

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

“Mejora de la eficiencia general semanal en una línea de empaque de  
detergente en polvo”

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Industrial**

Presentado por:

Steven Alfredo Alvarado Lavanda

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

## DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico principalmente a mis padres Alfredo Alvarado y Narcisa Lavanda quienes desde el inicio de mis pasos supieron distribuirse cada una de las funciones que tenían que desempeñar para poder formarme como un hombre de bien. Jamás escatimaron esfuerzos para brindarme la mejor educación posible, una educación basada en valores firmes como el respeto, la responsabilidad, la perseverancia y la solidaridad.

A mis abuelas Dora y Virginia por ser siempre un soporte en momentos difíciles, sus consejos ayudaron a tomar decisiones importantes en mi vida y aunque ya no cuento con mi abuela Virginia sé que desde el cielo me sigue cuidando y se siente orgullosa de mí.

A mis hermanos, Gabriel por ser un verdadero cómplice y amigo en el cual puedo confiar totalmente y Ronny por darme esa motivación para ser ejemplo para seguir y darte junto a nuestros padres una guía para que te formes adecuadamente.

## **AGRADECIMIENTOS**

Mis más sinceros agradecimientos a la empresa que me permitió desarrollar este proyecto incluyendo a las personas que formaron parte del equipo: Lourdes, Omar, Antonio y Michael.

A mi tutora Msc. Sofía López por guiarme en el desarrollo de este proyecto.

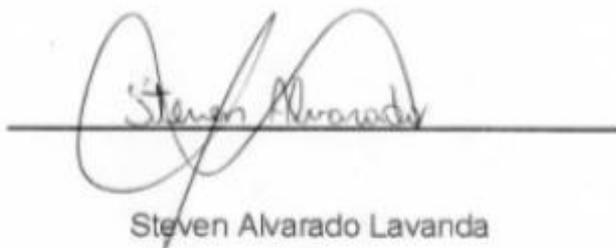
A mi Universidad especialmente a la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción.

A mi familia

A mis amigos de aula Gaby y Nelson por ayudarme siempre en todos los niveles académicos y como buenos amigos corregirme cuando descuidaba la Universidad por el trabajo, también a Fernanda por brindarme un apoyo emocional importante durante el desarrollo de este proyecto.

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Steven Alfredo Alvarado Lavanda* y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Steven Alvarado Lavanda

AUTOR

## EVALUADORES

A handwritten signature in black ink, which appears to be "Sofia Lopez Iglesias", is written over a horizontal dotted line. The signature is somewhat stylized and overlaps the line.

**Sofia Lopez Iglesias, Msc**.

PROFESORA DE LA MATERIA Y TUTORA

## RESUMEN

El presente proyecto se desarrolló en una multinacional especializada en productos de cuidado del hogar, específicamente en una planta de manufactura de detergente en polvo, donde sus líneas de envasado son medidas por un indicador denominado OEE el cual está relacionado directamente con la disponibilidad, calidad y rendimiento. Analizando las estadísticas brindadas por la empresa desde enero del 2019, se evidenció que la línea que más impacta económicamente a la planta es la 303 cuya OEE semanal se encuentra en promedio en 87,3% y se planteó que alcance en promedio 89%, teniendo en cuenta que la línea ha alcanzado valores de OEE semanal de hasta 92%. Para lograr el objetivo se definieron cuáles son las pérdidas más representativas haciendo un diagrama de Pareto al árbol de pérdidas de la línea y validando la información estadísticamente luego de una recolección de datos en gemba se identificó que en los formatos de 350g y 5000g es donde más afectación existe. Se determinó la causa raíz junto al equipo de trabajo mediante el uso de diagrama Ishikawa y los 5 ¿Por qué? y posteriormente se utilizó la lluvia de ideas para posibles soluciones y una evaluación impacto esfuerzo para determinar cuáles son las soluciones convenientes para el proyecto, todas estas analizadas directamente con el grupo de liderazgo de la empresa. La implementación de las soluciones seleccionadas se realizó en su totalidad dividiéndose en varias fases en donde se vieron involucrados contratistas, operadores, técnicos y todo el equipo del proyecto. Se respetaron las restricciones de planta y se mantuvo el estándar de seguridad que la hace referencia a nivel regional. Luego de implementar las mejoras se logró evidenciar que el porcentaje de OEE de la línea se encontraba en promedio en 90,7% superando el objetivo planteado para el proyecto de 89% y se generó un plan de control para asegurar que se mantenga.

**Palabras Clave:** OEE, Envasadora, Detergente, Mejora Continua.

## **ABSTRACT**

*This project is developed in a multinational specialized in-home care products, specifically in a powder detergent manufacturing plant, where its packing lines are measured by an OEE identified indicator which is directly related to availability, quality and Performance. Analyzing the statistics provided by the company since January 2019, it is evident that the line that most economically impacting the plant is 303 whose weekly OEE is on average at 87.3% and it was proposed that it reach an average of 89%, taking into account that the line has obtained weekly OEE values of up to 92%. To achieve the objective, the most representative losses were defined by making a Pareto diagram to the loss tree of the line and validating the information statistically after a data collection in gemba, it was identified that in the 350g and 500g formats it is where more affectation exists. The root cause was determined together with the work team by using the Ishikawa diagram and the 5 Why? and subsequently the brainstorm was used for possible solutions and an impact evaluation effort to determine which are the suitable solutions for the project, all these analyzed directly with the company's leadership group. The implementation of the selected solutions was carried out in its entirety, divided into several phases where contractors, operators, technicians and the entire project team were involved. Plant restrictions were respected and the safety standard that references it at the regional level was maintained. After implementing the improvements, it was possible to show that percentage of OEE of the line was on average at 90.7% exceeding the objective set for the 89% project and a control plan was generated to ensure that it is maintained.*

**Keywords:** *OEE, Packing Machine, Detergent, Continuous Improvement.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ABREVIATURAS .....	VI
SIMBOLOGÍA .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XII
ÍNDICE DE PLANOS .....	XIV
CAPÍTULO 1 .....	1
1.    Introducción .....	1
1.1    Descripción del problema .....	2
1.1.1    Alcance del Proyecto.....	3
1.1.2    Requerimientos del cliente .....	4
1.1.3    Variable de Interés .....	5
1.1.4    Restricciones del Proyecto.....	6
1.1.5    Entregables solicitados .....	6
1.1.6    Equipo de trabajo .....	6
1.2    Justificación del problema.....	7
1.3    Objetivos.....	8
1.3.1    Objetivo General .....	8
1.3.2    Objetivos Específicos .....	8
1.4    Marco teórico .....	10
1.4.1    OEE.....	10
1.4.2    DMAIC.....	10
1.4.3    SIPOC .....	11

1.4.4	Diagrama de Pareto .....	12
1.4.5	Lluvia de ideas .....	12
1.4.6	Diagrama de Ishikawa.....	12
1.4.7	Estratificación.....	13
CAPÍTULO 2.....		14
2.	Metodología .....	14
2.1	Medición .....	14
2.1.1	Estratificación de datos .....	15
2.1.2	Plan de recolección de datos .....	16
2.1.3	Verificación de datos .....	17
2.1.4	Definición de problemas enfocados .....	22
2.2	Análisis .....	22
2.2.1	Selección de causas a verificar .....	25
2.2.2	Plan de verificación de causas.....	26
2.2.3	Proceso de verificación de causas.....	27
2.2.4	5 ¿Por qué? .....	31
2.2.5	Causas raíz.....	33
2.3	Generación de soluciones .....	33
2.3.1	Lluvia de ideas de soluciones .....	33
2.3.2	Matriz de priorización de soluciones .....	36
2.3.3	Plan de implementación .....	36
2.4	Implementación de soluciones.....	39
2.4.1	Incrementar la disponibilidad de la autoclave.....	39
2.4.2	Cambio de banda.....	43
2.4.3	Aumento de un punto de succión.....	46
2.4.4	Selección de paletizadores y entrenamiento sobre cambio de formato .	47

CAPÍTULO 3.....	49
3. Resultados y análisis .....	49
3.1 Resultados de aumento de disponibilidad de autoclave .....	49
3.2 Resultados del cambio de banda.....	50
3.2.1 Beneficio en disponibilidad de línea 303 .....	51
3.2.2 Beneficio en consumo de plástico.....	51
3.3 Resultados por aumento de punto de aspiración.....	52
3.4 Resultados por selección de equipo de paletizadores y entrenamiento. ....	54
3.5 Resultados con respecto a la variable de respuesta .....	56
3.6 Control .....	56
CAPÍTULO 4.....	59
4. Conclusiones y recomendaciones.....	59
4.1 Conclusiones .....	59
4.2 Recomendaciones .....	59
BIBLIOGRAFÍA.....	60

## ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
OEE	Overall Equipment Effectiveness
VSM	Value Stream Mapping
CND	Centro nacional de distribución
PT	Producto terminado
CTQ	Critical to quality
PHA	Process Hazards Analysis
TPM	Total productive maintenance
WCM	World class manufacturing
SIPOC	Diagrama de proveedores, entradas, procesos, salidas y clientes.
5W+1H	Qué, Cuándo, Dónde, Quién, Por qué, Cómo lo sé.

## SIMBOLOGÍA

m	Metro
min	Minuto
s	Segundo
Ton	Tonelada
%	Porcentaje
g	gramos
Kg	Kilogramos

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Planta donde se desarrollará el proyecto [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	1
Figura 1.2: Aplicación de 5W+1H para definir problema [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	3
Figura 1.3: Diagrama SIPOC de la empresa [Fuente: Steven Alvarado Lavanda] .....	4
Figura 1.4: La voz del cliente [Fuente: Steven Alvarado Lavanda] .....	5
Figura 1.5: Equipo de trabajo.....	7
Figura 1.6: Promedio de toneladas mensuales por línea [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	7
Figura 1.7: %OEE semanal de línea 303 [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	8
Figura 1.8: Plan de fase de definición [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	9
Figura 1.9: Plan de fase medición [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	9
Figura 1.10: Plan de fase análisis [Fuente: Steven Alvarado Lavanda] .....	9
Figura 1.11: Plan de fase mejoras [Fuente: Steven Alvarado Lavanda] .....	9
Figura 1.12: Plan de fase control [Fuente: Steven Alvarado Lavanda] .....	10
Figura 2.1: Proceso de producción de detergente [Fuente: Steven Alvarado Lavanda] .....	14
Figura 2.2: Minutos perdidos de acuerdo con el formato producido [Fuente: Steven Alvarado Lavanda] .....	15
Figura 2.3: Estratificación del árbol de pérdidas [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	16
Figura 2.4: Comparación entre registro de operadores vs registro tomados por autor [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	19
Figura 2.5: Desperdicios generados por el operador de línea 303 [Fuente: Steven Alvarado Lavanda] .....	20
Figura 2.6: Registro de desperdicio de empaque de la máquina [Fuente: Steven Alvarado Lavanda] .....	21
Figura 2.7: Comparación entre registros de operadores y registros del autor [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	22

Figura 2.8: Ishikawa del problema enfocado 1 [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]..	23
Figura 2.9: Ishikawa del problema enfocado 2 [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]..	24
Figura 2.10: Ishikawa del problema enfocado 3 [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]	24
Figura 2.11: Matriz Impacto Control de causas verificables [Fuente: Steven Alvarado Lavanda] .....	26
Figura 2.12: Zonas de intervención de operadores y paletizadores al realizar cambio de formato [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	27
Figura 2.13: Análisis de diferencia de medias de tiempo de cambio de formato por operador [Fuente: Steven Alvarado Lavanda] .....	28
Figura 2.14: Operador realizando ajustes luego de cambio realizado por paletizador [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	29
Figura 2.15: Comparativa entre los tiempos de limpieza de sistema dosificador en dos tipos de cambio de formato [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	30
Figura 2.16: Operador ajustando línea 303 [Fuente: Steven Alvarado Lavanda] .....	30
Figura 2.17: Distribución de causas de la falta de disponibilidad de materiales [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	31
Figura 2.18: 5 ¿Por qué? De la primera causa verificada [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	31
Figura 2.19: 5 ¿Por qué? De la segunda causa verificada [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	32
Figura 2.20: 5 ¿Por qué? De la tercera causa verificada [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	32
Figura 2.21: 5 ¿Por qué? De la cuarta causa verificada [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	32
Figura 2.22: 5 ¿Por qué? De la quinta causa verificada [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	32
Figura 2.23: Lluvia de ideas con equipo de liderazgo [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	33
Figura 2.24: Lluvia de ideas con equipo de operativo [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	34
Figura 2.25: Matriz de priorización [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	36

Figura 2.26: Equipo evaluador de riesgos de nuevos parámetros de operación [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	41
Figura 2.27: Formato de evaluación de riesgos PHA [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	41
Figura 2.28: Prueba de viscosidad al silicato líquido [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	42
Figura 2.29: Capacitación personal a los otros operadores de la autoclave [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	43
Figura 2.30: Llegada de la nueva banda [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	45
Figura 2.31: Retirada de la banda antigua [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	45
Figura 2.32: Retirada de dispositivos de seguridad [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	45
Figura 2.33: Ajuste de la nueva banda [Fuente: Steven Alvarado Lavanda] .....	45
Figura 2.34: Reactivación de dispositivos de seguridad [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	46
Figura 2.35: Entrega de la nueva banda [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	46
Figura 2.36: Ingreso del punto de aspiración al sistema dosificador [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	47
Figura 2.37: Punto de aspiración dentro del sistema dosificador [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	47
Figura 2.38: Paletizadores seleccionados para cambio de formato [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	48
Figura 2.39: Entrenamiento a paletizadores [Fuente: Steven Alvarado Lavanda] ....	48
Figura 3.1: Distribución de materiales no disponibles para la línea 303 antes de la mejora [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	50
Figura 3.2: Distribución de materiales no disponibles para la línea 303 después de la mejora [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	50
Figura 3.3: Prueba de hipótesis para determinar si existe diferencia en el tiempo de limpieza [Fuente: Autor del proyecto].....	52
Figura 3.4: Histograma de diferencias en tiempo de limpieza [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	53
Figura 3.5: Porcentaje de OEE semanal de línea 303.....	56

Figura 3.6: Ajuste de mordaza según formato [Fuente: Steven Alvarado Lavanda] .. 57

Figura 3.7: Ajuste de desplazador de lámina primaria y estándares visuales de trabajo [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]..... 57

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Formatos de empaque producidos por línea [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	2
Tabla 1.2: Metas de OEE por línea [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	5
Tabla 2.1: Plan de recolección de datos [Fuente: Steven Alvarado Lavanda] .....	17
Tabla 2.2: Número de cambios realizados en la línea 303 [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	18
Tabla 2.3: Tiempo en cada cambio de formato en la línea 303 [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	18
Tabla 2.4: Ponderación otorgada a las causas [Fuente: Steven Alvarado Lavanda] .	25
Tabla 2.5: Plan de verificación de causas [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	27
Tabla 2.6: Consolidado de soluciones levantadas [Fuente: Steven Alvarado Lavanda] .....	34
Tabla 2.7: Análisis financiero de soluciones levantadas [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	35
Tabla 2.8: Plan de implementación de soluciones [Fuente: Steven Alvarado Lavanda] .....	37
Tabla 2.9: Parámetros de trabajo inicial de la autoclave [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	39
Tabla 2.10: Parámetros de trabajo de la autoclave en otra planta de referencia [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	40
Tabla 2.11: Parámetros propuestos para operación del autoclave [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	40
Tabla 3.1: Análisis de beneficios obtenidos por aumento de disponibilidad de materiales [Fuente: Steven Alvarado Lavanda] .....	49
Tabla 3.2: Calculo de ahorro anual por eliminación de ajuste de banda [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	51
Tabla 3.3: Reducción de consumo de plástico por cambio de banda [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	52

Tabla 3.4: Cálculo de ahorro anual por reducción de tiempo limpiando sistema dosificador [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	54
Tabla 3.5: Cálculo de ahorro anual por eliminación de revisión de ajustes de paletizadores [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	55
Tabla 3.6: Reducción de consumo de plástico por entrenamiento a paletizadores [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	55
Tabla 3.7: Plan de control de soluciones implementadas [Fuente: Steven Alvarado Lavanda].....	58

## ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1.1: Diseño de la nueva banda .....	44
-------------------------------------------	----

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

El trabajo se realizó en una empresa multinacional dedicada a la fabricación de productos para el cuidado personal, para el cuidado del hogar y alimentos con presencia en más de 60 países en todo el mundo.

En su portafolio cuentan con: detergentes en barras, detergentes líquidos, jabones de tocador, shampoo, cremas para la piel, helados, spaguetthi y más.

En Ecuador cuenta con dos plantas de producción, un centro nacional de distribución y las oficinas administrativas donde se centralizan las actividades de todos los departamentos, todos ubicados en las afueras de la ciudad de Guayaquil.

Los canales de distribución más utilizados son el canal tradicional que representa las tiendas de barrio, mini market y despensas a las que llegan los distribuidores nacionales y el canal moderno que representa los autoservicios como supermercados y farmacias.

La planta donde se desarrolló el proyecto está conformada por 132 trabajadores operativos y 12 trabajadores con cargos administrativos, en la parte operativa se trabaja con 3 turnos de 8 horas cada uno de lunes a viernes y cuando la demanda lo amerite, se trabajan fines de semana y feriados.



Figura 1.1: Planta donde se desarrollará el proyecto [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

Para la elaboración de detergentes la fábrica cuenta con dos áreas que preparan materia prima para incluirla en a la receta como son la autoclave, encargada de hacer silicato líquido y la planta de sulfonación encargada de hacer ácido sulfónico, dos componentes esenciales en la fórmula los cuales gracias a la demanda manejan turnos de trabajo diferentes utilizando fines de semana como parte de su planificación habitual.

Dentro de la fábrica existen 7 líneas de envasado de detergentes las cuales están capacitadas para fabricar cualquiera de las variantes de detergentes, pero se especializan en diferentes tipos de formatos como se detalla en la tabla 1.1:

**Tabla 1.1: Formatos de empaque producidos por línea [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]**

Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 303	Línea 4	Línea 5	Línea 6
100g	100g	350g	340g	1200g	720g	340g
180g	180g	1000g	350g	1500g	950g	440g
340g	340g	2000g	440g	2000g	1000g	720g
350g	350g	3000g	720g			1000g
			950g			2000g
			1000g			
			5000g			

La organización cuenta con un departamento de producción, mantenimiento, proyectos, innovaciones, recursos humanos, seguridad, calidad, finanzas, planificación y mejora continua los cuales se encargan de gestionar las operaciones de la fábrica satisfaciendo la demanda mediante la entrega de producto conforme a su cliente interno el centro nacional de distribución.

La planta donde se desarrolla el proyecto al ser una multinacional, debe enviar reporte de sus indicadores de eficiencia semanal a la región a la que pertenece y el indicador que con frecuencia genera ruido es el porcentaje semanal de OEE de las líneas, para la organización es un indicador que permite evaluar la gestión de todo el equipo e identificar oportunidades de mejora.

## 1.1 Descripción del problema

Se revisaron los árboles de pérdidas de las 7 líneas de empaque de la planta de detergentes para identificar cuáles son las líneas con mayor impacto en su productividad y cuáles generan el mayor impacto económico al negocio.

De acuerdo con los datos entregados por la empresa, el porcentaje de OEE semanal en la línea de empaque 303 en una planta de detergentes en polvo ha sido de 87,3% en promedio desde el 15 de enero de 2019 hasta el 31 de mayo de 2019, mientras que la meta de la línea es de 89%, teniendo en cuenta que la línea ha alcanzado valores de alrededor del 91% de OEE semanal en el periodo analizado.

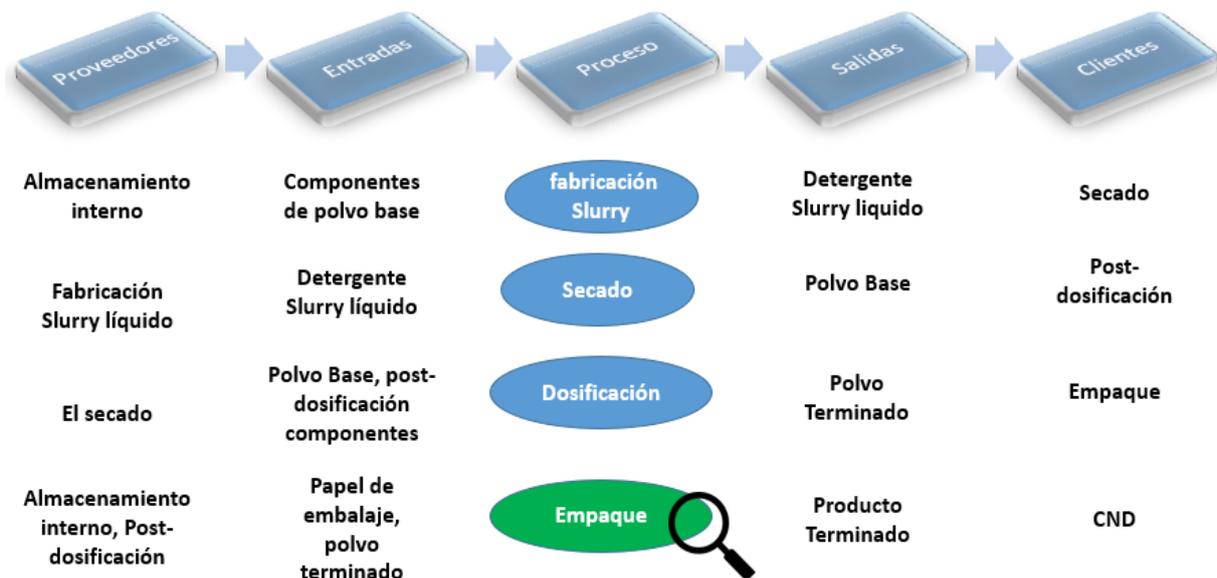
En la siguiente Figura 1.2 se muestra la herramienta utilizada para definir el problema:



Figura 1.2: Aplicación de 5W+1H para definir problema [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

### 1.1.1 Alcance del Proyecto

En la siguiente figura 1.3, se muestran todos los procesos involucrados en la fabricación de detergentes desde que se tienen los materiales en la bodega interna:



**Figura 1.3: Diagrama SIPOC de la empresa [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]**

El proyecto se centrará en la línea de empaque 303, analizando el indicador de productividad OEE semanal para cualquier variante de detergente, se entiende como variante al tipo de detergente envasado.

### 1.1.2 Requerimientos del cliente

Se definió el alcance del proyecto de acuerdo con el SIPOC y se desarrollaron una serie de entrevistas grupales e individuales en las que intervinieron: Gerente general de planta, Gerente de producción, jefe de empaque y coordinadores de producción para conocer cuáles son sus necesidades y expectativas traducidas en variables críticas para la línea, algunas de las cuales forman parte del plan de vida sostenible de la empresa.

Para esto se utilizó la herramienta “La voz del cliente” y los resultados se muestran a continuación, en la Figura 1.4.:

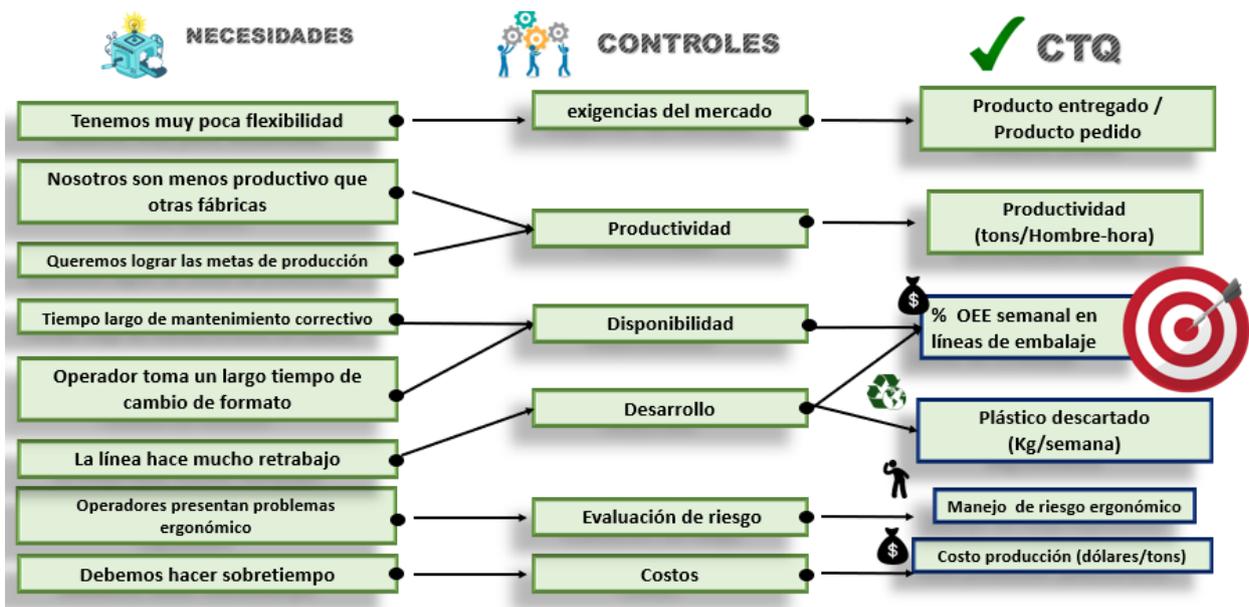


Figura 1.4: La voz del cliente [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

### 1.1.3 Variable de Interés

La OEE es uno de los indicadores de productividad de máquinas más utilizados en el mundo industrial, representa la capacidad real para que el equipo produzca sin defectos, el rendimiento y la disponibilidad que tiene un equipo. (Krachangchan, 2018)

En la empresa se lo utiliza principalmente para evaluar la productividad de las líneas para las que se han definido metas semanales basadas en datos históricos y OEE alcanzadas en periodos anteriores, en la siguiente tabla 1.2 se muestran las metas por línea:

Tabla 1.2: Metas de OEE por línea [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

Línea	Meta OEE [%]
1	87
2	85,5
3	79
303	89
4	89
5	83
6	84,5

#### **1.1.4 Restricciones del Proyecto**

El desarrollo del proyecto tendrá restricciones definidas por gerencia de fábrica y detalladas a continuación:

- Las líneas envasadoras solo cuentan con un sistema de envasado volumétrico y no gravimétrico.
- La fábrica es referencia a nivel mundial en estándar de mano en máquina y cualquier variación que se realice debe mantener el estándar y ser sometido a evaluación de riesgo.
- Actualmente no se cuenta con dinero para invertir en mejoras.

#### **1.1.5 Entregables solicitados**

Para el presente proyecto la gerencia de la empresa solicitó que al finalizar se entregue:

- Análisis del árbol de pérdidas de la línea 303.
- Informe sobre las causas raíz del problema.
- Análisis financiero de las mejoras sugeridas.
- Plan de implementación de las mejoras seleccionadas.
- Implementación de las mejoras aprobadas por gerencia.
- Desarrollo de un plan de control para las mejoras implementadas.

#### **1.1.6 Equipo de trabajo**

Para la ejecución del proyecto en todas sus fases se contará con la participación del gerente de producción quien es el responsable del desempeño de la fábrica, gerente de proyectos quién es la persona encargada de aprobar mejoras en la fábrica, jefe de empaque quién es el encargado de realizar la planificación de volúmenes de todas las líneas, coordinadores de producción que son los encargados de cumplir el plan de producción y operadores de planta que son los encargados de manejar las líneas de envasado.



Figura 1.5: Equipo de trabajo

## 1.2 Justificación del problema

Según la data entregada por la empresa la línea 303 es la segunda línea con mayor volumen de la planta con un promedio de 1546 tons de detergente en polvo mensual como se muestra en la figura 1.6. adjunta:

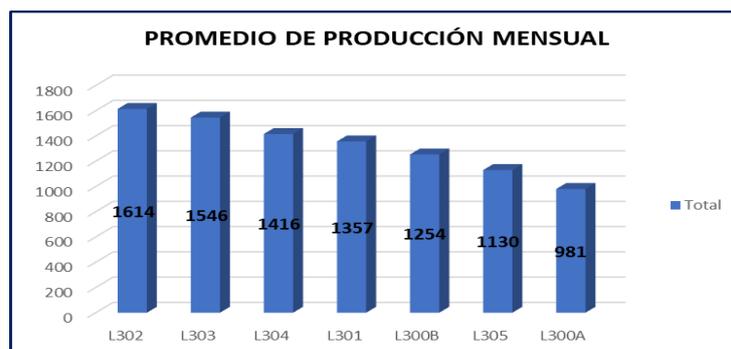


Figura 1.6: Promedio de toneladas mensuales por línea [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

Adicionalmente el porcentaje de OEE semanal de la línea en los registros entregados por la empresa ha sido variable en el periodo de estudio, alcanzando un promedio de %87,3 como se muestra en la figura 1.7. adjunta:

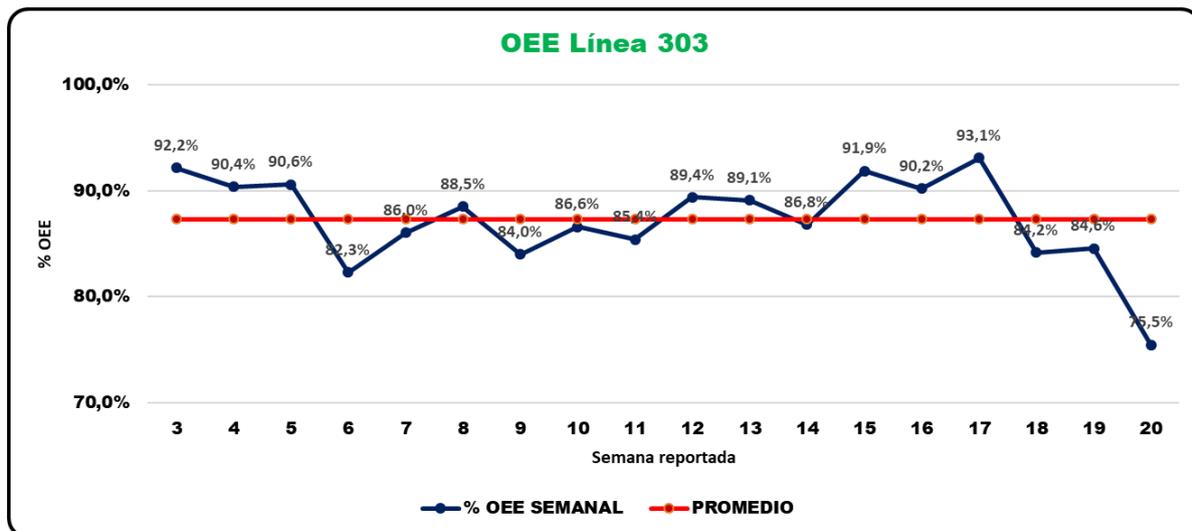


Figura 1.7: %OEE semanal de línea 303 [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

Es importante resaltar que la línea 303 es la única línea de la planta que produce 5000g el cual es el producto estrella en el canal moderno de distribución, según el departamento de planificación y ventas las pérdidas económicas por desabastecimiento de la línea son las mayores de planta alcanzando valores anuales de \$71.052.

### 1.3 Objetivos

#### 1.3.1 Objetivo General

Aumentar el porcentaje de OEE semanal en la línea de empaque 303 de una planta de detergente en polvo de %87,3 a %89.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar las condiciones de la línea de empaque para proponer mejoras en el proceso de empaque.
- Implementar las mejoras de mayor impacto después de analizarlas con los líderes de fábrica.
- Desarrollar un plan de socialización y un plan de control de mejoras en la línea.

### 1.3.2.1 Plan de trabajo

Con la finalidad de cumplir con los objetivos del proyecto se presenta el siguiente plan de desarrollo el cual fue definido con el gerente de producción de la planta:

ACTIVIDAD	Inicio	Duración	Cumplimiento	MAYO				
				18	19	20	21	22
<b>DEFINICIÓN (mayo/31)</b>	22	1	0%					
1 Reunión con gerente de producción	18	1	0%					
Reunión con jefe de empaque y coordinadores de producción	18	2	0%					
Recolección de datos registrados	19	2	0%					
1 Definición del problema y establecimiento de objetivos	21	2	0%					

**Figura 1.8: Plan de fase de definición [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]**

ACTIVIDAD	Inicio	Duración	Cumplimiento	JUNIO			
				23	24	25	26
<b>MEDICIÓN (junio/14)</b>	25	1	0%				
1 Reunión con los operadores de la línea	23	1	0%				
1 Mapeo de proceso de empaque	23	1	0%				
Recolección de datos	23	2	0%				
Verificación de confiabilidad de datos	24	1	0%				

**Figura 1.9: Plan de fase medición [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]**

ACTIVIDAD	Inicio	Duración	Cumplimiento	JUNIO				JULIO			
				23	24	25	26	27	28	29	30
<b>ANÁLISIS (julio/5)</b>	27	1	0%								
1 Análisis de datos coleccionados	24	2	0%								
Definición de pérdidas mas importantes de la línea	25	1	0%								
1 Análisis de posibles causas raíces	26	2	0%								
1 Verificación de las causas con el equipo	27	1	0%								

**Figura 1.10: Plan de fase análisis [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]**

ACTIVIDAD	Inicio	Duración	Cumplimiento	JULIO				AGOSTO				
				27	28	29	30	31	32	33	34	35
<b>MEJORAS (agosto/2)</b>	31	1	0%									
1 Búsqueda de mejoras	28	2	0%									
Comparación con otras plantas de productos similares	28	2	0%									
1 Propuestas de mejoras	29	3	0%									

**Figura 1.11: Plan de fase mejoras [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]**

ACTIVIDAD	Inicio	Duración	Cumplimiento	AGOSTO					
				31	32	33	34	35	
<b>CONTROL (agosto/31)</b>	35	1	0%						
1 Reunión con equipo de liderazgo para proponer mejoras	31	1	0%						
Implementación de mejoras	32	2	0%						
1 Comparación de datos anteriores con datos actuales	33	1	0%						
1 Análisis de impacto	34	1	0%						
1 Control de Mejoras	34	2	0%						
Presentación de resultados del proyecto	35	1	0%						

**Figura 1.12: Plan de fase control [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]**

## 1.4 Marco teórico

### 1.4.1 OEE

El OEE “Overall Equipment Effectiveness” por sus siglas en inglés significa la eficiencia de los equipos en general, se dice que es general porque analizar las tres razones que lo conforman es posible determinar si las pérdidas que no te permiten llegar al %100 están dadas por eficiencia (La máquina funcionó a menos de su capacidad instalada), calidad (La máquina ha producido unidades defectuosas) o disponibilidad (La máquina estuvo cierto tiempo parada). (Krachangchan, 2018)

### 1.4.2 DMAIC

DMAIC (Define – Measure – Analyze – Improve and Control) es una metodología estructurada utilizada en la resolución de problemas que también puede ser utilizada para completar proyectos con éxito mediante el desarrollo e implementación de soluciones con el objetivo de resolver las causas raíz de los problemas de un proceso, estableciendo controles para garantizar su eliminación permanente y completa. (Girmanová Lenka, 2017)

Las fases de esta metodología se explican a continuación:

- Definir:

En esta primera fase se busca identificar la oportunidad de mejora ideal para el proyecto y verificar si es relevante para las partes interesadas, es importante que la oportunidad encontrada sea del interés de los dueños del proceso como del autor. (Steven Alvarado Lavanda).

Esta fase cuenta con herramientas claves como: SIPOC, VOC, 5W+1H.

- Medir

El propósito de esta fase es entender primeramente el proceso que se ha seleccionado para luego evaluarlo. Esto implica la recopilación de todos los datos relacionado al problema identificado, para esta fase es importante tener identificadas cuáles son las variables de interés del proceso incluyendo cuáles son las variables de entrada y las variables de salida consideradas.

- Analizar

En la fase de análisis se debe utilizar los datos de la fase de medición para empezar a determinar cuáles pueden ser las posibles causas de que las variables de estudio no se encuentren en los valores esperados, se puede decir que en la fase de análisis buscamos determinar las causas potenciales de la poca disponibilidad de la máquina, el bajo rendimiento de la máquina y la producción de productos fuera de especificaciones de calidad.

- Mejorar

En la fase de mejora se utiliza el conocimiento de las partes involucradas, combinándolo con buenas prácticas investigadas en otras industrias con la finalidad de identificar cuáles son los cambios que podemos hacer a la situación actual para poder mejorar la variable objetivo.

- Controlar

La fase de control se encarga de que se finalice el proyecto de manera adecuada demostrando la efectividad de las mejoras implementadas usando un plan de control de procesos y otros procedimientos adicionales para asegurar que los cambios se mantengan en el tiempo y los beneficios sean obtenidos sean constantes.

### **1.4.3 SIPOC**

La matriz SIPOC es una herramienta gráfica que permite visualizar un proceso de manera sencilla y general, en este diagrama se puede identificar la delimitación de los procesos y la interrelación que tienen entre ellos (Brown, 2019), los componentes son los siguientes:

- Proveedores

Son los encargados de entregar los recursos al proceso.

- Entradas

Identifica el material, información y/o servicio que utiliza el proceso a ejecutarse para poder lograr los resultados esperados.

- **Proceso**

Es una secuencia definida de actividades que buscan agregar valor con la finalidad de producir lo que el cliente requiere.

- **Salidas**

Es el material, información y/o servicio que el cliente espera obtener después del proceso.

- **Cliente**

Son los que finalmente usan las salidas del proceso.

- **Recursos**

Son aquellas personas o máquinas que realizan las actividades del proceso.

#### **1.4.4 Diagrama de Pareto**

Es una herramienta utilizada comúnmente para la priorización de problemas o causas que los generan, el nombre fue asignado por el Dr. Juran en honor al economista italiano Wilfrido Pareto quién afirmaba que el 80% de la riqueza estaba distribuida en el 20% de las personas. (Pineda Sánchez, 2018)

#### **1.4.5 Lluvia de ideas**

Es una herramienta que ayuda a obtener ideas generales relacionadas a varios puntos específicos acerca de un problema o un tema, esta herramienta se la realiza en grupo y se debe intentar extraer el mayor conocimiento de cada participante de manera espontánea. (Martelo, 2016)

#### **1.4.6 Diagrama de Ishikawa**

Se lo denomina también diagrama de causa efecto o diagrama de espina de pescado, es una herramienta para analizar problemas o identificar posibles soluciones, tiene una clasificación de las causas que intervienen y sirve como una guía objetiva para el mejoramiento continuo de procesos. (Anna Cláudia Freire de Araújo Patrício, 2019)

### **1.4.7 Estratificación**

Es analizar datos con la finalidad de agruparlos o clasificarlos de acuerdo con los factores que se considera pueden influir en la magnitud de estos, de esta forma se localizan las mejores opciones para resolver un problema por el que pasa un proceso o simplemente para mejorarlo. (Caperá Figueroa, 2018)

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

La metodología usada para el desarrollo de este proyecto es DMAIC, la cual consta de 5 fase; definición, medición, análisis, mejoras y control. Ya que la fase de mejora fue detallada en el capítulo 1, se procede a explicar la metodología desde la fase de medición, donde se detallan las actividades realizadas para conocer con mayor precisión las variables que influyen en la eficiencia de la línea 303.

### 2.1 Medición

Luego de haber definido el problema, con sus respectivas restricciones y el alcance del proyecto, quedó establecido que la línea a trabajar será la envasadora 303, ya que esta línea es la que mayor impacto económico tiene sobre la organización, es la única que puede producir 5000g y tiene capacidad para hacer 7 diferentes formatos.

El proceso de producción de detergente en polvo se encuentra representado en la siguiente figura 2.1:

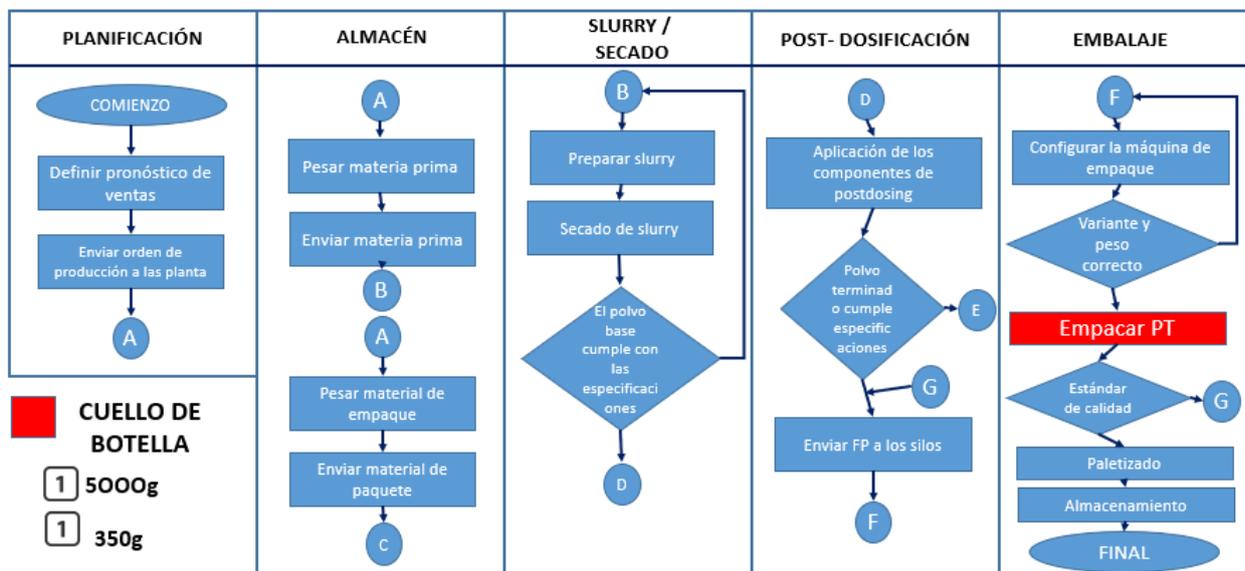


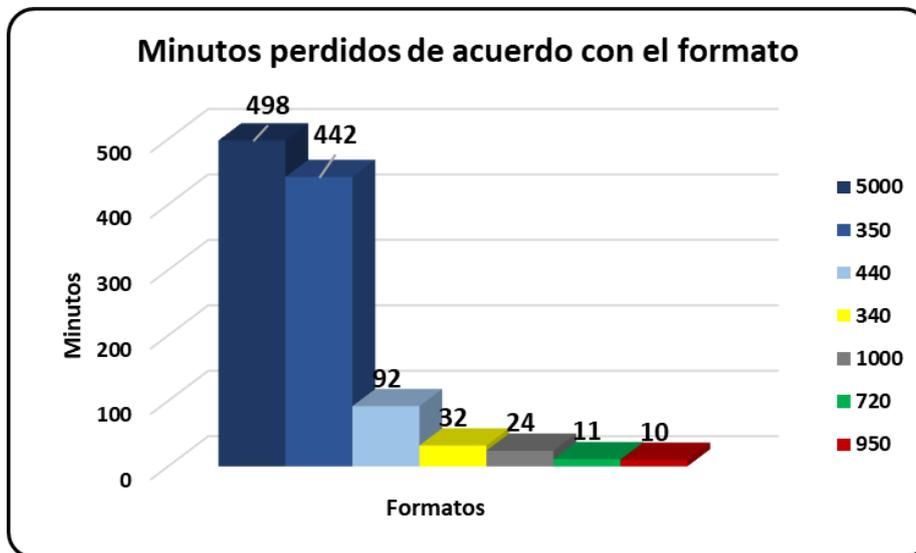
Figura 2.1: Proceso de producción de detergente [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

Junto al equipo del proyecto se procede al levantamiento y verificación de información sobre todo el proceso de empaque, para identificar cuáles son las variables que causan la disminución de la OEE de esta máquina.

### 2.1.1 Estratificación de datos

Revisando los datos entregados por la empresa, y todas las pérdidas reportadas por los operadores y verificadas estadísticamente por el líder del proyecto luego de una validación en gemba se llevó a cabo la estratificación de la línea 303.

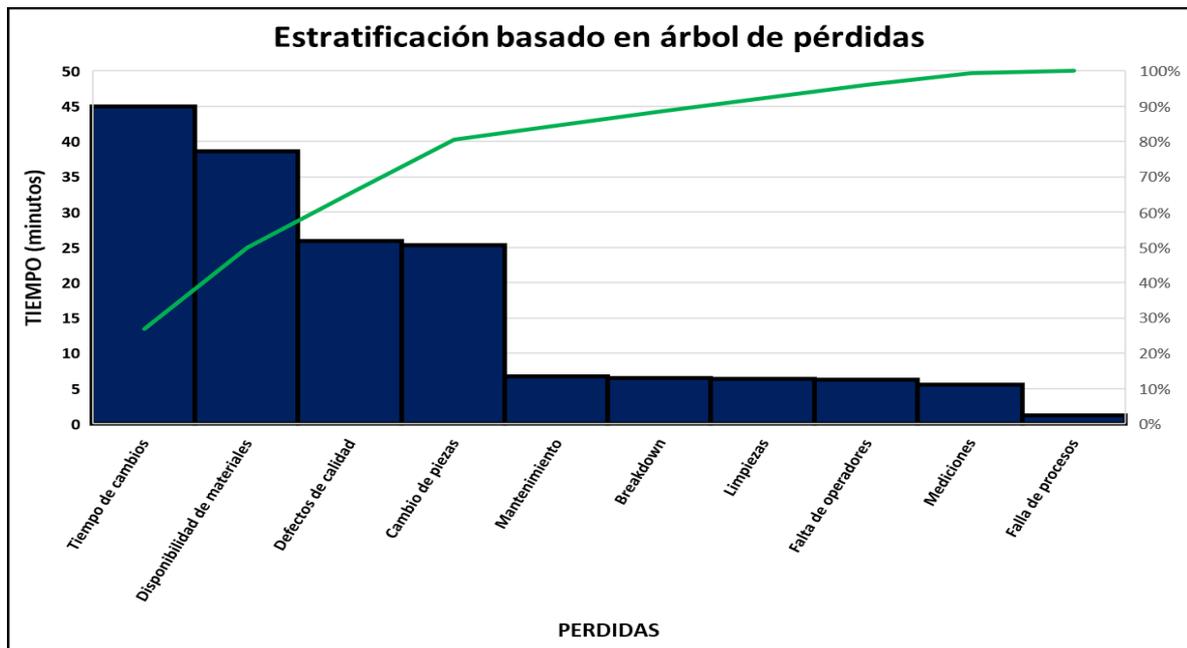
En la figura 2.2 adjunta se evidencia que aproximadamente el 85% de los minutos perdidos de la línea analizada se dan cuando se producen los formatos de 350g y 5000g, esta información sirvió para segmentar más el proyecto y así medir las variables que realmente impactarán la OEE.



**Figura 2.2: Minutos perdidos de acuerdo con el formato producido**  
[Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

Adicionalmente se abrió el árbol de pérdidas para identificar cuáles son las mayores pérdidas de la línea dando como resultado tiempos de cambio de formato, disponibilidad de materiales y defectos de calidad, los cuales suman aproximadamente el 65% de pérdidas de la línea.

El detalle se muestra en la figura 2.3 adjunta:



**Figura 2.3: Estratificación del árbol de pérdidas [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]**

Usando estas dos estratificaciones se pudieron definir cuáles serán las mediciones por realizarse en la línea en conjunto con los coordinadores de producción y el jefe de envasado.

### 2.1.2 Plan de recolección de datos

Se estableció un plan de recolección de datos de las variables que afectan directamente a la OEE de la línea, los datos serán tomados de la base de datos de la organización y del gemba, para las actividades del gemba se muestrearon a los 3 operarios en distintas horas del día con la finalidad de reducir el sesgo que pueda existir si solo se realiza el estudio con uno de ellos.

El plan de recolección establecido por el líder se presenta en la siguiente tabla 2.1:

**Tabla 2.1: Plan de recolección de datos [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]**

<b>VARIABLE</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>¿PORQUÉ ES NECESARIO MEDIRLA?</b>	<b>¿COMO MEDIRLA?</b>
Tiempo de espera por materiales	Minutos	Esta variable permitirá determinar el tiempo que se para la máquina para esperar por materiales	Registros de producción, estudios de tiempos.
Tiempo de cambios de variante	Minutos	Esta variable permitirá determinar el tiempo que la máquina se detiene por cambio de variante.	Registros de producción, estudios de tiempo.
Tiempos de cambio de formato	Minutos	Esta variable permitirá determinar el tiempo que la máquina se detiene por cambio de formato.	Registros de producción, estudios de tiempo.
Desperdicio de materia prima	Kilogramos	Esta variable determinará los kilogramos de reproceso que produce la máquina	Registros de producción, reportes de reproceso generado.
Give away	Kilogramos	Esta variable determinará los Kg de producto extra que se envía al mercado	Registros de producción, reporte de give away de máquina controladora de peso.
Desperdicio de empaque	Kilogramos	Esta variable determinará los Kg de plásticos perdidos en la producción.	Registros de producción, reportes de reproceso generado, máquina envasadora.
Tiempos de arranque	Minutos	Esta variable determinará el tiempo que se espera hasta arrancar la máquina	Registros de producción, estudios de tiempo.
Tiempos de cambio de piezas	Minutos	Esta variable determinará los tiempos que la maquina se detiene porque el operador haga cambios de piezas	Registros de producción, estudios de tiempo.

### 2.1.3 Verificación de datos

Se elaboró un plan de verificación de datos para de esta forma validar que los datos reportados por los operadores de producción, son los mismos que ese entregaron al inicio del proyecto, son confiables y pueden ser utilizados para un análisis profundo de causas.

Las variables por verificar son:

**Tiempos de cambio de formato:** son los tiempos que la máquina no está disponible, porque se encuentra en un proceso de cambio de formatos para producir a un menor o mayor gramaje que el anterior.

**Desperdicio de material de empaque:** es la cantidad de empaque que la línea utilizó, pero no fue entregado como producto terminado al CND, es un indicador crítico de planta por su plan de vida sostenible vigente.

**Desperdicio de materia prima:** es la diferencia de la materia prima utilizada en el proceso contra la cantidad de producto entregado al mercado, es un indicador que está impulsado por el reproceso y el give away.

**Tiempos de cambio de formato**

La validación de datos realizada tiene como fin principal determinar si los operadores registran de manera correcta los datos que corresponden a las pérdidas de la línea y para eso se tomaron registros en gemba y se compararon con los valores registrados por el operador.

Primero, en la base de datos se determinó la frecuencia con la que la línea cambia a los diferentes formatos que maneja, el número de cambios desde el 15 de enero al 30 de mayo se presentan en la siguiente tabla 2.2:

**Tabla 2.2: Número de cambios realizados en la línea 303 [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]**

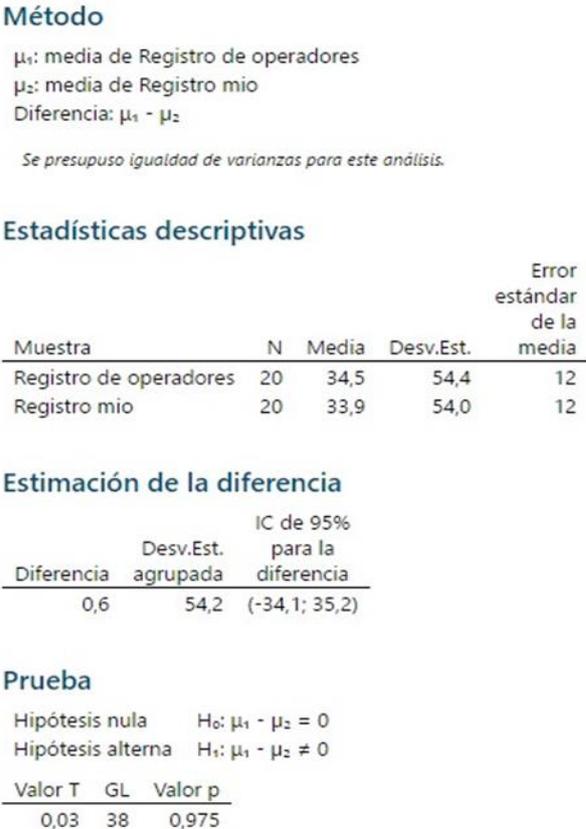
FROM \ TO	350g	720g	1Kg	5KG
350g		2	5	13
720g	0		0	0
1kg	5	0		0
5kg	13	0	1	

Luego usando la misma base, se colocaron los tiempos promedios de cambio para cada tipo de formato, los resultados. Se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 2.3: Tiempo en cada cambio de formato en la línea 303 [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]**

FROM \ TO	350g	720g	1kg	5KG
350g		58	63	143
720g	72		25	120
1kg	65	17		135
5kg	157	135	135	

Luego se tomó una muestra en gemba de los tiempos de cambio de los operadores de 350 g a 5000g y de 5000g a 350g los cuales son los que mayor tiempo de cambio tienen y se le realizó un análisis estadístico para verificar si existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis de que no existe diferencia entre medias, los resultados se muestran en la siguiente figura 2.4:



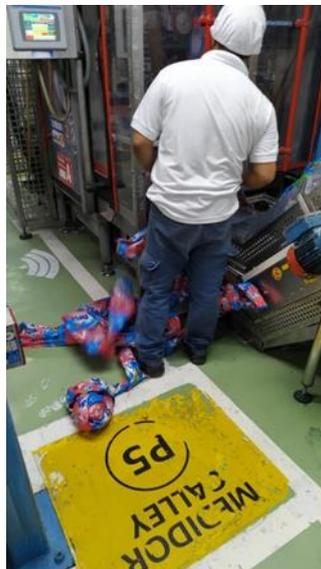
**Figura 2.4: Comparación entre registro de operadores vs registro tomados por autor**  
**[Fuente: Steven Alvarado Lavanda]**

En base al análisis estadístico realizado, podemos afirmar que existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, por lo tanto, podemos afirmar que, si hay diferencia entre los valores registrados por los operadores de la línea y los valores registrados por el Steven Alvarado Lavanda, esto no permite tomar los datos registrados por el operado para los análisis de otras fases.

## Desperdicio de material de empaque

Para asegurar la confiabilidad de los datos entregados por el operador de la línea 303, se realizó una comparación estadística entre lo que el reportó como reproceso y desperdicio de máquina contra lo que la máquina automáticamente registra durante su proceso de producción, estos datos de la máquina comúnmente no se lo toman porque implica un tiempo adicional en la formulación.

En la figura 2.5 se muestra la verificación del desperdicio generado por los operadores durante producción normal:



**Figura 2.5: Desperdicios generados por el operador de línea 303**

[Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

Luego se revisaron todos los registros de desperdicio de material reportados en la línea y se los comparó con el dato de desperdicio de material que almacena la máquina, con el apoyo del equipo de mantenimiento y un proveedor calificado, los datos de la máquina se muestran en la siguiente figura 2.6:



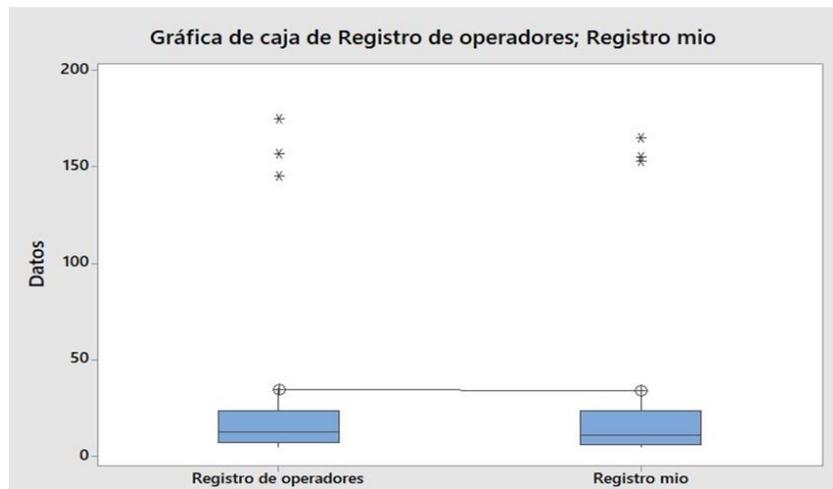
**Figura 2.6: Registro de desperdicio de empaque de la máquina**  
**[Fuente: Steven Alvarado Lavanda]**

Finalmente se realizó una prueba de hipótesis donde se determinó que no existe suficiente evidencia para afirmar que hay diferencia significativa entre las medias de los dos registros y la data almacenada en la máquina.

### **Desperdicio de materia prima**

Para confirmar la confiabilidad de este dato se realizó una prueba de hipótesis en la que se comparaban los datos registrados por el operador con los datos que el autor registró durante su validación en gemba.

Los resultados del análisis estadístico se muestran en la figura 2.7 adjunta:



**Figura 2.7: Comparación entre registros de operadores y registros del autor [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]**

Según el análisis estadístico se puede decir que no existe suficiente evidencia para afirmar que existe diferencias significativas entre las medias de los registros de operadores y los registros del autor.

#### **2.1.4 Definición de problemas enfocados**

Luego de la validación de datos y apoyándonos en la estratificación realizada por el autor en la fase anterior, se procedió a definir los problemas enfocados que serán resueltos durante el proyecto:

- Según lo observado en la línea de empaque 303, el tiempo de cambio de formato de 5000g a 350g ha sido en promedio de 150 minutos desde el 15 de enero de 2019 hasta mayo de 2019, mientras que la línea ha alcanzado valores de 120 minutos.
- Según los datos, la línea de empaque 303, ha estado esperando materias primas en promedio 37 min / mes desde enero 15,2019 hasta mayo de 2019, mientras que la línea ha alcanzado valores de 25 min / mes.
- Según los datos, la línea de empaque 303, durante la producción de 5000g ha venido corrigiendo errores de calidad en promedio 25 min / mes desde enero 15,2019 hasta mayo de 2019, mientras que la línea ha alcanzado valores de 15 min / mes

## **2.2 Análisis**

Pará el análisis de causas iniciamos utilizando la metodología Ishikawa para cada uno de los problemas enfocados, en la metodología se incluyeron al jefe de producción,

coordinador de producción, gerente de planta, analista de calidad, operadores de línea y jefe de mantenimiento.

A continuación, se muestran los 3 Ishikawa desarrollados:

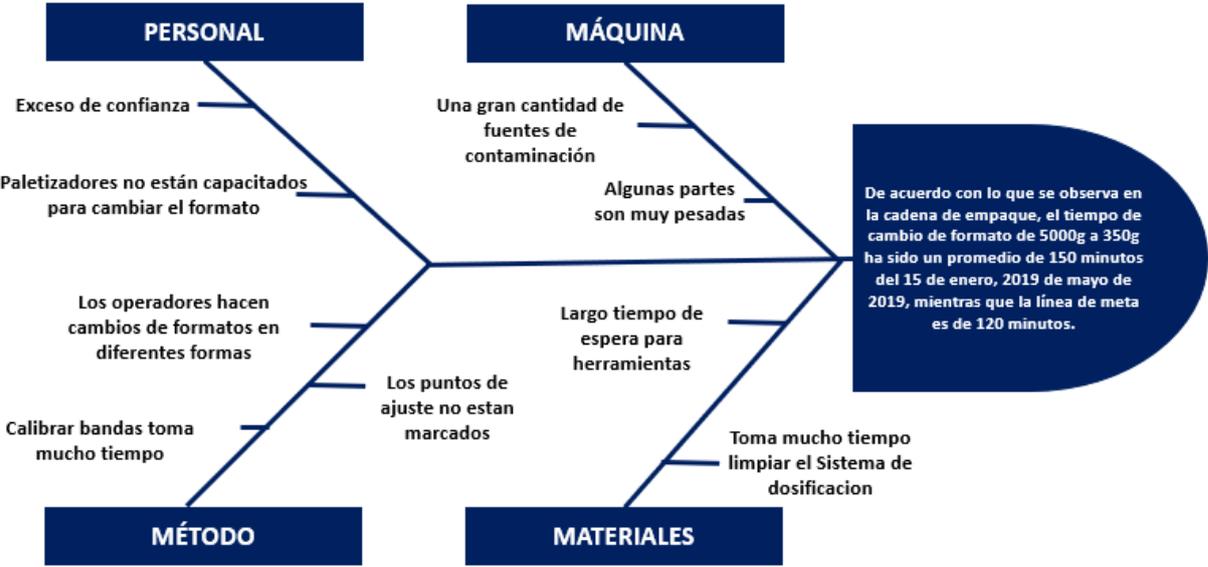


Figura 2.8: Ishikawa del problema enfocado 1 [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

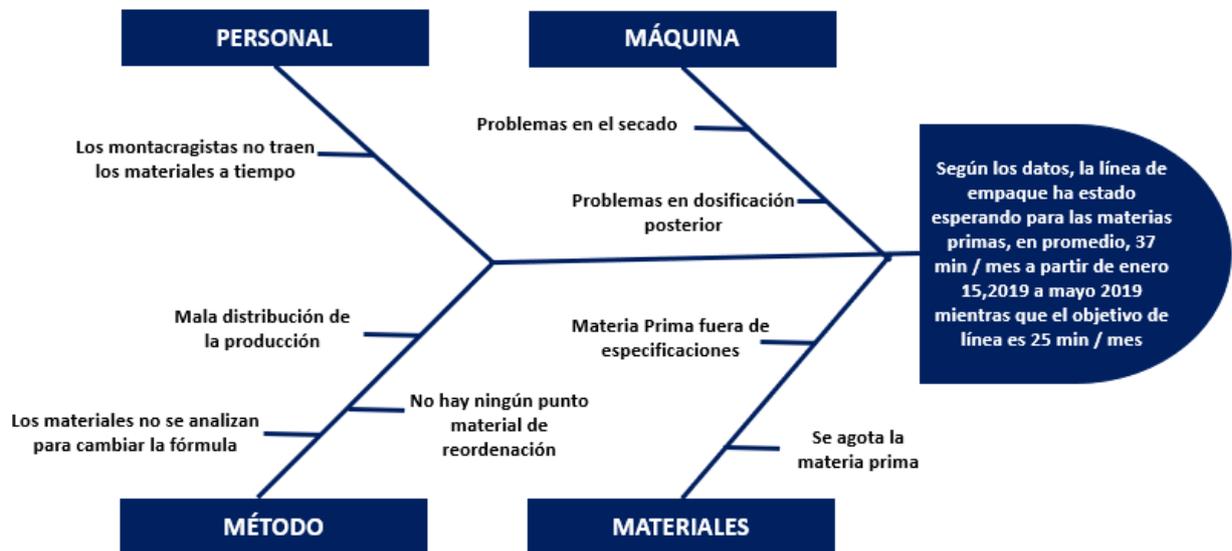


Figura 2.9: Ishikawa del problema enfocado 2 [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

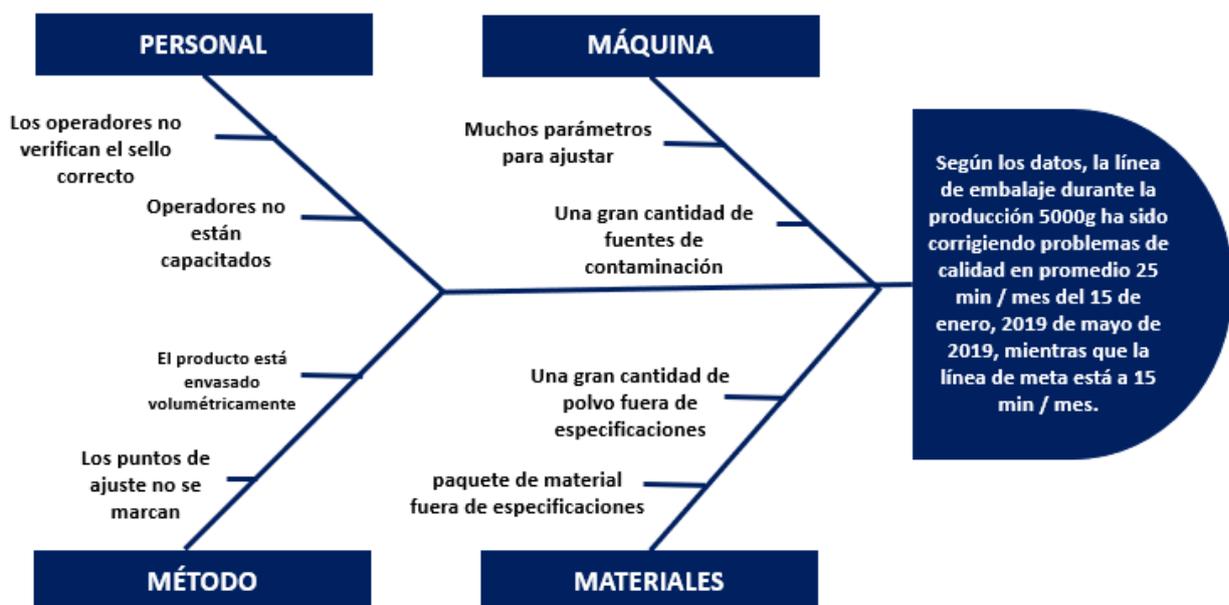


Figura 2.10: Ishikawa del problema enfocado 3 [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

## 2.2.1 Selección de causas a verificar

Para la selección de causas a verificar se trabajó directamente con los 3 operadores y los 3 coordinadores de producción, se les indicó que evaluaran con 1 si es de bajo impacto, 3 si es de impacto medio y 9 si es de alto impacto, ellos a su criterio asignaron una ponderación a las causas encontradas como se muestra a continuación en la siguiente tabla 2.4:

**Tabla 2.4: Ponderación otorgada a las causas [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]**

#	CAUSAS	OP1	OP2	OP3	CO 1	CO 2	CO 3	E
1	Operadores hacen cambios de formato de forma diferente	9	9	9	9	9	9	9
2	Paletizadores no están entrenados para la tarea	9	9	9	9	9	9	9
3	Mucho tiempo esperando por herramientas	3	3	3	9	3	3	4
4	Mucho polvo fuera de especificación	9	9	9	3	3	3	6
5	Muchos parámetros para ajustar	3	3	3	3	3	3	3
6	Montacarguistas no traen materiales a tiempo	3	3	3	1	3	3	3
7	Mucho tiempo limpiando el sistema dosificador	9	9	9	9	9	9	9
8	Materia prima fuera de especificaciones	3	3	1	1	1	1	2
9	Material de empaque fuera de especificaciones	3	1	1	3	3	3	2
10	Los puntos de ajustes no estan marcados	9	9	9	9	9	3	8
11	Alta frecuencia de desabastecimiento de materia prima	9	9	9	9	9	9	9
12	Mucho tiempo calibrando bandas	1	1	1	1	1	1	1
13	Muchas fuentes de contaminación	9	9	9	9	9	9	9
14	La densidad del polvo es variable	1	1	1	1	1	1	1
15	Problemas en post dosing	1	1	1	3	3	3	2
16	Operadores no verifican el sellado correcto	1	1	1	1	1	1	1
17	Problemas en secado	3	3	3	3	3	3	3
18	No existe punto de reorden de materiales	1	1	1	3	3	1	2

De este ejercicio se puede decir que, por el promedio de las puntuaciones asignadas, las causas a verificarse son: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 11, 13.

Luego se utilizó la metodología de la matriz impacto control junto al jefe de empaque y los coordinadores de producción para determinar cuáles son las causas que realmente deben ser verificadas, el diagrama se lo muestra a continuación en la figura 2.11:

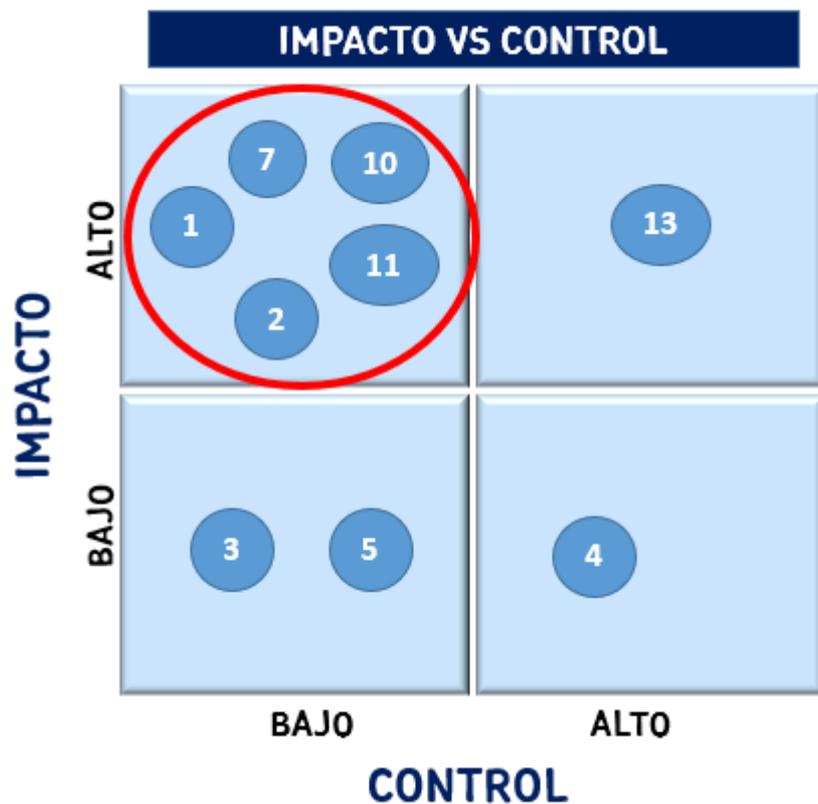


Figura 2.11: Matriz Impacto Control de causas verificables  
 [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

### 2.2.2 Plan de verificación de causas

Luego de encontrar las causas a verificar se desarrolló un plan de verificación de causas para las 5 variables que finalmente fueron consideradas como las que más impactan en la OEE de la línea 303.

A continuación, en la tabla 2.5 se muestra el plan de verificación de causas:

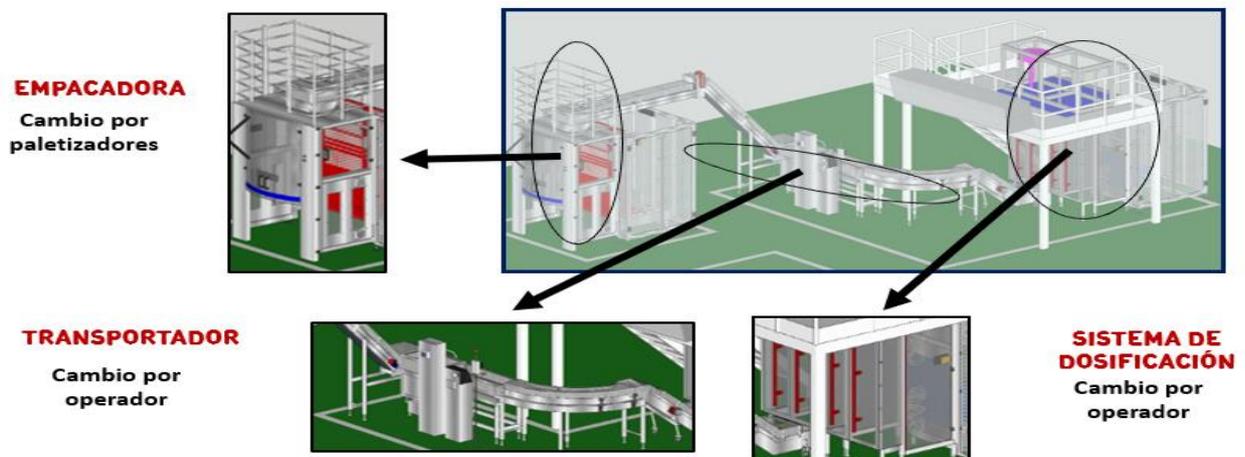
**Tabla 2.5: Plan de verificación de causas [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]**

#	CAUSA	IMPACTO	COMO VERIFICARLA
1	Operadores realizan el cambio de formato de diferente forma	Se sospecha que los tiempos de cambios de formato son diferentes entre operadores ya que no se ha estandarizado la tarea por lo que unos demoran más que otros.	Verificación estadística
2	Paletizadores no están entrenados para la tarea.	Los operadores de línea se toman un tiempo adicional para chequear los ajustes realizados por paletizadores y eso le resta disponibilidad a la línea	Verificación en GEMBA
7	Mucho tiempo limpiando el sistema dosificador	Se toma mucho tiempo limpiando la caja de dosificación ya que se encuentra muy sucia lo que resta disponibilidad a la línea	Verificación estadística
10	Los puntos de ajuste no están marcados	Al no haber puntos de ajuste identificados los operadores calibran con la máquina andando lo que produce mucho producto fuera de especificaciones y resta disponibilidad.	Verificación en GEMBA
11	Alta frecuencia de desabastecimiento de materia prima	Se sospecha que el silicato líquido es el material que mayor desabastecimiento tiene en planta lo que genera mucho tiempo de espera.	Verificación estadística

## 2.2.3 Proceso de verificación de causas

### 2.2.3.1 Operadores realizan cambios de formato de diferente forma

Los operadores y paletizadores tienen asignadas zonas donde ellos deben intervenir al momento de realizar el cambio de formato en la línea 303, las zonas están identificadas en la siguiente figura 2.12:



**Figura 2.12: Zonas de intervención de operadores y paletizadores al realizar cambio de formato [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]**

Luego se realizó una validación estadística con los tiempos de cambio de formato de los 3 operadores, el análisis estadístico se lo presenta en la siguiente figura 2.13:

### ANOVA de un solo factor: Operador 1; Operador 2; Operador 3

#### Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

#### Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	3	Operador 1; Operador 2; Operador 3

#### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	1374,0	687,02	24,33	0,000
Error	27	762,4	28,24		
Total	29	2136,5			

#### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
5,31401	64,31%	61,67%	55,94%

#### Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Operador 1	10	141,54	5,72	(138,09; 144,99)
Operador 2	10	147,18	5,60	(143,73; 150,63)
Operador 3	10	157,86	4,55	(154,41; 161,31)

*Desv.Est. agrupada = 5,31401*

**Figura 2.13: Análisis de diferencia de medias de tiempo de cambio de formato por operador [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]**

Con un valor de  $p < 0,05$  podemos decir que existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula de que las medias de tiempo de cambio de formato no varían entre operadores.

De esta forma se verifica que uno lo hace más rápido que los otros.

### **2.2.3.2 Paletizadores no estan entrenados para hacer el cambio de formato**

De acuerdo con los registros de capacitación del departamento de recursos humanos, no se les ha dado esta capacitación a los paletizadores.

Los paletizadores no tienen incluida esta tarea en el plan anual de capacitación todo esto causa que el operador de la línea se tome de 8 a 12 minutos realizando ajustes a los cambios realizados por el paletizador.

En la siguiente figura 2.14 se puede apreciar al operador ajustando los cambios realizados por el paletizador:

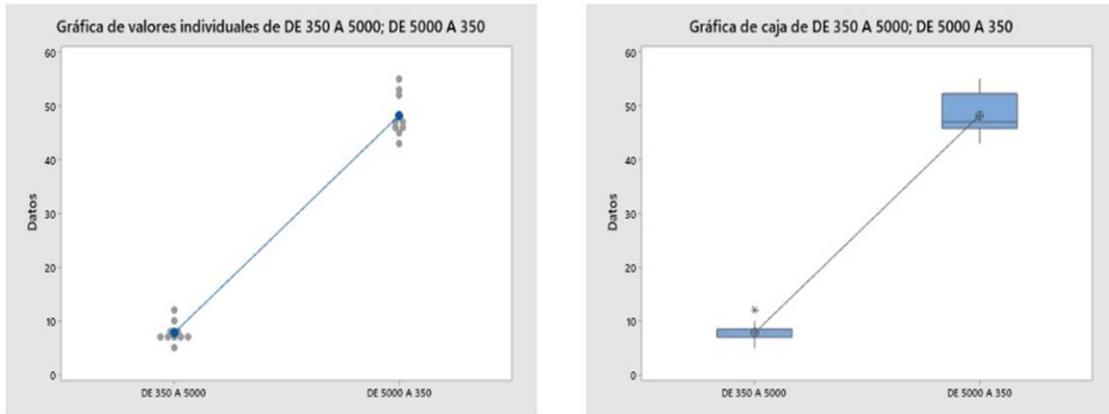


**Figura 2.14: Operador realizando ajustes luego de cambio realizado por paletizador [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]**

### **2.2.3.3 Tiempo de limpieza de sistema dosificador**

Según el análisis estadístico realizado en los registros del operador, la limpieza del sistema dosificador cuando se cambia de 5000g a 350g toma aproximadamente 48 mientras que cuando se cambia de 350g a 5000g toma aproximadamente 8 min.

Los resultados se muestran en la siguiente figura 2.15:



**Figura 2.15: Comparativa entre los tiempos de limpieza de sistema dosificador en dos tipos de cambio de formato [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]**

Además, es importante recalcar que muchas piezas correspondientes al cambio de formato anterior aún se encuentran en la línea sucias.

#### **2.2.3.4 Los puntos de ajuste no estan marcados**

Los puntos de ajuste en la máquina no se encuentran identificados, cada ajuste se realiza al criterio del operador quienes el 100% de las veces deben ajustar durante la corrida lo que genera una cantidad abundante de reproceso, se muestra un ejemplo en la figura 2.16:



**Figura 2.16: Operador ajustando línea 303 [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]**

### 2.2.3.5 Alta frecuencia de desabastecimiento de materia prima.

Se analizó cuales son las materias primas que han estado faltando durante todo el año y se determinó el impacto en las líneas de producción, es importante resaltar que cuando ocurre esto todas las líneas se ven afectadas generando grandes pérdidas para la organización.

En la siguiente figura 2.17 se muestra la distribución de falta de materia prima que ha tenido la planta.

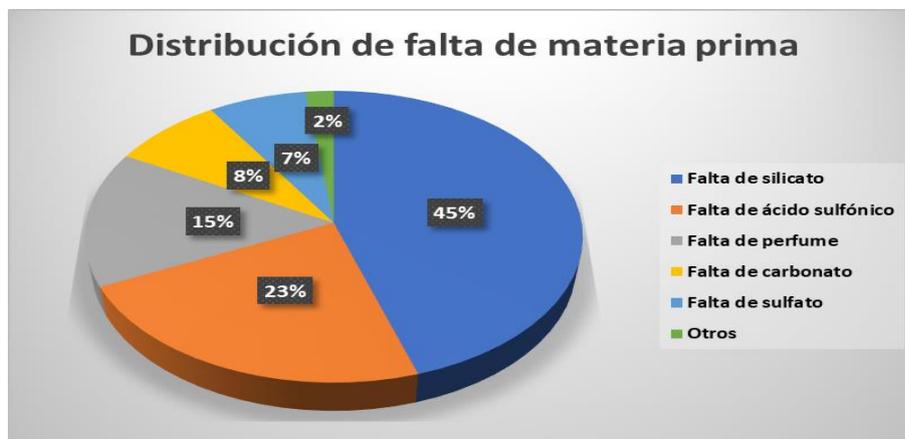


Figura 2.17: Distribución de causas de la falta de disponibilidad de materiales [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

De esta forma se verifica que si ha existido falta de materia prima y el componente principal es el silicato líquido.

### 2.2.4 5 ¿Por qué?

Luego de haber verificado las causas se utilizó la herramienta de los 5 ¿Por qué? Para de esta forma encontrar la causa raíz de los problemas de la línea quedando de la siguiente manera:

¿Por qué los operadores hacen cambios de formato de diferente forma?					
¿Por qué?	Check	¿Por qué?	Check	¿Por qué?	Check
Los operadores no conocen como realizar el cambio de formato					

Figura 2.18: 5 ¿Por qué? De la primera causa verificada [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

¿Por qué los paletizadores no estan entrenados para realizar el cambio de formato?							
¿Por qué?	Check	¿Por qué?	Check	¿Por qué?	Check	¿Por qué?	Check
No se ha separado un espacio para el entrenamiento de los paletizadores		Este entrenamiento no es parte del plan de entrenamientos de esta posición.					

Figura 2.19: 5 ¿Por qué? De la segunda causa verificada [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

¿Por qué los operadores toman mucho tiempo limpiando el sistema dosificador?							
¿Por qué?	Check	¿Por qué?	Check	¿Por qué?	Check	¿Por qué?	Check
Hay mucho polvo fino en el sistema dosificador		El polvo fino cae cuando se produce la dosificación de las fundas					

Figura 2.20: 5 ¿Por qué? De la tercera causa verificada [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

¿Por qué el proceso presenta alta frecuencia de falta de silicato?							
¿Por qué?	Check	¿Por qué?	Check	¿Por qué?	Check	¿Por qué?	Check
Los tanques de silicato estan vacios		La autoclave (sistema productor de silicato) no puede producir más		La autoclave esta produciendo a su máxima capacidad aceptada.			

Figura 2.21: 5 ¿Por qué? De la cuarta causa verificada [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

¿Por qué los operadores se toman largo tiempo arrancando la máquina?							
¿Por qué?	Check	¿Por qué?	Check	¿Por qué?	Check	¿Por qué?	Check
El sellador vertical no cierra correctamente		Los operadores calibran a criterio personal					
La mordaza no cierra correctamente		Los operadores calibran a criterio personal					
La banda no sigue el camino correcto		Las fundas salen al pasar por la Varpee		Tienen que esperar a calibrar la banda cuando ya se está produciendo.			

Figura 2.22: 5 ¿Por qué? De la quinta causa verificada [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

## 2.2.5 Causas raíz

Luego del estudio realizado se determinó que las causas raíz son las siguientes:

- Los operadores no conocen como realizar el cambio de formato.
- El entrenamiento de cambio de formato no es parte del plan de entrenamiento de paletizadores.
- Polvo fino cae en el sistema dosificador cuando se produce el llenado de fundas.
- La autoclave está produciendo a su máxima capacidad aceptada.
- Los operadores calibran selladoras a criterio personal
- Tienen que esperar para calibrar la banda cuando está ya está trabajando.

## 2.3 Generación de soluciones

### 2.3.1 Lluvia de ideas de soluciones

Una vez que se detectaron las causas raíces correspondientes a los problemas enfocados, se procedió a realizar una lluvia de ideas de posibles soluciones para todas las causas raíces identificadas.

Para esta lluvia de ideas se separó a los participantes en dos grupos: el equipo de liderazgo conformado por coordinadores de producción, jefa de planta, jefa de procesos y jefe de envasado y el equipo operativo conformado por operadores de la línea y paletizadores.



**Figura 2.23: Lluvia de ideas con equipo de liderazgo**

[Fuente: Steven Alvarado Lavanda]



**Figura 2.24: Lluvia de ideas con equipo de operativo**  
**[Fuente: Steven Alvarado Lavanda]**

La consolidación de las soluciones levantadas por los dos equipos se la presenta en la siguiente tabla 2.6:

**Tabla 2.6: Consolidado de soluciones levantadas [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]**

Número	Solución
1	Estandarización de actividades de cambio de formato
2	Establecer un procedimiento de trabajo seguro para cambiar el formato y realizar el entrenamiento
3	Realizar estudio ergonómico por tareas
4	Rediseñar la línea para eliminar puntos de difícil acceso
5	Seleccionar un equipo de paletizadores para realizar el cambio de formato
6	Entrenar a los paletizadores sobre el procedimiento correcto para realizar el cambio de formato.
7	Definir puntos de calibración de selladora y mordaza para cada formato.
8	Colocar comunicación visual de puntos para ajustes rápidos en cambios de formato
9	Cambiar la banda para eliminar el tiempo de calibración
10	Incrementar un punto de aspiración para el sistema dosificador
11	Cambiar el sistema de dosificación volumétrica.
12	Comprar silicato líquido para terminar los lotes.
13	Incrementar la disponibilidad de la autoclave.

De acuerdo con las soluciones levantadas se desarrolló un análisis del costo de implementación de cada uno para de esta forma determinar el esfuerzo que tendría que hacer la planta si desea implementarla.

La información se encuentra detallada en la siguiente tabla 2.7:

**Tabla 2.7: Análisis financiero de soluciones levantadas [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]**

#	Solución	Personas necesarias	Días necesarios	Horas totales	Costo/persona	Costo total trabajadores	Costo equipos	Otros costos	Total
1	Estandarización de actividades de cambio de formato	3	3	72	\$5,67	\$408,24	\$0	\$0	\$428,24
2	Establecer un procedimiento de trabajo seguro para cambiar el formato y realizar el entrenamiento	3	1	24	\$5,67	\$136,08	\$0	\$75	\$211,08
3	Realizar estudio ergonómico por tareas	0	0	0	\$0	\$0	\$0	\$3000	\$3000
4	Rediseñar la línea para eliminar puntos de difícil acceso	2	10	160	\$5,67	\$907,20	\$0	\$1500	\$2407,20
5	Seleccionar un equipo de paletizadores para realizar el cambio de formato	1	0,25	2	\$5,67	\$11,34	\$0	\$0	\$11,34
6	Entrenar a los paletizadores sobre el procedimiento correcto para realizar el cambio de formato.	5	1	40	\$4,09	\$163,60	\$0	\$125	\$288,60
7	Definir puntos de calibración de selladora y mordaza para cada formato.	1	1	8	\$4,09	\$32,72	\$0	\$0	\$32,72
8	Colocar comunicación visual de puntos para ajustes rápidos en cambios de formato	1	1	8	\$5,67	\$45,36	\$0	\$30	\$75,36
9	Cambiar la banda para eliminar el tiempo de calibración	3	1	24	\$5,67	\$136,08	\$0	\$5200	\$5336,08
10	Incrementar un punto de aspiración para el sistema dosificador	2	1	16	\$5,67	\$90,72	\$0	\$580	\$670,72
11	Cambiar el sistema de dosificación volumétrica.	3	18	432	\$5,67	\$2.449,44	\$135.000	\$3.600	\$141.049,44
12	Comprar silicato líquido para terminar los lotes.	0	0	0	\$0	\$0	\$0	\$11.611,60	\$11.611,60
13	Incrementar la disponibilidad de la autoclave.	3	8	192	\$5,67	\$1.088,64	\$0	\$0	\$1.088,64

### 2.3.2 Matriz de priorización de soluciones

Con la ayuda de los coordinadores de producción, el gerente de producción, jefe de envasado y el líder del proyecto se clasificó las soluciones propuestas según el impacto que generaría sobre las causas raíces y la dificultad que representa implementar cada una de ellas.

En la siguiente figura 2.25 se presenta la clasificación que fue apoyada por el análisis financiero realizado anteriormente.



Figura 2.25: Matriz de priorización [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

Las soluciones que se decidió implementar son las que están encerradas por el círculo rojo las cuales representan el mayor impacto sobre las causas raíces y el menos esfuerzo para implementar.

### 2.3.3 Plan de implementación

A continuación, en la tabla 2.8, se muestra el plan de implementación de las soluciones seleccionadas, el objetivo de este plan es describir la forma estructurada en que se implementarán las soluciones encontradas para las causas raíces.

Tabla 2.8: Plan de implementación de soluciones [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

#	SOLUCIONES	POR QUE IMPLMENTARLO	COMO	DONDE	CUANDO	QUIEN	COSTO
13	Aumentar la capacidad de la autoclave.	Existe desabastecimiento de silicato líquido y la planta tiene que hacer horas extras y comprar a un proveedor nacional.	Reducir la fundición de silicato piedra	Sistemas de fundición - AUTOCLAVE	22-jul-19	Steven Alvarado, Coordinador de Procesos Alternos	\$ 1.088,64
9	Cambiar la banda para eliminar el tiempo de calibración	El operador tarda en promedio 17,4 minutos calibrando la banda y genera un promedio de 60000 g de retrabajo para una mala calibración	Rediseñando la cinta transportadora y eliminando los puntos de ajuste	Transportador de curvas - LINEA 303	29-jul-19	Steven Alvarado, Gerente de Proyecto	\$ 5.336,08
10	Aumentar un punto de succión alrededor de los vasos de dosificación.	Los operadores que limpian el sistema de dosificación para cambiar de 350 ga 5000 g toman un promedio de 8 min y de 5000 ga 350 g toman 48 min.	Implemente un punto de aspiración con 1 m/s de velocidad	Sistema de dosificación – LINEA 303	5-ago-19	Steven Alvarado, Jefe de Mantenimiento	\$ 670,72
7	Definir un punto de calibración para cada formato en sellado horizontal y abrazadera	Los operadores no tienen una guía para hacer las calibraciones que produce que cuando ya comienzan deben anular para detener el proceso de ajuste.	Reuniones con operadores en la línea durante la producción para identificar los puntos apropiados para cada formato	Cabina de baja dosificación - LINEA 303	12-ago-19	Steven Alvarado, Jefe de Empaque	\$ 32,72
5	Seleccionar un equipo de paletizadores para hacer los cambios de formatos	Esto permitirá que ciertos paletizadores se especialicen en la tarea y el operador no tenga que ajustar esos puntos nuevamente	Analizando las condiciones ergonómicas de los paletizadores y colóquelos en la descripción de su trabajo.	PALETIZADO	12-ago-19	Steven Alvarado, Jefe de Empaque	\$ 11,34
8	Etiquetado de comunicación visual para un ajuste rápido de puntos por formato	Esta guía los ayudará a calibrar% 45 puntos más rápidos que se modifican en diferentes formatos.	Colocando comunicación visual de dónde debe ir cada punto dependiendo del formato	Cabina de baja dosificación - LINEA 303	14-ago-19	Steven Alvarado, Jefe de Empaque	\$ 75,36

#	SOLUCIONES	POR QUE IMPLANTARLO	COMO	DONDE	CUANDO	QUIEN	COSTO
1	Estandarización de actividades de cambios de formato	Los operadores tendrán un solo método para cambiar el formato y reducirán la diferencia entre los tiempos de cambio de cada operador.	El proceso de mapeo y estandariza las actividades	LINEA 303	14-ago-19	Steven Alvarado, Jefe de Empaque	\$ 408,24
2	Establecer un procedimiento de operación de seguridad para cambiar el formato y capacitarlo.	Los operadores garantizarán su integridad al darse cuenta de los cambios y tendrán una guía visual que pueden consultar en caso de dudas	Desarrollo de una instrucción visual que incluya todos los aspectos del trabajo seguro.	LINEA 303	15-ago-19	Steven Alvarado, Jefe de Empaque	\$ 211,08
6	Incluir la capacitación para paletizadores sobre el procedimiento de operación de seguridad para cambiar formatos	Los operadores conocerán el proceso claramente y el error humano se reducirá mediante la interpretación.	Actualice el plan de capacitación anual para el personal involucrado y solicite tiempo con los jefes.	Plan anual de capacitación – Oficina de recursos humanos	16-ago-19	Steven Alvarado, Jefe de Empaque	\$ 288,60

## 2.4 Implementación de soluciones

Teniendo como guía el plan de implementación de soluciones, se llevaron a cabo cada una de las soluciones propuestas con la finalidad de eliminar la causa raíz.

A continuación, se detalla el proceso de implementación de las soluciones seleccionadas incluyendo las dificultades encontradas.

### 2.4.1 Incrementar la disponibilidad de la autoclave

#### 2.4.1.1 Definición de parámetros de operación

La autoclave de la planta trabaja bajo unos parámetros de temperatura, presión y tiempos que fueron establecidos desde el inicio de las operaciones de la fábrica y que se respetan totalmente por ser un equipo a presión, el cual está siendo controlado constantemente por el alto riesgo que tiene para la operación.

En la siguiente tabla 2.9 se muestran los parámetros con los que actualmente trabaja la autoclave:

**Tabla 2.9: Parámetros de trabajo inicial de la autoclave [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]**

	Tiempo (minutos)	Presión (bares)	Temperatura (°C)
Carga de silicato piedra + agua	60	0	-
Fundición del silicato piedra	150	8	175
Despresurización	30	4	-
Descarga de silicato líquido	45	0	-

En total para el proceso completo de elaboración de silicato líquido, la planta estudiada utiliza 285 minutos por lote y cada lote de producción contiene aproximadamente 9,1 toneladas de producto.

Luego utilizando la red de contactos que tiene la empresa, se identificó otra planta que tenía el mismo proceso de fundición de silicato y se analizaron cuáles son los parámetros que utilizan ellos en el proceso.

En la siguiente tabla 2.10 se muestran los parámetros usados por otra planta que sirven como referencia para el estudio:

**Tabla 2.10: Parámetros de trabajo de la autoclave en otra planta de referencia**

[Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

	Tiempo (minutos)	Presión (bares)	Temperatura (°C)
Carga de silicato piedra + agua	60	0	-
Fundición del silicato piedra	105	6	160
Despresurización	0	6	-
Descarga de silicato líquido	45	0	-

En total para el proceso completo de elaboración de silicato líquido, la planta usada como referencia utiliza 210 minutos por lote y cada lote de producción contiene aproximadamente 11 toneladas de producto.

Basándonos en esta comparación se identificó que el silicato sólido a la presión y temperatura utilizada en la planta de estudio se mantenía en el proceso de fundición innecesariamente 45 minutos.

También es importante destacar que en la planta usada como referencia no se realiza el proceso de despresurización lo que aumenta el nivel de riesgo de la operación, respetando los estándares de seguridad se mantuvo el tiempo de despresurización.

Se propone que los parámetros de operación de la autoclave para producir silicato líquido sean establecidos como se muestra en la tabla 2.11 adjunta:

**Tabla 2.11: Parámetros propuestos para operación del autoclave**

[Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

	Tiempo (minutos)	Presión (bares)	Temperatura (°C)
Carga de silicato piedra + agua	60	0	-
Fundición del silicato piedra	105	8	175
Despresurización	30	4	-
Descarga de silicato líquido	45	0	-

#### **2.4.1.2 Evaluación de riesgos para los nuevos parámetros de operación**

Luego de haber definido los nuevos parámetros de operación de la autoclave se debió respetar el estándar de seguridad para equipos de presión crítica y realizar la respectiva evaluación de riesgos con la finalidad de descartar que existan riesgos no controlados en la nueva forma de operar.

La evaluación de riesgos se realizó con la ayuda de la coordinadora de procesos alternos, gerente de tecnologías e innovaciones (líder del estándar), Operador de autoclave, técnico de mantenimiento y líder del proyecto.



**Figura 2.26: Equipo evaluador de riesgos de nuevos parámetros de operación**  
[Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

SOLICITUD DEL CAMBIO			N°:
Nombre del Proyecto	Incremento de capacidad del autoclave		Originado por Steven Alvarado
Gerente de Proyecto	Antonio Ochoa		Evaluado por Lucy Silva
Título del Cambio	Disminución de tiempo de fundición del batch de silicato		Fecha de elaboración MOC 26/7/2019
Es un cambio definitivo	<input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	Desde 26/7/2019	Fecha del cambio 26/7/2019
Es un cambio temporal	<input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO	Desde 26/7/2019	Hasta indefinido

<p><b>Descripción del Cambio</b></p> <p>En la actualidad planta Guayas tiene una producción mensual estimada de 4500 Toneladas de PT y 300 toneladas de polvo para fabricar lo que equivale a un consumo de silicato de 1050 toneladas, la producción efectiva de silicato en la planta actual de autoclave consistiendo en 5 batch diarios (45,5 toneladas) y 21 días de trabajo equivale a 995,5 toneladas. Cabe destacar que por temas de seguridad y seguridad en el sistema del bombeo se deben consumir 365 toneladas. Esto genera un déficit de abastecimiento de silicato líquido, ocasionando un incremento en el costo del producto debido a que debemos comprar a un tercero y trabajar los 30 días para lograr el stock de seguridad y para tener la materia prima necesaria para producir.</p> <p><b>SOLUCIÓN:</b> Reducir el tiempo de preparación del batch de silicato, para incrementar de 5 a 6 paradas diarias, específicamente se va reducir el tiempo de fundición de 2,5 horas (8 bar y 175° C) a 1 hora y 45 minutos (8 bar y 175° C) modificación la regulación de las válvulas de ingreso de vapor de 5 a 6,5 bares. Incrementando 150 tons mensuales de producción.</p>	<p><b>Razón de Cambio</b></p> <p><input type="checkbox"/> Escala de tiempo <input type="checkbox"/> Otro  <input type="checkbox"/> Seguridad <input type="checkbox"/> Alcance del cambio  <input checked="" type="checkbox"/> Proceso <input type="checkbox"/> Omisión  <input type="checkbox"/> Layout</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

EVALUACION					
Herramienta de análisis de Riesgo	PHA <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> N/A	HAZOP <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> N/A	SIMAS <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> N/A		
Este cambio se realiza por Bases de Seguridad?	No		<p>Descripción:</p> <p>Página de presión de vapor vs temperatura <a href="https://www.tlv.com/globall/A/Calculator/steam-table-temperature.html">https://www.tlv.com/globall/A/Calculator/steam-table-temperature.html</a></p> <p>Ficha de seguridad del silicato: <a href="file:///C:/Users/diana.villares/AppData/Local/Microsoft/Windows/NetCache/Content.Outlook/E42K7NYV/FDS%20Silicato%20de%20sodio%20liquido%2015-11-2018.pdf">file:///C:/Users/diana.villares/AppData/Local/Microsoft/Windows/NetCache/Content.Outlook/E42K7NYV/FDS%20Silicato%20de%20sodio%20liquido%2015-11-2018.pdf</a></p>		
Si la respuesta es sí, Es requeriendo la revisión de seguridad?	No				
El cambio tiene un impacto a calidad?	no		<p>Descripción:</p> <p>Se realizó un seguimiento a través de 3 pruebas de preparación de batch de silicato, resultando concentraciones de 41,7%, 41,8% y 41,9% respectivamente. Y según el estándar de calidad el silicato líquido tiene un rango (41% - 43%)</p>		
Impacto del cambio	Costo (+/-) (€Euros) 0		Cronogram/Tiempo (+/-) (Semanas)		Bases de Evaluación
Mecánico	Diseño	Ejecución	Diseño	Ejecución	Estimado/Cotización
Electrico					<Please Select>
Control					
Civil					
Equipos					
Total	0,00	€ 0,00		0,00	<Please Select>

**Figura 2.27: Formato de evaluación de riesgos PHA** [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

Como resultado de la evaluación de riesgos se obtuvo que el cambio en los parámetros de operación de la autoclave no representa un aumento en el nivel de riesgo de la tarea, la recomendación fuerte fue que no se debe retirar el proceso de despresurización.

#### **2.4.1.3 Fabricación de un lote y pruebas de calidad**

Una vez aprobado el cambio se procedió a vaciar uno de los silos para poder fabricar un lote y realizar las pruebas de calidad necesarias para aprobar el silicato líquido entregado.

La prueba se realizó con el operador que participó en todo el proceso de desarrollo de la mejora, la cual no presentó anomalías en el proceso ni activación de alarmas de control de procesos.

Luego se realizaron las respectivas pruebas de calidad a las que se somete el silicato líquido comúnmente como son viscosidad y concentración de silicato en la mezcla, las pruebas fueron desarrolladas por el departamento de calidad de la planta. Como se muestra en la figura 2.28:



**Figura 2.28: Prueba de viscosidad al silicato líquido**

[Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

Finalmente, las pruebas de calidad en relación a viscosidad y concentración fueron exitosas, lo que significaba la fase final de aprobación de la solución implementada.,

#### **2.4.1.4 Entrenamiento sobre nuevos parámetros**

Dado que los nuevos parámetros fueron probados por un solo operador, se necesita que el cambio sea compartido y entendido en su totalidad por los otros 2 operadores de la autoclave por lo que se procedió a hacer una capacitación con el líder del estándar y al día siguiente una validación de conocimientos por el jefe del área.



**Figura 2.29: Capacitación personal a los otros operadores de la autoclave**

[Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

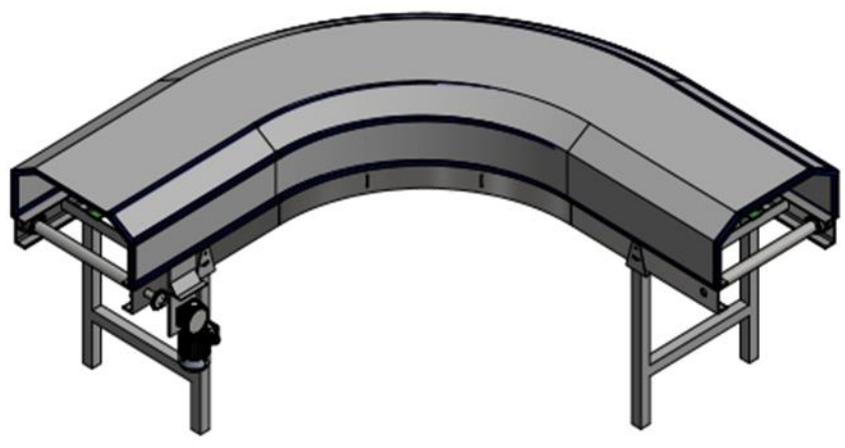
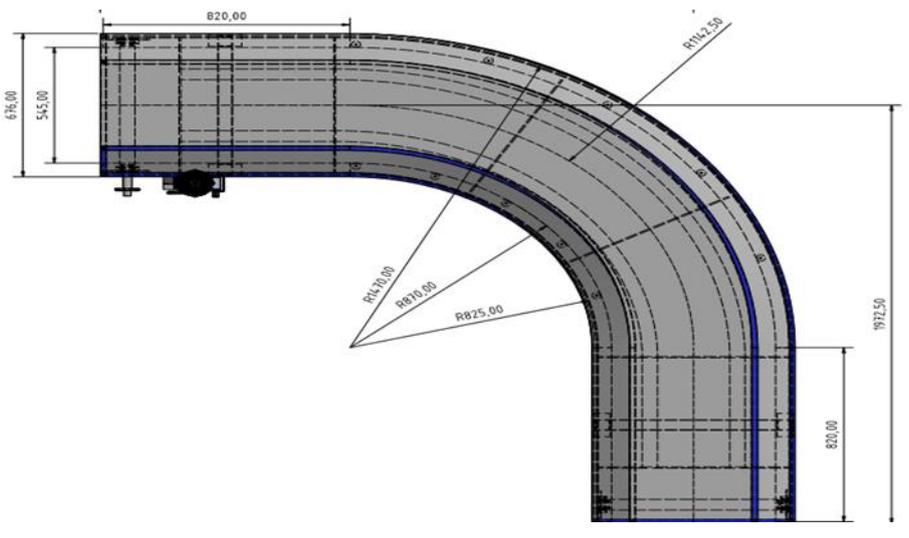
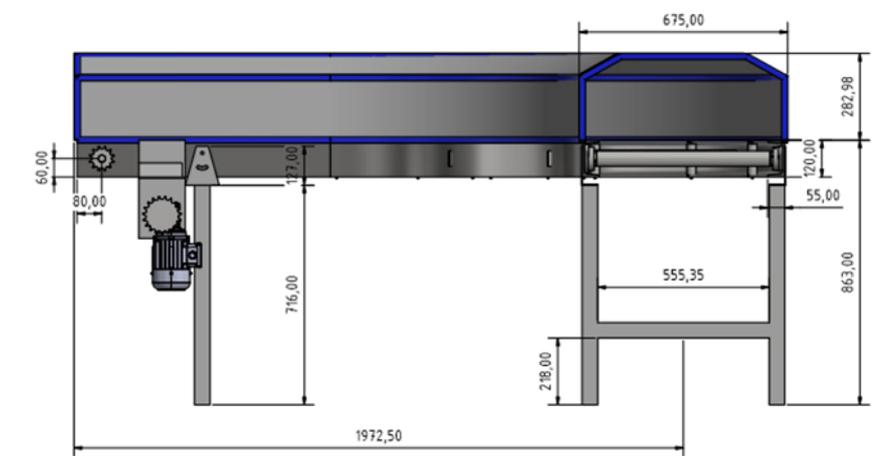
Es importante mencionar que la validación de conocimientos fue un éxito y la primera semana de trabajo fue supervisada directamente por el coordinador de procesos alternos para garantizar los resultados.

### **2.4.2 Cambio de banda**

#### **2.4.2.1 Diseño de la nueva banda**

Para poder diseñar la nueva banda, se realizó un levantamiento de requerimientos para determinar cuáles serán las medidas ideales para que la nueva banda no cause daños a los fundones y no tenga la necesidad de ser ajustada para todos los tipos de formato.

Una vez levantado este punto se procedió a dibujar la banda utilizando un software que tiene a disposición la empresa y el resultado se muestra a continuación en el plano 1.1:



Plano 1.1: Diseño de la nueva banda

Luego se buscó a un proveedor capaz de implementar construir e implementar la nueva banda y se procedió a realizar el cambio considerando el estándar de seguridad de máquinas en el que la planta es referencia a nivel regional.



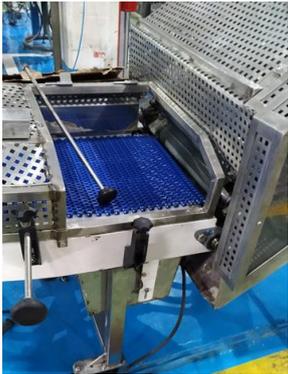
**Figura 2.30: Llegada de la nueva banda [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]**



**Figura 2.31: Retirada de la banda antigua [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]**



**Figura 2.32: Retirada de dispositivos de seguridad [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]**



**Figura 2.33: Ajuste de la nueva banda [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]**



**Figura 2.34: Reactivación de dispositivos de seguridad**  
[Fuente: Steven Alvarado Lavanda]



**Figura 2.35: Entrega de la nueva banda**  
[Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

Finalmente se validaron todos los puntos del estándar de seguridad de mano en máquina y se aprobó la banda, dejándola operativa para la producción de todos los formatos que pueda producir la línea.

### **2.4.3 Aumento de un punto de succión**

La aspiración requerida para que el polvo fino no se aloje directamente en el sistema de dosificación debe ser de 1 m/s y debe ser colocado en un punto estratégico justo a lado de los vasos dosificadores de esta forma cuando cae el polvo del silo, el polvo que no es envasado se va por el sistema de aspiración hacia el silo de reproceso.

Para la ubicación del punto de aspiración también se tomó en cuenta que no limite el cambio de formato.

El material del cual se fabricó el punto de aspiración fue una manguera flexible de resistencia estándar la cual puede moverse para favorecer la limpieza del sistema de dosificación.

A continuación, se muestran las evidencias del cambio realizado en las figuras 2.36 y 2.37:



**Figura 2.36: Ingreso del punto de aspiración al sistema dosificador**

[Fuente: Steven Alvarado Lavanda]



**Figura 2.37: Punto de aspiración dentro del sistema dosificador**

[Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

Se entrega el sistema de aspiración a los operadores de la línea y se explica el uso de este a todos los turnos incluyendo los coordinadores de producción.

#### **2.4.4 Selección de paletizadores y entrenamiento sobre cambio de formato**

Se selecciona un equipo de paletizadores a base de la productividad reportada para poder realizar el proceso de entrenamiento de manera adecuada y la condición médica de los trabajadores para evitar cualquier problema ergonómico por levantamiento de cargas a futuro, se seleccionaron 2 por cada turno de trabajo.

A continuación, se muestra a los operadores seleccionados y los respectivos back ups de ellos:



**Figura 2.38: Paletizadores seleccionados para cambio de formato**

[Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

Se realizó la respectiva capacitación en campo sobre la tarea de cambio de formato, donde se validaron todos los puntos a ajustar y adicionalmente cuales son los estándares de operación de ala enfardadora.

En la figura 2.39 adjunta se muestra el proceso de capacitación, el cual fue desarrollado con todos los paletizadores en simultaneo con la finalidad de que se aclaren todas las dudas que puedan existir.



**Figura 2.39: Entrenamiento a paletizadores**

[ Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Luego de la implementación de las soluciones seleccionadas por el equipo de trabajo se procedió a evaluar cuales fueron los resultados de estas y cuál fue el beneficio económico obtenido para la empresa.

### 3.1 Resultados de aumento de disponibilidad de autoclave

Los nuevos parámetros de operación permitieron aumentar un lote de producción al día, teniendo en cuenta que cada lote es de aproximadamente 9,1 toneladas, semanalmente la autoclave reporta 45,5 toneladas adicionales.

Basándonos en esta cantidad adicional que se logró producir, se calcularon los beneficios financieros para la organización al dejar de comprar silicato líquido a un proveedor, este análisis se lo presenta en la siguiente tabla 3.1:

**Tabla 3.1: Análisis de beneficios obtenidos por aumento de disponibilidad de materiales**

[Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

DESCRIPCIÓN	DETALLE
Costo por tonelada de silicato líquido del proveedor	\$244,79
Materia prima para hacer silicato líquido en planta	\$198,79
Otros costos para hacer silicato líquido en planta	\$19,35
Ahorro por tonelada al producir silicato líquido	\$26,66
Ahorro semanal al producir silicato líquido	\$1.212,89
Ahorro anual al producir silicato líquido	\$63.070,28

El ahorro anual resultante de aumentar la disponibilidad de la autoclave es de aproximadamente \$63.070,28, este ahorro fue validado por la jefatura de mejora continua de la empresa donde se desarrolló el proyecto.

Luego se revisó en la línea 303 el registro digital de pérdidas para evidenciar un cambio en los tiempos y se identificó que la falta de silicato líquido ya no hacía parte de este problema y podemos afirmar que no volverá a suceder, la nueva distribución mostrada en la figura 3.2 indica que otro componente es el que falta, pero ese no forma parte de este proyecto.



Figura 3.1: Distribución de materiales no disponibles para la línea 303 antes de la mejora [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]



Figura 3.2: Distribución de materiales no disponibles para la línea 303 después de la mejora [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

### 3.2 Resultados del cambio de banda

El cambio de banda ofreció dos beneficios a la línea 303, los cuales serán detallados a continuación:

### 3.2.1 Beneficio en disponibilidad de línea 303

Para el cambio de formato de 350g a 5000g y viceversa se utilizaba en promedio 17,4 minutos ajustando para evitar que la banda dañe los sobres o que se obstruya por la diferencia de tamaños de estos.

Al realizar la mejora el tiempo de ajuste de la banda se redujo a 0 ya que fue diseñada para que trabaje sin importar el formato o la variante que se esté produciendo, los beneficios alcanzados se presentan en la siguiente tabla 3.2:

**Tabla 3.2: Calculo de ahorro anual por eliminación de ajuste de banda**

[Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

Promedio de tiempo de ajuste anterior de la banda (minutos)	17,4
Fundas de detergentes de 5Kg por minuto	15
Promedio de fundas de detergentes de 5Kg dejadas de producir	261
Promedio de cambios de formato al mes	3,25
Promedio de fundas de detergente de 5Kg dejada de producir al mes	848,25
Promedio de fundas de detergente de 5Kg dejada de producir al año	10179
Valor de desabastecimiento de 5Kg calculado por planning	\$1,31
Ahorro al año	\$13.380,30

Los valores de desabastecimiento fueron determinados por el departamento de planning teniendo en cuenta el impacto de no tener en el canal moderno producto de 5Kg buscado por los clientes, adicionalmente los valores registrados en esta tabla fueron validados por el departamento de mejora continua y reportados como ahorro anual de la planta.

### 3.2.2 Beneficio en consumo de plástico

La reducción del consumo de plástico es un aspecto fundamental en el plan de vida sostenible de la empresa donde se desarrolló el proyecto, por lo que los beneficios en reducción de consumo de plástico luego del proyecto fueron calculados y expresados como parte de los resultados obtenidos.

Los cálculos del ahorro de plástico se presentan en la siguiente tabla 3.3:

**Tabla 3.3: Reducción de consumo de plástico por cambio de banda**

[Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

Promedio de fundas de 5Kg dañadas por cada cambio de formato	
10,9	
Promedio de fundas de 5Kg dañadas por cambios de formato al mes	
35,425	
Promedio de fundas de 5Kg dañadas por cambios de formato al año	
425,1	
Kg de plástico usado en cada funda de 5Kg	
0,02933	
Kg de plástico ahorrado al año.	
12,4682	

El valor de Kg de plástico usado para cada funda fue obtenido directamente de la fórmula que es de donde se sacan los valores de inventario y los materiales disponibles para producción.

### 3.3 Resultados por aumento de punto de aspiración

Una vez habilitado el nuevo punto de aspiración, se observó en gemba cuál era el nuevo tiempo de limpieza de sistema dosificador cuando se realizaba cambio de formato de 5Kg a 350g para establecer una prueba de hipótesis y así poder determinar si este tiempo disminuyó o no.

Los resultados de la prueba de hipótesis se presentan en la siguiente figura 3.3:

<b>Prueba</b>	
Hipótesis nula	$H_0: \text{diferencia}_\mu = 0$
Hipótesis alterna	$H_1: \text{diferencia}_\mu \neq 0$
<u>Valor T</u>	<u>Valor p</u>
127.96	0.000

**Figura 3.3: Prueba de hipótesis para determinar si existe diferencia en el tiempo de limpieza [Fuente: Autor del proyecto]**

Adicionalmente se realizó un histograma de diferencias donde se compararon tiempos de limpieza con aspiración y sin aspiración, los resultados se presentan en la siguiente figura 3.4:



**Figura 3.4: Histograma de diferencias en tiempo de limpieza [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]**

Luego de realizar la validación estadística, podemos decir que con un valor  $p < 0,05$  tenemos suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula de que los tiempos de limpieza con aspiración y sin aspiración son los mismos y ayudándonos con el gráfico desarrollado podemos afirmar que en promedio se demora 34,39 minutos menos que cuando no existía el punto de aspiración.

Usando la información del análisis estadístico se procedió a realizar un análisis del beneficio económico que tendrá anualmente la empresa, el análisis se presenta en la siguiente tabla 3.4:

**Tabla 3.4: Cálculo de ahorro anual por reducción de tiempo limpiando sistema dosificador [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]**

Promedio de tiempo ahorrado por limpieza del sistema dosificador	34,39
Fundas de detergentes de 5Kg por minuto	15
Promedio de fundas de detergentes de 5Kg dejadas de producir	515,85
Promedio de cambios de formato al mes	3,25
Promedio de fundas de detergente de 5Kg dejada de producir al mes	1.676,5125
Promedio de fundas de detergente de 5Kg dejada de producir al año	20.118,15
Valor de desabastecimiento de 5Kg calculado por planning	\$1,31
Ahorro al año	\$26.445,31

Los valores de desabastecimiento fueron determinados por el departamento de planning teniendo en cuenta el impacto de no tener en el canal moderno producto de 5Kg buscado por los clientes, adicionalmente los valores registrados en esta tabla fueron validados por el departamento de mejora continua y reportados como ahorro anual de la planta.

### **3.4 Resultados por selección de equipo de paletizadores y entrenamiento.**

Luego de realizar el entrenamiento con el personal seleccionado y realizar las respectivas pruebas de conocimiento, se revisó en gemba el conocimiento tanto de los que fueron determinados como principales como del back ups.

Luego de que el paletizador realice los ajustes en la enfardadora para cambiar de formato, se evidenció que el operador de la línea no necesitó revisar los ajustes ni se produjeron daños en las fundas de por ese factor.

Por lo tanto, para calcular los beneficios económicos para la empresa se utilizó el tiempo que anteriormente invertía el operador de la línea lo cual representa el tiempo que la línea estará disponible para producir.

En la siguiente tabla 3.5 se presentan los beneficios económicos anuales que tendrá la planta:

**Tabla 3.5: Cálculo de ahorro anual por eliminación de revisión de ajustes de paletizadores [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]**

Promedio de ahorrado por revisión de ajuste de paletizadores	12,98
Fundas de detergentes de 5Kg por minuto	15
Promedio de fundas de detergentes de 5Kg dejadas de producir	194,7
Promedio de cambios de formato al mes	3,25
Promedio de fundas de detergente de 5Kg dejada de producir al mes	632,775
Promedio de fundas de detergente de 5Kg dejada de producir al año	7.593,3
Valor de desabastecimiento de 5Kg calculado por planning	\$1,31
Ahorro al año	\$9.981,39

Adicionalmente se verifica que ya no se dañan fundas en la enfardadora por falta de ajuste, lo que también representa un beneficio para el plan de vida sostenible en la categoría de reducción del consumo de plástico, los cálculos se presentan a continuación en la tabla 3.6:

**Tabla 3.6: Reducción de consumo de plástico por entrenamiento a paletizadores [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]**

Promedio de fundas de 5Kg dañadas por cada cambio de formato	102,5
Promedio de fundas de 5Kg dañadas por cambios de formato al mes	333,125
Promedio de fundas de 5Kg dañadas por cambios de formato al año	3.997,5
Kg de plástico usado en cada funda de 5Kg	0,02933
Kg de plástico ahorrado al año.	117,25

### 3.5 Resultados con respecto a la variable de respuesta

Una vez realizados todos los cambios se revisó el porcentaje semanal de OEE de la línea 303, la cual era la variable de respuesta y se identificó que a pesar de que el objetivo era que en promedio sea de 89%, se logró llevarla a 90,7% superando las expectativas del cliente.

A continuación, en la figura 3.5, se muestra la línea de tiempo donde se observa el porcentaje de OEE de la línea:

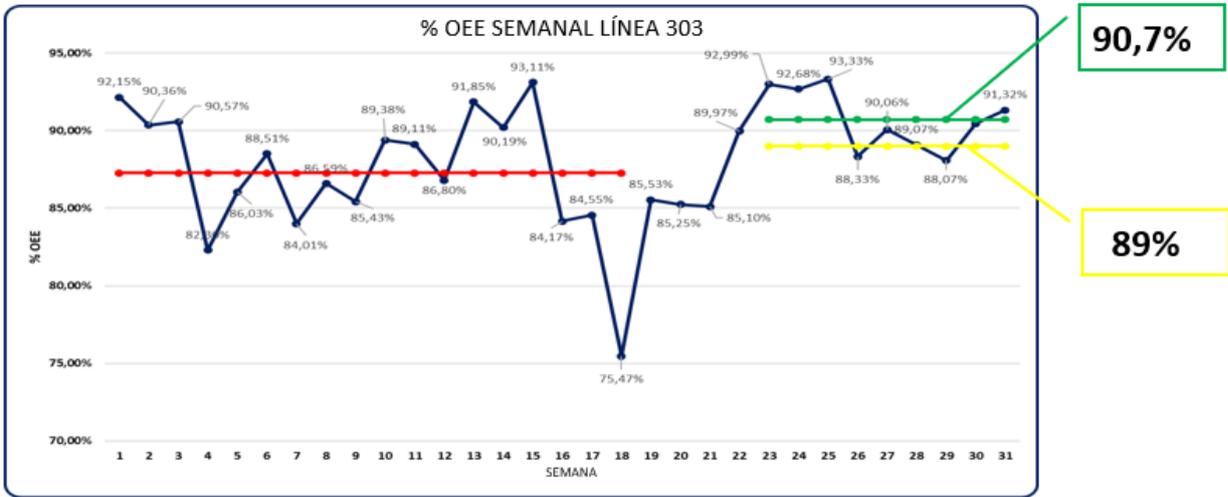


Figura 3.5: Porcentaje de OEE semanal de línea 303

En total las mejoras implementadas acumularon un beneficio económico para la planta de \$112.877,28.

### 3.6 Control

Para garantizar que las soluciones implementadas se mantengan y puedan ofrecer los beneficios anuales mencionados anteriormente, apoyados en el conocimiento de los operadores en la metodología TPM y WCM se realizó la respectiva identificación de puntos de ajuste rápido y se le colocó comunicaciones visuales de acuerdo con el formato para disminuir el tiempo en esta actividad.



**Figura 3.6: Ajuste de mordaza según formato**  
[Fuente: Steven Alvarado Lavanda]



**Figura 3.7: Ajuste de desplazador de lámina primaria y estándares visuales de trabajo** [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]

Finalmente se implementó un plan de control donde se validan que las soluciones implementadas sean mantenidas y se conserven los resultados, estos resultados se observan principalmente en la reunión diaria de resultados llamada DOM, a continuación, en la tabla 3.7, se muestra el plan detallado:

**Tabla 3.7: Plan de control de soluciones implementadas [Fuente: Steven Alvarado Lavanda]**

Indicadores	¿Por qué?	¿Cómo?	¿Cuándo?	¿Dónde?	¿Qué tanto?
Tiempo de cambios de formato	Si no se respetan los límites establecidos se disminuirá la disponibilidad de la línea y por tanto su OEE	Monitoreando el valor absoluto del tiempo de cambio de formato.	Diariamente	Línea 303, reunión DOM y herramienta digital de control de pérdidas.	77,11 min - 84,31 min
Flujo de aire en punto de aspiración	Si el nuevo punto de aspiración se satura, cuando se realicen cambios el sistema dosificador estará sucio y se tomará más tiempo limpiando.	Observando los reportes de flujo de aspiración que se realizan en todos los turnos de trabajo.	Diariamente	Línea 303, reunión DOM y herramienta digital de control de pérdidas.	1 m/s
Tiempo perdido por silicato líquido	Si no se entrega la producción correcta de silicato la OEE de la línea se verán impactadas.	Reporte de producción de la autoclave y revisión de impacto de OEE por falta de silicato líquido.	Diariamente	Línea 303, reunión DOM y herramienta digital de control de pérdidas.	0
Tiempo de preparación	Si los operadores no utilizan las comunicaciones visuales implementadas se tomarán más tiempo preparando y eso disminuirá la OEE	Monitoreando el valor absoluto del tiempo de preparación de la línea.	Diariamente	Línea 303, reunión DOM y herramienta digital de control de pérdidas.	14,35 min - 22,04 min

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- Se excedió el objetivo del proyecto ya que el porcentaje semanal de OEE de la línea 303 ascendió a %90,7 mientras que el objetivo era %89.
- Las soluciones implementadas dieron beneficios económicos a la empresa de aproximadamente \$112.877,29.
- Los tiempos de calibración de banda disminuyeron de un promedio de 17,4 minutos a 0 minutos.
- Los tiempos de limpieza del sistema dosificador disminuyeron de un promedio de 48,2 minutos a 13,81 minutos.
- El plástico ahorrado anualmente gracias a todas las soluciones implementadas es de aproximadamente 129,72 Kg contribuyendo al plan de vida sostenible de la planta.

### 4.2 Recomendaciones

- Se recomienda que se cumpla con el procedimiento de cambio de formato establecido y se usen las comunicaciones visuales colocadas.
- Se recomienda que se desarrolle un plan de mantenimiento preventivo para las soluciones implementadas de acuerdo con las especificaciones técnicas.
- La empresa debe buscar asegurar la disponibilidad de otros materiales que no sean silicato líquido para no disminuir la OEE de todas las líneas.

# BIBLIOGRAFÍA

- Anna Cláudia Freire de Araújo Patrício, N. S. (2019). Ishikawa Diagram: Causes and Solutions of Hiv Infection in Nursing Professionals Due to Sharps Use / Diagrama de Ishikawa: Causas e Soluções da Infecção ao Hiv Adquirida por Profissionais de Enfermagem Através de Materiais Perfurocortantes. *Pesquisa: Cuidado é Fundamental Online*, 707.
- Brown, C. (2019). Why and how to employ the SIPOC model. *Journal of Business Continuity & Emergency Planning*, 198–210. Obtenido de <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bsu&AN=135613394&lang=es&site=eds-live>
- Capera Figueroa, J. J.-C. (2018). Racialización y estratificación social: violencia, despojo y hambruna. El caso de Buenaventura.
- Girmanová Lenka, Š. M. (2017). Application of Six Sigma Using DMAIC Methodology in the Process of Product Quality Control in Metallurgical Operation. *Acta Technologica Agriculturae* (pág. 104). <https://doi.org/10.1515/ata-2017-0020>. Obtenido de <https://doi.org/10.1109/IEA.2018.8387132>
- Krachangchan, K. &. (2018). Loss time reduction for improve Overall Equipment Effectiveness (OEE). *5th International Conference on Industrial Engineering and Applications*, págs. 396–400. Obtenido de <https://doi.org/10.1515/ata-2017-0020>
- Martelo, R. J. (2016). Integración del Ábaco de Régnier, Encuestas y Lluvia de Ideas en la Definición de Variables Claves en Estudios Prospectivos / Integration of Regnier's Abacus, Brainstorming and Polls in the Definition of Key Variables for Prospective Studies. 243.
- Pineda Sánchez, T. A. (2018). *Evaluación de improductivos y determinación de pérdidas, utilizando el diagrama de Pareto en la EE MVC UM Chungar*. Volcan compañía Minera SAA – 2017.