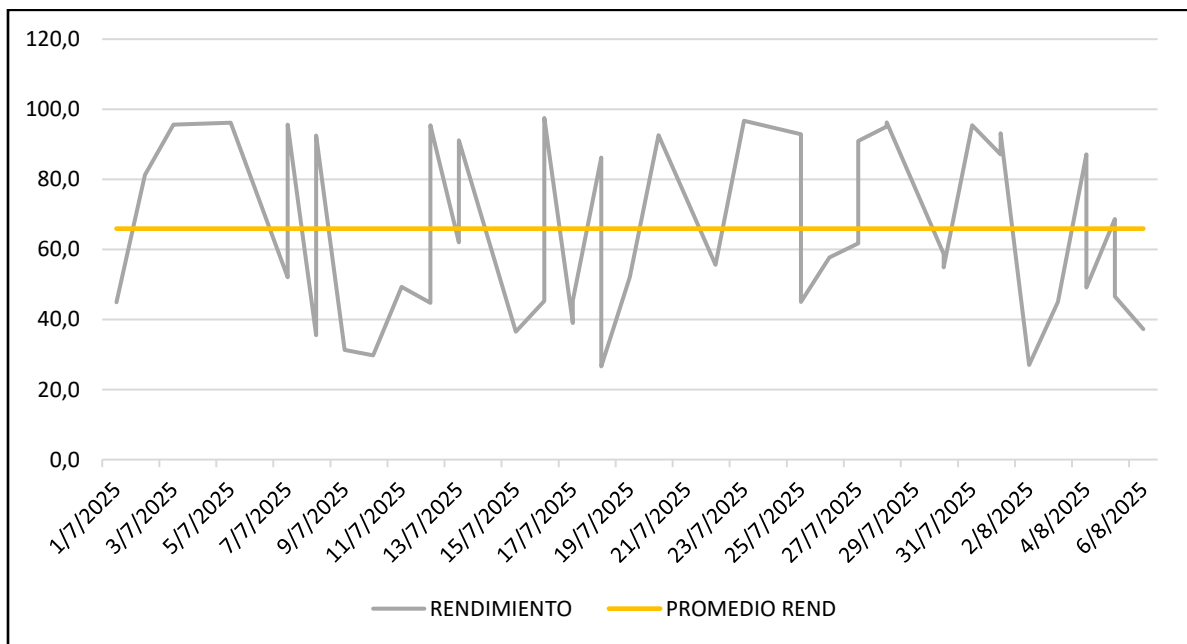
Anexo 9. Disponibilidad total en el día para la línea de botellas de 500 ml.

FECHA	FORMATO	TIEMPO EN QUE LA MÁQUINA ESTUVO OPERANDO [horas]	HORAS DISPONIBLES EN EL DÍA	DISPONIBILIDAD DE LA MÁQUINA EN EL DÍA [%]
5/7/2025	500 ml sin gas	13.9	24	58%
5/7/2025	500 ml sin gas	4.5	24	19%
6/7/2025	500 ml sin gas	3.2	24	13%
6/7/2025	500 ml sin gas	3.7	24	15%
6/7/2025	500 ml sin gas	2	24	8%
8/7/2025	500 ml sin gas	3.8	24	16%
9/7/2025	500 ml sin gas	17.8	24	74%
9/7/2025	500 ml sin gas	17.5	24	73%
10/7/2025	500 ml sin gas	6.2	24	26%
17/7/2025	500 ml sin gas	6.4	24	27%
18/7/2025	500 ml sin gas	24	24	100%
18/7/2025	500 ml sin gas	2	24	8%
19/7/2025	500 ml sin gas	4.3	24	18%
19/7/2025	500 ml sin gas	4.3	24	18%
19/7/2025	500 ml sin gas	1.2	24	5%
2/8/2025	500 ml sin gas	7	24	29%
2/8/2025	500 ml sin gas	4.8	24	20%

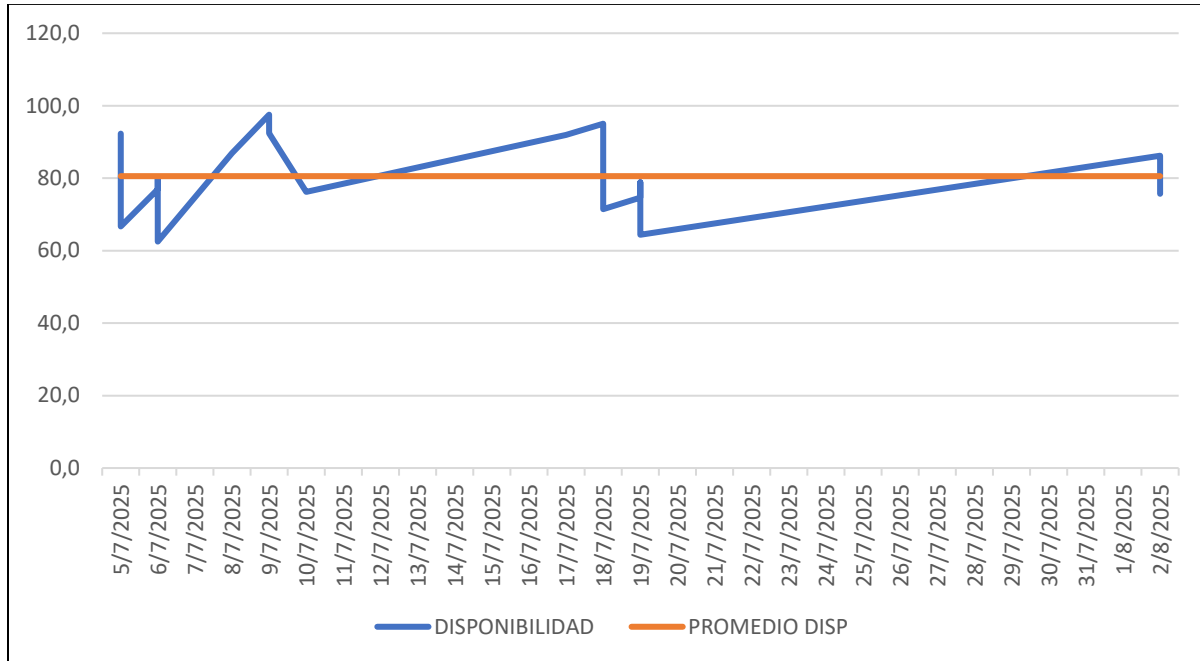
Anexo 10. Disponibilidad de máquina en el tiempo planificado de producción vs Tiempo para la línea de 20 litros



Anexo 11. Rendimiento de máquina en el tiempo planificado de producción vs Tiempo para la línea de 20 litros



Anexo 12. Disponibilidad de máquina en el tiempo planificado de producción vs Tiempo para la línea de 500 ml



Anexo 13. Rendimiento de máquina en el tiempo planificado de producción vs Tiempo para la línea de 500 ml

