

# UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



*Excelencia que trasciende*

**DELVALLE**  
GRUPO EDUCATIVO

**Elaboración de propuesta de optimización de una línea de producción de agroquímicos líquidos para mejorar costos de producción en una empresa agroquímica ubicada en Amatitlán, Guatemala**

Trabajo de graduación presentado por Sebastian Cetina Suarez para optar por el título a Licenciado en Ingeniería Industrial

Guatemala,

2025



# UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



*Excelencia que trasciende*

**DELVALLE**  
GRUPO EDUCATIVO

**Elaboración de propuesta de optimización de una línea de producción de agroquímicos líquidos para mejorar costos de producción en una empresa agroquímica ubicada en Amatitlán, Guatemala**

Trabajo de graduación presentado por Sebastian Cetina Suarez para optar por el título a Licenciado en Ingeniería Industrial

Guatemala,

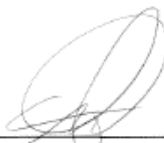
2025

Vo.Bo.

Ok   
\_\_\_\_\_

Ing. Erick Fernando Velásquez Tobar

Tribunal Examinador:

Firma:   
\_\_\_\_\_

Ing. Erick Fernando Velásquez Tobar



\_\_\_\_\_

MSc. Francisco Javier Gurdian Ojeda



\_\_\_\_\_

MBA. Patricia Estefanía Blanco García

Fecha de aprobación del examen de graduación: Guatemala, 26 de Febrero de 2025

## Prefacio

Este trabajo es una recopilación de información que fue recopilada dentro de una planta industrial de fabricación de agroquímicos. La información contenida en este trabajo y su realización fueron un gran aprendizaje para mi persona. Hubo momentos de estrés al momento de recopilar datos, momentos de felicidad al momento de aplicar dichos datos y muchas lagrimas al modelar la línea de envasado lo cual me tomo más del tiempo estipulado.

En este trabajo se contiene un estudio a una línea de producción descriptivo de una línea de producción. Se podrá encontrar a detalle todos los gráficos de la data recopilada durante cuatro meses. El trabajo incluye un análisis del área de formulación y propuestas al área de trabajo de envasado junto con una simulación del área descrita-

Se realizaron estudios de tiempos y se obtuvieron tiempos de las áreas seleccionadas. Después se realizó un análisis de tiempos y el movimiento general de los operarios para ver la eficiencia. Luego se determinó que el

Y quiero agradecer a las siguientes personas:

- A Dios por darme la fuerza necesaria para cuando mis fuerzas humanas no eran suficientes
- Mi madre Aida Suarez por siempre alentarme a terminar la tesis.
- Mi padre Julio Cetina por siempre alentarme en momentos de estrés.
- Mi asesor Erick Velásquez por ayudarme a ser un mejor ingeniero indicándome mejoras y siempre darme retroalimentación de mi desempeño en las prácticas como en la realización de esta tesis.
- A la empresa por darme la oportunidad, lugar y tiempo de completar ese trabajo de graduación ya que sin ellos no habría sido posible
- Mi novia Andrea Coy por apoyarme y alentarme en momentos donde yo dudaba si el trabajo sería completado.

# CONTENIDO

Prefacio .....	iii
Lista de figuras.....	i
Resumen.....	iii
1. Introducción .....	1
2. Objetivos .....	2
3. Alcance y limitaciones del trabajo final .....	3
4. Justificación.....	5
5. Marco teórico .....	7
5.1 Diagrama DOP .....	7
5.2 Estudio de tiempos .....	7
5.3 Estudio de movimientos .....	7
5.4 Simulación discreta .....	7
5.5 Teoría de colas .....	8
5.6 Simio.....	8
5.7 Análisis estadístico .....	8
5.8 Lean Six Sigma.....	8
5.9 OEE .....	9
5.10 SMED .....	9
5.11 Metodología 5S .....	9
5.12 Valor presente neto (VPN).....	9
5.13 Rotación de activos.....	9
6. Metodología .....	10
7. Resultados .....	14
8. Análisis de resultados.....	33
9. Conclusiones .....	42
10. Recomendaciones .....	43
11. Comentarios finales .....	44
12. Bibliografía .....	45
13. Anexos .....	47

# Lista de figuras

## Lista de DOPs

DOP1. Proceso de formulación de suspensiones concentradas .....	14
DOP 2: Proceso de envasado de líquidos no herbicidas .....	15
DOP 3: Cambio de formato de la línea A de forma lineal.....	16
DOP 4 Cambio de formato de la línea A de forma paralela .....	17
DOP 5: Limpieza de línea de envasado .....	18

## Lista de gráficos

Gráfico 1 Visualización de tiempo de formulación.....	19
Gráfico 2: Comparación de tiempos de llenado de botellas.....	20
Gráfico 3: Comparación de tiempos de tapado de botellas .....	21
Gráfico 4: Comparación de tiempos de sellado de botellas .....	21
Gráfico 5: Comparación de tiempos de etiquetado de botellas .....	22
Gráfico 6 Comparación de tiempos de empacados de corrugados.....	22
Gráfico 7: Tiempos promedio de la línea A presentación de 1Litro.....	23
Gráfico 8 Defectos en 3 meses línea A presentación litro.....	23
Gráfico 9 Tiempo total de fallas en la línea A Litro.....	24
Gráfico 10 Tiempo promedio de litro en línea A .....	24
Gráfico 11: Tiempo de duración de las operaciones en 250ml .....	25
Gráfico 12 Fallas en presentación de 250ml.....	25
Gráfico 13 Tiempo total en fallas de 250ml.....	26
Gráfico 14: Tiempos promedio de la línea A de 500mL .....	26
Gráfico 15: Fallas en presentación de 500ml.....	27
Gráfico 16 Tiempo total en fallas de 500ml.....	27
Gráfico 17: Pareto de cambio de formato lineal sin contar limpieza .....	28
Gráfico 18 Gráfico de esquematización del tiempo de duración de tareas en el cambio de formato. ....	28
Gráfico 19: Esquema de visualización de plan de responsabilidad operativa.....	30
Gráfico 20: Comparación entre costos de manufactura .....	32

## Lista de tablas

Tabla 1: Duración de tareas hombre en formulación .....	19
Tabla 2 Duraciones de todas las tareas en formulación .....	20
Tabla 3: Tiempos promedio de operaciones de 1000ml.....	22
Tabla 5: Tiempos promedio de operaciones de 500ml.....	26
Tabla 6 Outputs totales y eficiencia estimada en la presentación de litro.....	29
Tabla 7 Eficiencia presentación litro.....	29
Tabla 8 Outputs de la presentación de 250ml .....	29
Tabla 9 Eficiencia en la presentación de 250ml.....	29
Tabla 10 Eficiencia en la presentación de 500ml.....	30
Tabla 11: Modelo financiero actual línea A proyectado a 5 años.....	31
Tabla 12 Modelo financiero propuesto .....	31
Tabla 13: Disminución de costos .....	32

## Resumen

Este trabajo detalló la mejora de una línea de producción de agroquímicos no herbicidas en su totalidad, desde la formulación hasta el empaquetado del producto. Este proceso se realizó en una planta ubicada dentro del municipio de Amatitlán, en el departamento de Guatemala. El proceso, en ese momento, se encontraba en condiciones aceptables, pero debido a que la empresa fabricante de los productos agroquímicos estaba en un proceso de reorganización por un problema ajeno a este trabajo, se vio en la necesidad de reducir al máximo los costos de producción.

En este proceso, los problemas que impedían y comprometían este objetivo se encontraban en las áreas de formulación, específicamente al momento de moler la mezcla del agroquímico. También se presentaban ciertas fallas recurrentes en la producción, las cuales ralentizaban el envasado, que dependía totalmente del área de formulación para aumentar su eficiencia.

El trabajo se dividió en cuatro etapas principales: Se detalló y realizó un mapeo del proceso actual para poder visualizar a detalle el flujo de trabajo y determinar posibles causas que estaban ralentizando la producción. Esto se llevó a cabo tanto en el área de formulación como en el área de envasado. Para ello, se utilizaron herramientas de visualización gráfica, y para identificar los cuellos de botella se emplearon estudios de movimientos y estudios de tiempos para medir los tiempos totales, promedios de duración y sus respectivas desviaciones.

Luego se analizó en su totalidad el proceso con los datos obtenidos en la primera etapa para identificar las causas principales de la falta de eficiencia. Se realizaron simulaciones por software del proceso de formulación y del área de envasado de manera separada, ya que, aunque operaban en conjunto como un sistema, sus procesos funcionaban de manera independiente, con la única dependencia de que el envasado se alimentaba del área de formulación.

Con el modelo virtual ya elaborado y las deficiencias analizadas, se realizó una evaluación de alternativas para mejorar la eficiencia de la línea de producción. Se implementaron técnicas como el MRP, movimientos estandarizados para los operarios y principios de *Lean Six Sigma*, todo con el objetivo de reducir los costos y aumentar la eficiencia.

Finalmente, se evaluaron las alternativas propuestas y se validó su eficiencia a través de simulaciones. Se compararon los resultados con el modelo original y se verificó si los costos de producción y manufactura mejoraron en al menos un 3%. A partir de esto, se recomendaron las mejores propuestas que demostraron una mejora en el proceso de producción.

# 1. Introducción

La siguiente propuesta de mejora demuestra una posible reducción de costos y un aumento en la eficiencia del proceso de suspensiones concentradas no herbicidas en una planta de agroquímicos ubicada en el municipio de Amatitlán, Guatemala

Los productos agroquímicos son productos químicos que son utilizados en la agricultura para combatir plagas y enfermedades en los cultivos, en ciertos casos ayudan a mejorar el crecimiento de las plantas. Entre los productos agroquímicos fabricados en la empresa se encuentran insecticidas, herbicidas, fungicidas, pesticidas y fertilizantes. La tecnología en estos productos ha ido consecutivamente cambiando y hay una tendencia en utilizar productos que se denominan suspensiones concentradas

Las suspensiones concentradas son formulaciones que contienen ingredientes activos sólidos dispersos en un agua. Tiene numerosos beneficios ante otras tecnologías como las concentrados emulsionables y polvo mojable. Sus beneficios son, ausencia de polvo, mayor efectividad y facilidad de uso. Las suspensiones concentradas también tienen alto contenido molecular por lo cual es altamente efectivo como agroquímico.

Estos se fabrican en máquinas formuladoras en donde se introduce el líquido junto con el ingrediente activo y se muele para almacenarse en tanques de contención y luego en la fase de envasado se utilizan máquinas de envasado semiautomáticas para las diferentes presentaciones que se fabrican exclusivamente en esta planta. Estas presentaciones son de 50ml, 100ml, 250ml, 500ml y un litro. También existen presentaciones más grandes como lo son las canecas de 5 litros y la de 20 litros. Las presentaciones más grandes son las de barril de 200 litros e IBC (Industrial Bulk Containers) de 1000 litros.

Para poder optimizar la línea de producción se dividió la investigación en cuatro partes para poder determinar las soluciones óptimas y abordar el problema con eficiencia aplicando lo aprendido durante la carrera de Ingeniería Industrial.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

Diseñar una propuesta de optimización de una línea de producción de líquidos agrícolas de suspensión concentrada para aumentar productividad de operación en una empresa agroquímica mediante análisis de datos obtenidos por medio de un estudio de tiempos y movimientos.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Desarrollar un mapeo a detalle del proceso actual para poder obtener los datos que identifiquen su funcionamiento mediante métodos gráficos y tabulaciones y así analizar el desempeño del proceso actual mediante un estudio de tiempos y movimientos y determinar principales oportunidades de mejora
- Desarrollar un modelo virtual de la línea de producción mediante software de simulación para identificar ineficiencias y cuellos de botella en la línea de producción y así lograr determinar el porcentaje de eficiencia de la línea de producción y los costos actuales de producción y mediante un análisis de Pareto priorizar cuellos de botellas.
- Establecer, al menos, dos propuestas de mejora basados en los cuellos de botella identificados en el proceso de la línea de producción mediante uso de herramientas como SMED, OEE para mejorar la eficiencia de la línea de producción.
- Determinar bajo análisis o simulación las propuestas de mejora y validar si las mismas permiten al menos una mejora del 3% acumulado en el plazo de tiempo establecido en los costos de manufactura en las líneas de formulación y envasado.

### **3. Alcance y limitaciones del trabajo final**

Este trabajo de evaluación de producto será en una fábrica de agroquímicos de Guatemala. Las áreas de excelencia académica que este trabajo estará guiándose para la elaboración de los objetivos:

- Procesos y producción
- Economía y finanzas

El trabajo solamente estará evaluando las áreas de formulación y envasado y no tomará en cuenta el comportamiento de la cadena de valor anterior y posterior a las áreas a evaluar. Debido a que el trabajo se enfoca en las suspensiones concentradas solamente se detallará el proceso de formulación de las líneas que trabajen este tipo de productos en este trabajo.

Para la evaluación del desempeño de la línea de producción se necesitará acceso a datos que son de propiedad de la organización administradora de la fábrica de agroquímicos. Estos datos se encuentran en plataformas propias de la empresa las cuales se tiene autorización directa de los dirigentes de la planta de producción de agroquímicos en Guatemala. Debido a que la información a utilizar son datos históricos de fallas previas en la línea de producción y no representan data sensible como nombres de productos, costos de manufactura, o datos específicos de la empresa en donde se realiza el estudio por lo tanto pueden ser estudiados y publicados en este trabajo. Lo que sí se aferra a la confidencialidad son los costos de producción los costos de elementos como la materia prima u hora hombre y serán considerados como supuestos o serán ajustados para garantizar la confidencialidad de los datos.

Para la comparación de datos históricos se podrá tener acceso a las plataformas que utilizará la empresa como lo que son Indicadores de Eficiencia General de los equipos (OEE), propios de la empresa, documentos que detallen el historial de la empresa, una tesis de la Universidad del Valle de Guatemala y libros, artículos; que puedan aportar hacia la resolución de problemas en las líneas de producción

Las propuestas pueden verse limitadas a costos de implementación que sean demasiado altos ya que se busca tomar medidas que minimicen los costos de manufactura, costos demasiado elevados comprometerían con el objetivo 4 de este trabajo. El tiempo de realización de este trabajo

también es una limitación debido a que se debe de concluir previo a septiembre para su presentación final en dicha fecha.

El trabajo al ser solamente una propuesta de diseño no corresponderá ni tomará en cuenta la implementación real de las propuestas detalladas en este trabajo. Solamente se detallarán las proyecciones de los posibles resultados de cada propuesta de trabajo por medio de simulación y el análisis de dichas propuestas. Cabe destacar que el trabajo solo reflejara los posibles resultados y estos al aplicarse en la vida real podrían variar.

## 4. Justificación

La planta de productos agroquímicos pertenece a una empresa que abastece productos de cuidado agrónomo a numerosos sectores no solo a nivel nacional, sino que a nivel latinoamericano para la fabricación de productos agroquímicos tanto herbicidas como no herbicidas. Estos productos enfocados a la protección de cultivo se encuentran debidamente certificados para que no lleguen a dañar los cultivos, mantengan sus propiedades y sean seguros para el consumo. Productos genéricos con Ingredientes Activos de licencia libre han estado adquiriendo un mayor espacio en el mercado debido a menores precios y por lo tanto la empresa de agroquímicos ubicada en el municipio de Amatitlán, Guatemala debe de reducir los costos de producción para poder mantenerse competitivo. Poder mejorar los costos de producción implicaría una mejora con respecto a la competencia ante los productos de origen genérico. Esto también implicará una mejor utilidad para la empresa.

La planta en donde se fabrican los agroquímicos de suspensiones concentradas como se mencionó anteriormente, se encuentra ubicada en el municipio de Amatitlán y fue inaugurada en 1969 y por 55 años ha sido un ancla económica y una fuente de trabajo para muchos habitantes del municipio. También es un motor económico no solo de la zona sino también a nivel nacional debido a la naturaleza agrícola de Guatemala y naciones vecinas. La fábrica actualmente cuenta con 55 empleados y algunos llevan más de 20 años de experiencia trabajando para esta. La reducción de costos de manufactura podría disminuir el número de empleados que actualmente realiza operaciones laborales dentro de la planta, pero si la planta no mejora sus índices de eficiencia existe la posibilidad de cerrar operaciones en la planta dejando desempleadas a 55 personas que residen en las cercanías y en el municipio. También se perdería un motor económico de producción que beneficia a la economía guatemalteca.

La planta de producción es necesaria a nivel internacional ya que se dedica a la manufactura de presentaciones más pequeñas. Esto para la empresa representa estratégicamente una necesidad que se perdería ya que ninguna otra planta en la región latinoamericana produce estas presentaciones de menor escala.

Por último, El área de formulación y el área de envasado son áreas cruciales para la planta ya que abarca todo el proceso de producción. Los costos de producción se han ido progresivamente disminuyendo a niveles macro empresariales, pero se necesita de observación directa y eficaz de actividades que solamente ocurren durante la operación que no pueden ser vistas a nivel administrativo. La empresa quiere estandarizar todos los procesos necesarios para reducir al máximo los costos de manufactura y realizar un proceso de gestión de cambio en las personas para hacer más eficiente el proceso. Este trabajo logrará demostrar las causas principales oportunidades a mejorar dentro del proceso de producción, logrará establecer un modelo digital que determine ineficiencias discretas en día de producción, establecerá propuestas que logren erradicar las ineficiencias actuales de la planta y se presentará un modelo que abarque las mejores propuestas para que la empresa decida o no implementarlas en un futuro con los beneficios impactos económicos y productivos.

## **5. Marco teórico**

### **5.1 Diagrama DOP**

El diagrama DOP es una representación gráfica de un flujo de proceso para la elaboración de un producto o servicio. En este diagrama se muestran todas las operaciones, inspecciones, cronología y materiales utilizados en el proceso. El diagrama DOP puede clarificar el proceso, Facilitar el estudio, optimizar el manejo de materiales e identificar materias primas y secundarias.

### **5.2 Estudio de tiempos**

Es una técnica de medición de trabajo empleada para registrar los tiempos de trabajo y actividades correspondientes a las operaciones de una tarea definida, efectuada en condiciones determinadas. Esto con el fin de poder analizar los datos y calcular el tiempo requerido para efectuar una tarea, una acción, o un proceso según un método actual establecido. Su finalidad es establecer medidas de rendimiento para la ejecución de una tarea, acción o proceso.

### **5.3 Estudio de movimientos**

El estudio de movimientos es un análisis minucioso de cada uno de los movimientos que realiza un operario en determinada tarea, acción o proceso en su lugar de trabajo. Conocido también como Therblig, establece 17 movimientos básicos y recopila las acciones más recurrentes de un trabajador dentro de sus actividades laborales.

### **5.4 Simulación discreta**

La simulación discreta define un modelo en un espacio de tiempo determinado. Ajusta la operación de un sistema y sus eventos discretos en dicho tiempo. La simulación discreta tiene un énfasis en los eventos que suceden durante la operación. Utiliza la teoría de colas.

## 5.5 Teoría de colas

Es una rama matemática que estudia los fenómenos y comportamientos en líneas de espera. Se definen cuando un elemento demanda cierto servicio y debe esperar por el servidor para ser procesado. Existen 3 aspectos para la distribución del tiempo entre llegadas.

## 5.6 Simio

Simio es un software de simulación discreta, continua, y/o basada en modelo de agentes. A base de objetos inteligentes, simio puede ser simular numerosos procesos de una forma realista y precisa en dos y tres dimensiones.

## 5.7 Análisis estadístico

Es una herramienta que es utilizada para examinar y comprender datos. Se compone de un conjunto de técnicas y métodos que permiten organizar, describir, analizar datos para la obtención de datos significativos. Entre sus capacidades puede identificar patrones y tendencias, evaluar significancia de resultados, tomar decisiones informadas, ahorro de tiempo y recursos y comunicación efectiva.

## 5.8 Lean Six Sigma

Es un método enfocado en equipos con el objetivo de mejorar el desempeño por medio de la eliminación de desechos y defectos. Combina los métodos de producción esbelta y Six sigma para asegura la calidad en la producción y procesos organizacionales. Su filosofía dictamina que todo elemento que no genere valor al consumidor final debe de considerarse desecho o desperdicio y debe ser eliminado. Las metodologías six sigma que se alinean son la metodología son 5S, Metodología Kaizen, Value stream mapping y las 5S

## 5.9 **OEE**

El OEE es el índice de productividad de operación. En resumen, identifica el porcentaje de efectividad del tiempo de manufactura que está siendo realmente efectiva o utilizada. Mide tres áreas de eficiencia. Partes buenas, desempeño y tiempo de paro. Un OEE del 100% determina que se está produciendo buenas partes en un periodo de tiempo acelerado sin paros.

## 5.10 **SMED**

SMED es un sistema que reduce el tiempo para completar cambios de formato en un equipo. La esencia del sistema SMED es poder hacer conversiones de formato en un equipo lo más rápido posible. El utilizar SMED tiene numerosos beneficios como la reducción de costos, lotes más reducidos, mejora ante cambios incrementales en la demanda, niveles de inventario más bajos, y un inicio de operación más fluido.

## 5.11 **Metodología 5S**

La metodología 5S es un método de 5 pasos que cuando se implementa crea un espacio de trabajo más organizado y productivo. Las 5s en ingles se dictaminan en Sort (Eliminar), Straighten (Organizar), Shine (Limpiar), Standardize (Estandarizar) y Sustain (Mantener).

## 5.12 **Valor presente neto (VPN)**

Es el valor de los flujos de efectivos proyectados descontados al presente. Se utiliza para la elaboración de presupuestos de capital y por analistas para evaluar la rentabilidad de las inversiones y proyectos propuestos.

## 5.13 **Rotación de activos**

Es una relación de actividad que mide el nivel de eficiencia con la que una empresa utiliza sus activos para generar ingresos.

## 6. Metodología

La metodología para realizar este trabajo es de esta manera teniendo como base las áreas de excelencia en procesos y producción y economía y finanzas.

La primera fase del proyecto consistió en el desarrollo de un mapeo que pueda esquematizar el proceso para detallar todo lo que ocurre en actualmente en la producción. Esta primera etapa se dividirá en dos subfases. La fase de observación preliminar y la fase de mapeo.

La fase observación preliminar consistirá simplemente en la obtención primaria de datos en la cual se prestará atención al proceso sin recolección de datos significativa. Solamente se tomarán tiempos y datos generales como la duración de cada proceso, duración de cada etapa y que pasos son los que el proceso tiene. En la fase de mapeo se estarán elaborando diagramas DOP para la graficar las actividades principales del proceso. Aquí en esta subfase se visualizará gráficamente el proceso. El proceso consta de dos áreas de producción, el área de formulación y el área de envasado, ambas áreas son de vital importancia y una depende de la otra.

Luego de realizar los diagramas DOP y haber realizado una observación preliminar ya obtenidos los datos más generales del proceso es donde se empezará a realizar un estudio de tiempos, velocidades y fallas en todas las secciones de las áreas de la línea de producción de suspensiones concentradas no herbicidas. En cada sección tanto del área de formulación, como del área de envasado se realizará un estudio de tiempos en cada paso que cada área tenga especialmente estudiando los tiempos que cada operario toma en realizar una acción u operación. Para el área de formulación se tomarán cinco muestras por cada tarea, esto es debido a que las poblaciones de los elementos de estudio no superan las 10 unidades por lo que es una muestra significativa válida para validar el desempeño de las tareas del proceso de formulación .

Para el área de envasado se asumirá que la población de los elementos a estudiar son una población infinita porque al ser una línea de producción es un proceso que constantemente genera elementos del mismo tipo. Se tomarán 40 muestras para determinar el promedio de tiempo de duración y la desviación estándar de las tareas. Esto se realizará para las operaciones repetitivas. Para operaciones que no se repiten o que su repetición es extraordinaria, solamente se medirá la duración de la tarea y si vuelve a repetirse la tarea se tomará nuevamente la medición para validar su exactitud. A partir de estas medidas se añadirán todas y se podrá obtener en total el tiempo

promedio de cada operación con su respectiva desviación estándar. Algunos datos solo ocurren una vez en el proceso Cabe destacar que esta fase solo consistirá en la observación de datos y la realización el mapeo del proceso. Una vez hecho esto, se empezará a determinar las primeras y más visibles oportunidades de mejora y con estos datos poder empezar la fase dos de análisis y simulación.

La fase dos de este proyecto consiste en el desarrollo de un modelo virtual que modele el proceso para identificar ineficiencias discretas. Se realizará un estudio de los datos obtenidos en la fase uno tanto en eficiencia y los costos que repercuten dentro de ella. A partir de los tiempos promedio obtenidos en la fase de observación se realizará un análisis estadístico descriptivo para poder estudiar los datos adquiridos. Estos datos se apoyarán de tablas y gráficas que muestren los comportamientos de la línea de producción. Herramientas como diagramas de Pareto, histogramas serán de gran ayuda para la visualización de data en el proceso.

Del previo estudio se podrá deducir la eficiencia de cada área de operación y determinar las principales oportunidades de mejora en cada área de la línea de producción. También en esta etapa se detallarán los costos de manufactura actual del proceso para poder determinar el capital de trabajo neto que se cuenta en el proceso actual. Se realizará un análisis financiero que logre determinar primeramente los costos generales de manufactura. También se determinarán los costos de los paros e ineficiencias detectadas en la fase de observación, determinar el costo total del proceso cuando su rendimiento es menor al rendimiento esperado y así detallar el costo actual.

Luego del análisis estadístico financiero con ayuda de software de simulación discreta Simio, y se formulará un modelo virtual que replique el proceso actual de la planta de agroquímicos. Esto con el objetivo de poder encontrar micro tiempos, fallos en el proceso, posibles comportamientos que entorpezcan el proceso sean como: Errores no visualizados, posibles errores de los operarios, y factores que nos visibles a primera vista o durante el tiempo que en la primera fase no se visualizaron a detalle. Una vez realizada la simulación de estos procesos, se detallarán los costos que los procesos tiene actualmente para el análisis financiero previamente detallado.

Una vez ya efectuado el estudio y análisis previo y haber determinado todas las oportunidades de mejora, se empezarán a determinar alternativas para poder cumplir con el objetivo principal del proyecto, optimizar la eficiencia de la línea de producción y poder mejorar los costos de producción. Esta es la tercera fase del trabajo la cual consiste en analizar las mejores

propuestas que logren realizar una mejora en la línea de producción. Se dividirán las alternativas en alternativas factibles, alternativas considerables, pero financieramente prudentes, y alternativas no factibles. Para la formulación de alternativas se implementarán las herramientas aprendidas durante el tiempo de estudio en la Universidad del Valle, así como herramientas utilizadas y adquiridas dentro del campo laboral.

Las herramientas por utilizar para la formulación de alternativas incluyen metodologías que ya han sido probadas en el campo laboral como, por ejemplo, pero no limitado a metodología 5S, SMED, Six Sigma, Poka Yoke, producción esbelta, Kaisen, MRP. También mediante un estudio de movimientos, se podrán implementar cambios para la forma en la que se mueven los operarios y hacer de sus micro movimientos más efectivos o eliminar ciertos movimientos o comportamientos que no añadan valor al proceso. También la evaluación de instalación o cambios en los componentes del proceso jugaran un papel importante en esta penúltima fase.

La última fase consistirá en validar todas las alternativas formuladas en la fase anterior. Para esto se volverá a utilizar el software de simulación y por lo menos se determinarán dos alternativas a tomar en cuenta para la clausura de este proyecto. Se determinará cuales de todas las alternativas han mejorado la eficiencia y cuanto la han mejorado. Luego para validar no solamente que sea una alternativa eficiente se comprobará que realmente tenga un beneficio económico y que no repercuta en los ya limitados costos de producción.

Se busca que la eficiencia de la planta mejore y que se logre reducir en un 3% los costos de manufactura. Las propuestas en las líneas de formulación y envasado se volverán a simular con las propuestas seleccionadas y se determinará que tanto cambiaron los costos de producción. Se realizará un análisis de valor presente neto para determinar la eficiencia esperada de los costos de las propuestas detalladas en la fase anterior y determinar si se logra cumplir con el objetivo de 3% una vez realizado se determinará la tasa interna de retorno que indicará la rentabilidad de la inversión a realizar.

También para dar fortaleza a la validez de las propuestas se realizará un análisis de sensibilidad para determinar que tanto fluctúan los costos ante variables como aumento de los costos de materia prima o demoras en el área de formulación y verificar su versatilidad ante eventos y variables que validen el desempeño de las nuevas propuestas

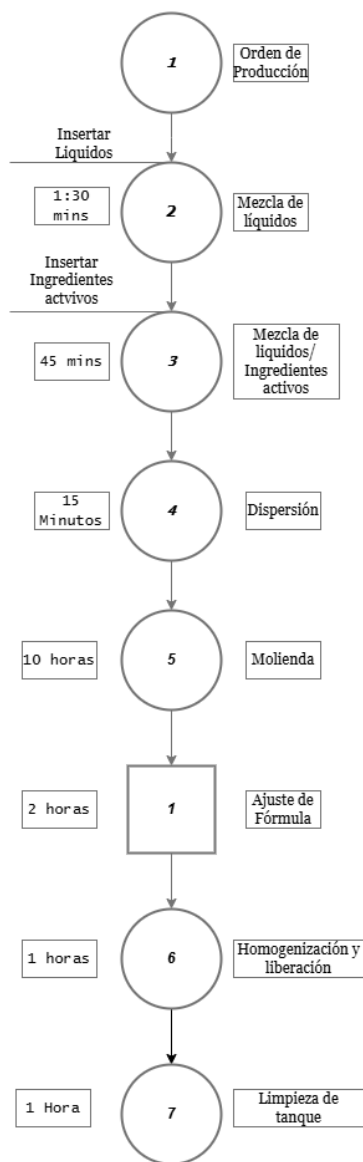


## 7. Resultados

Aquí se encontrarán todos los DOP establecidos de la línea a de producción en el área de formulación y también del área de envasado. Así mismo, se listan los gráficos y tablas de los datos obtenidos del área de formulación y área de envasado. Las tablas dictaminan datos numéricos y su representación visual en los gráficos.

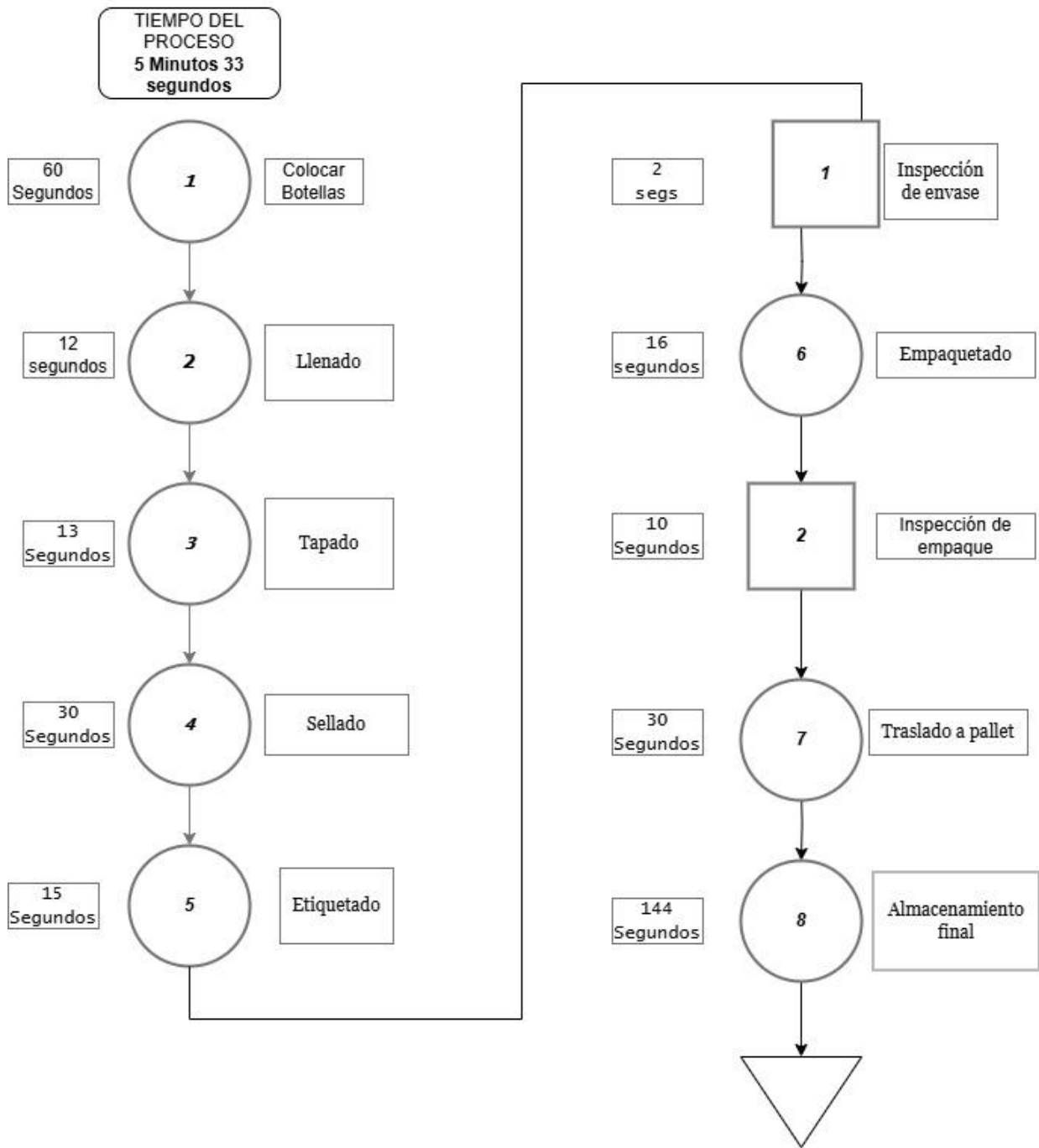
### 7.1 DOP

#### DOP GENERAL DE PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LÍQUIDOS NO HERBICIDAS



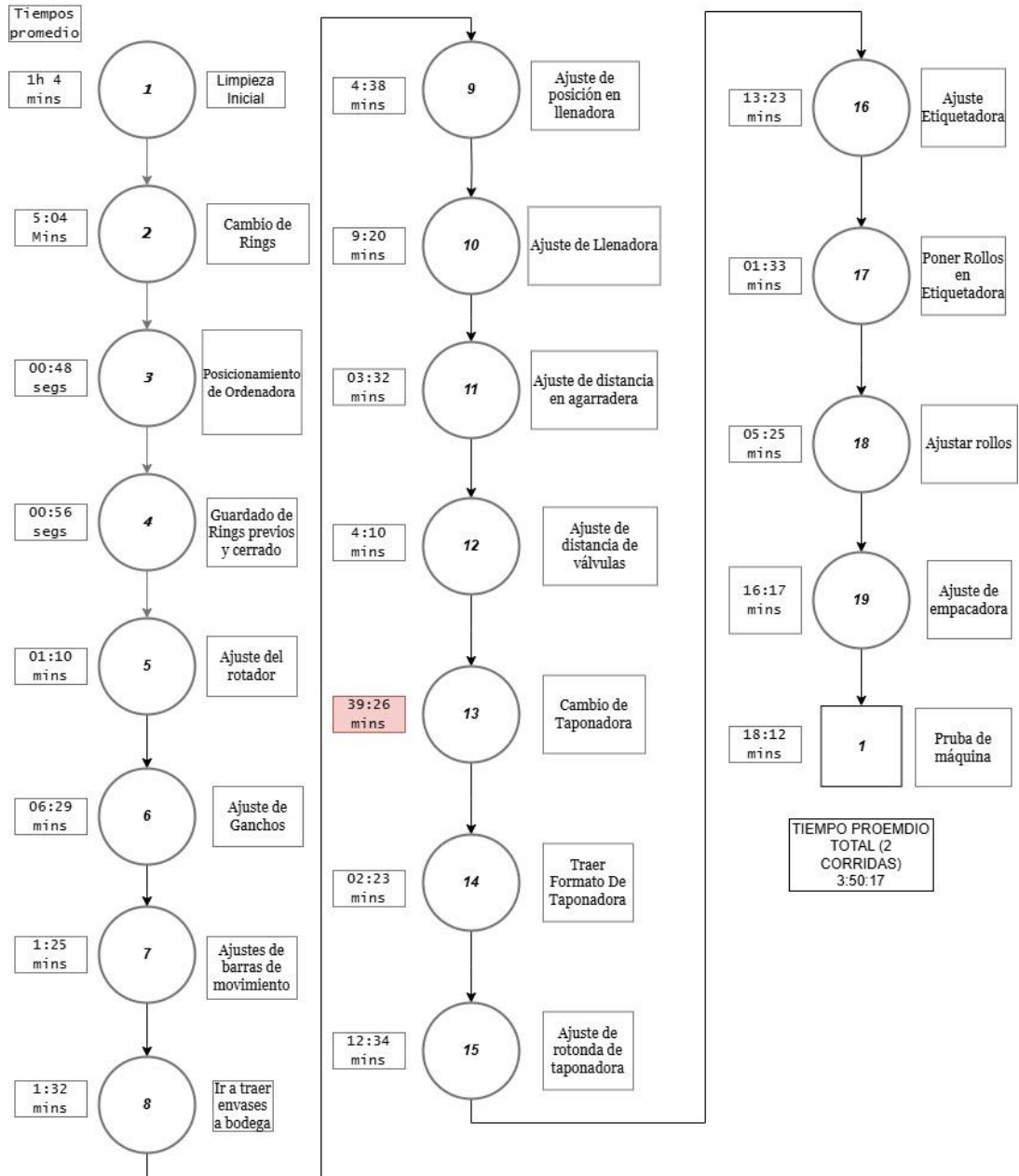
DOP1. Proceso de formulación de suspensiones concentradas

# DOP GENERAL DE PROCESO DE ENVASADO DE LÍQUIDOS NO HERBICIDAS

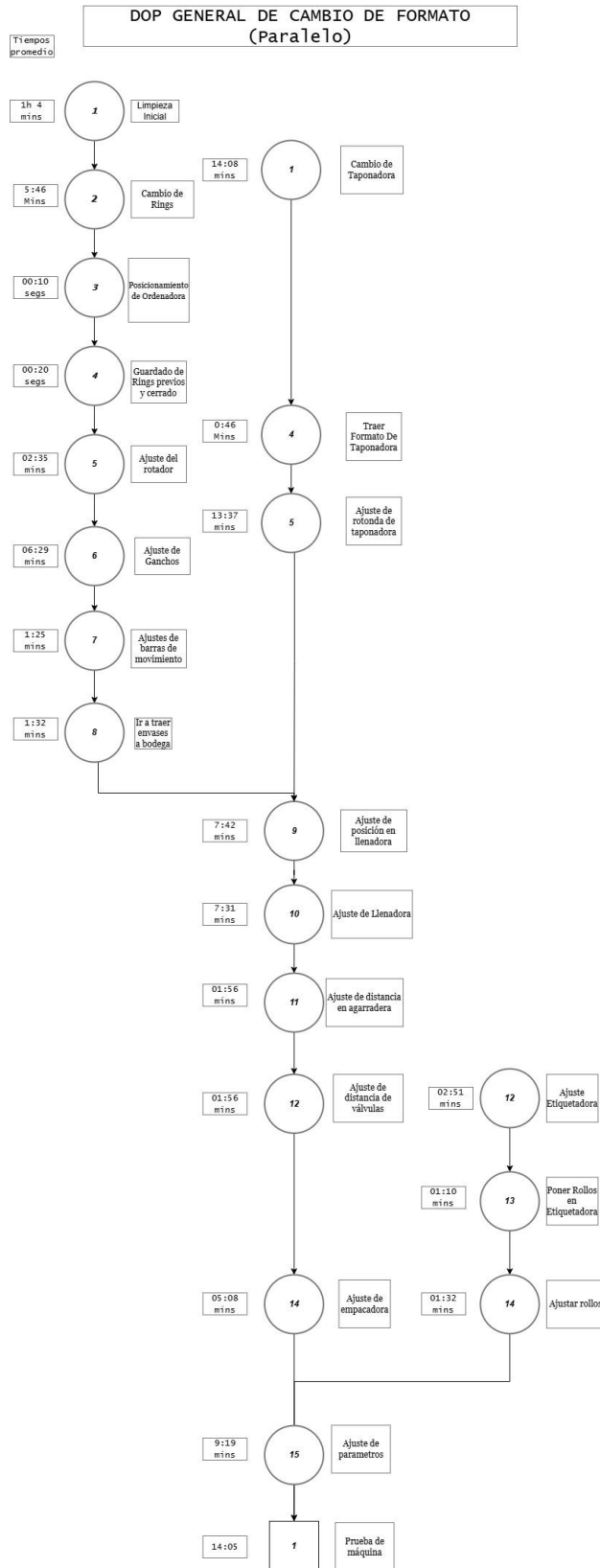


DOP 2: Proceso de envasado de líquidos no herbicidas

## DOP GENERAL DE CAMBIO DE FORMATO (Lineal)

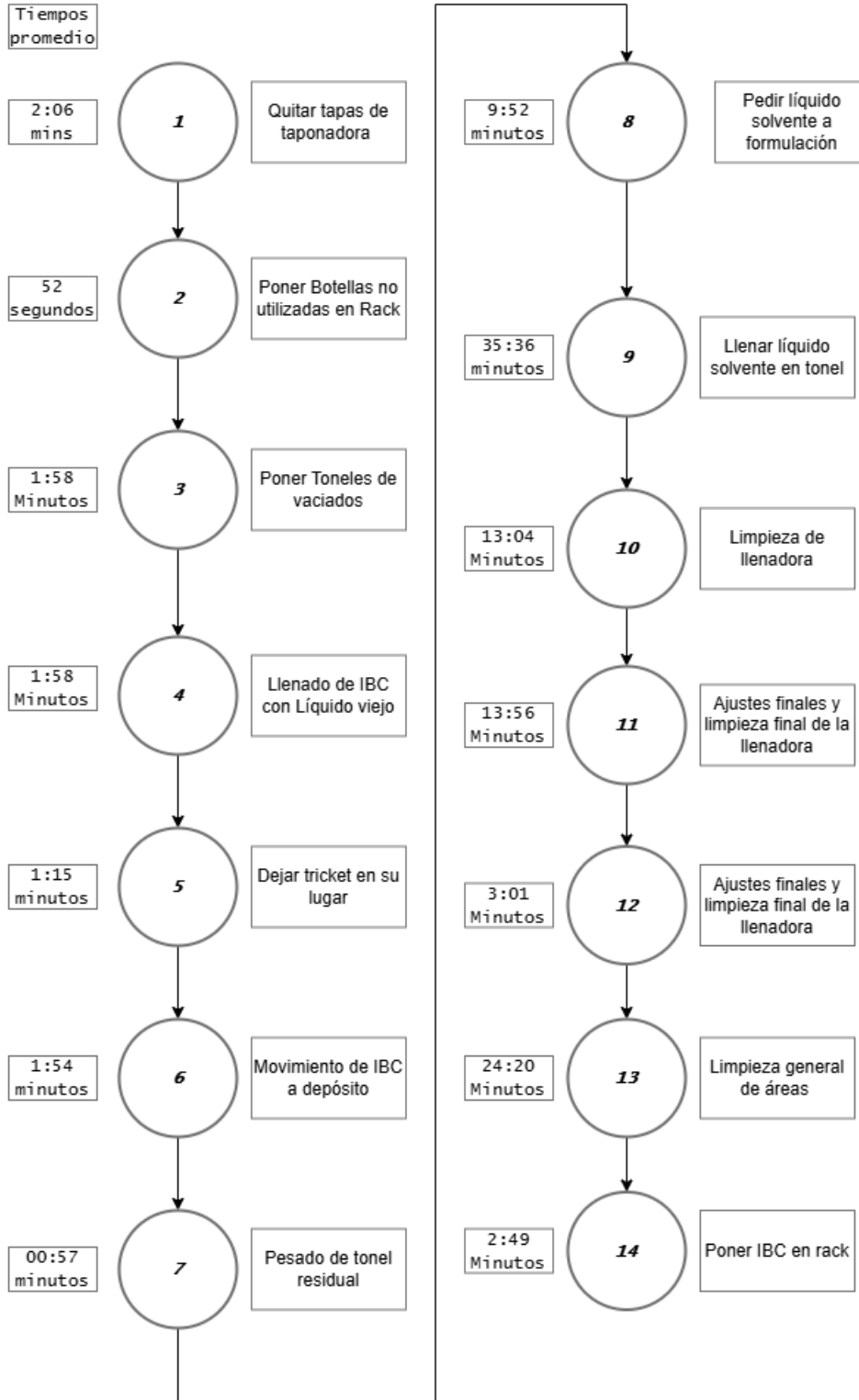


DOP 3: Cambio de formato de la línea A de forma lineal



DOP 4 Cambio de formato de la línea A de forma paralela

## DOP GENERAL DE LIMPIEZA



DOP 5: Limpieza de línea de envasado

## 7.2 Gráficos y tablas

En los siguientes tres elementos se puede observar los datos obtenidos en el área de formulación. En el primer gráfico se puede observar el tiempo transcurrido de las tareas hombre hasta el proceso automatizado y limpieza de los tanques contendedores.

### 7.2.1 Tiempos de formulación

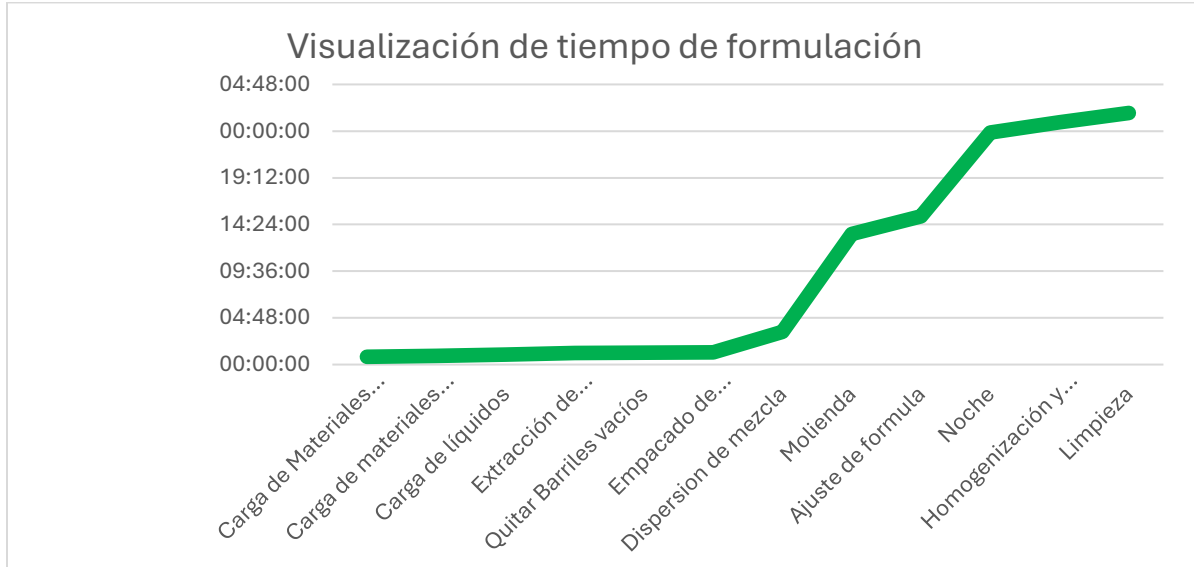


Gráfico 1 Visualización de tiempo de formulación

Tiempo promedio de tareas hombre en formulación		Tiempo de Duración Total
Carga de materiales en montacargas	00:09:37	00:48:06
Carga de materiales sólidos en carrito	00:00:56	00:04:42
Carga de líquidos	00:02:21	00:09:25
Extracción de propileno	00:01:51	00:09:15
Quitar barriles vacíos	00:00:32	00:02:38
Empacado de desecho	00:01:26	00:01:26
Llenado de ingredientes activos	01:23	10:26:00
<b>Total</b>		<b>01:15:32</b>

Tabla 1: Duración de tareas hombre en formulación

Duración de tiempo de tareas de formulación	
Carga de materiales en montacargas	00:48:06
Carga de materiales sólidos en carro	00:04:42
Carga de líquidos	00:09:25
Extracción de propileno	00:09:15
Quitar barriles vacíos	00:02:38
Agregar sólidos	10:26:00
Empacado de desecho	00:01:26
Dispersión de mezcla	02:05:34
Molienda	10:05:23
Ajuste de fórmula	01:48:00
Noche	08:36:00
Homogenización y liberación	01:04:23
Limpieza	00:57:00

Tabla 2 Duraciones de todas las tareas en formulación

En estos gráficos se pueden observar las comparaciones de tiempo de duración de las tareas automatizadas que ocurren dentro de la línea A en el área de envasado.

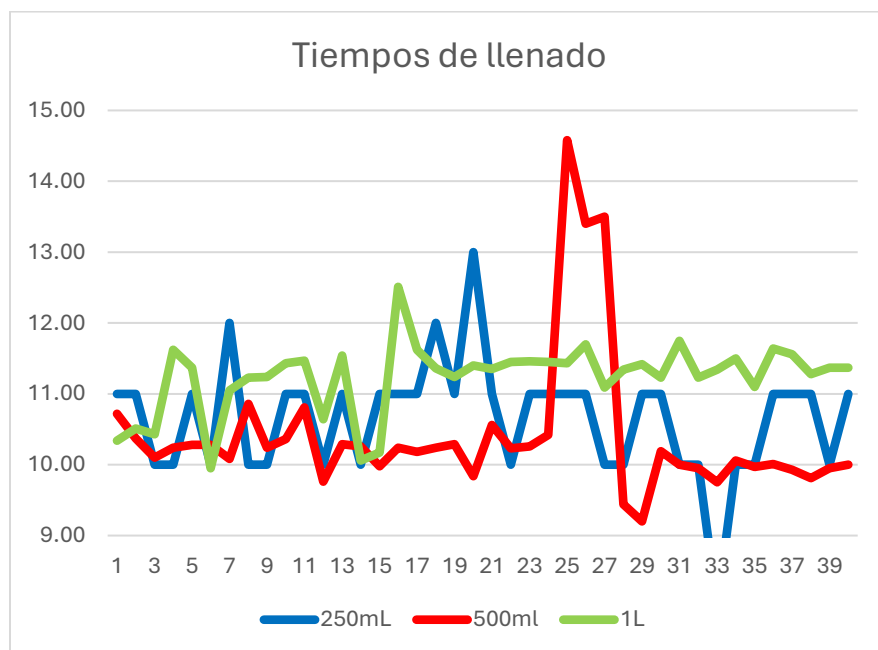


Gráfico 2: Comparación de tiempos de llenado de botellas

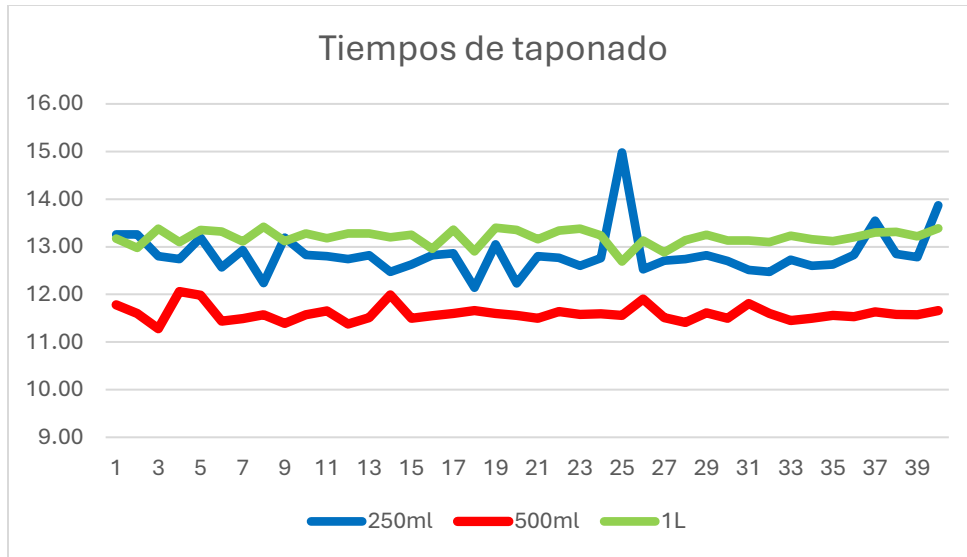


Gráfico 3: Comparación de tiempos de tapado de botellas

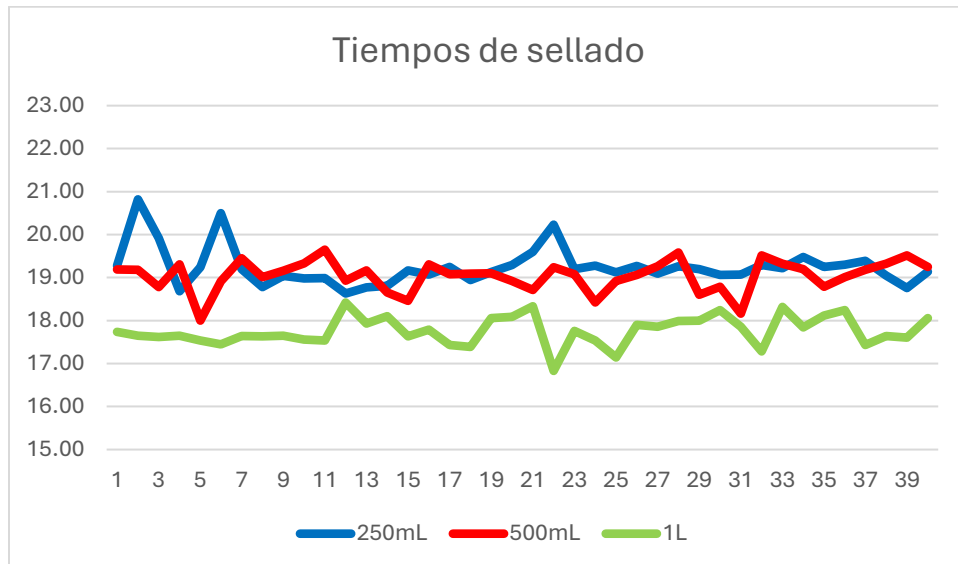


Gráfico 4: Comparación de tiempos de sellado de botellas

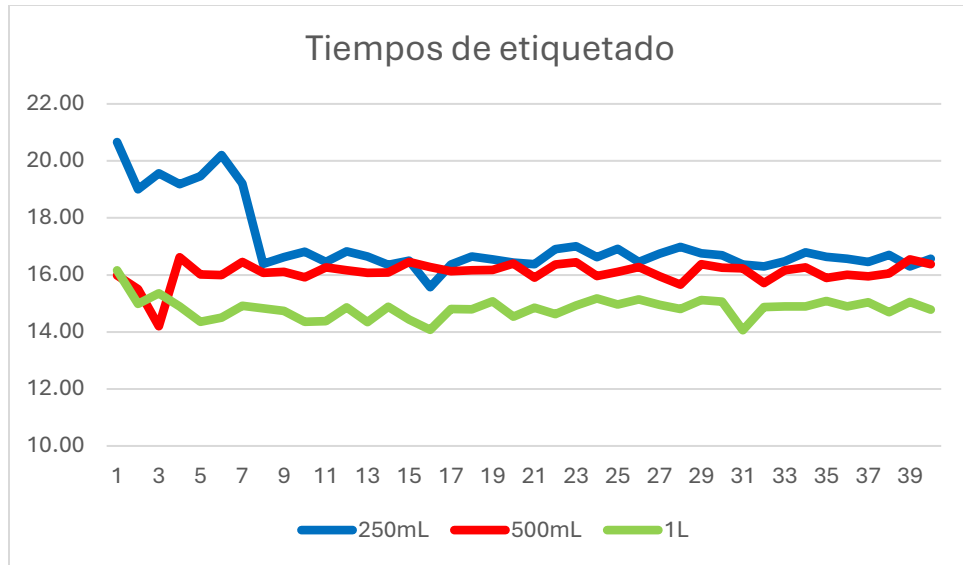
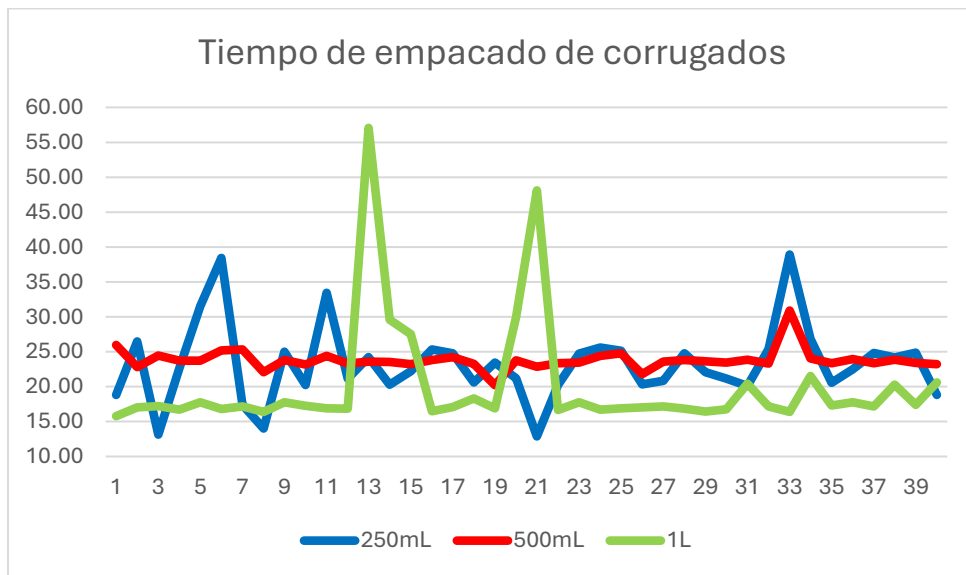


Gráfico 5: Comparación de tiempos de etiquetado de botellas



A partir de aquí se visualiza el desempeño de cada presentación en cada una de las fases de la línea de envasado. También por medio de diagramas de Pareto se puede establecer las tateas que más tiempo toman en promedio y en total. Se hace un énfasis en la presentación de litro

Gráfico 6 Comparación de tiempos de empacados de corrugados

1L					
Área	Llenadora	Taponadora	Selladora	Etiquetadora	Case Packer
PROMEDIO	11.02	12.83	17.30	14.83	20.28
Desviación estándar	3.074434	3.010504	4.053885	0.364074	9.383321

Tabla 3: Tiempos promedio de operaciones de 1000ml

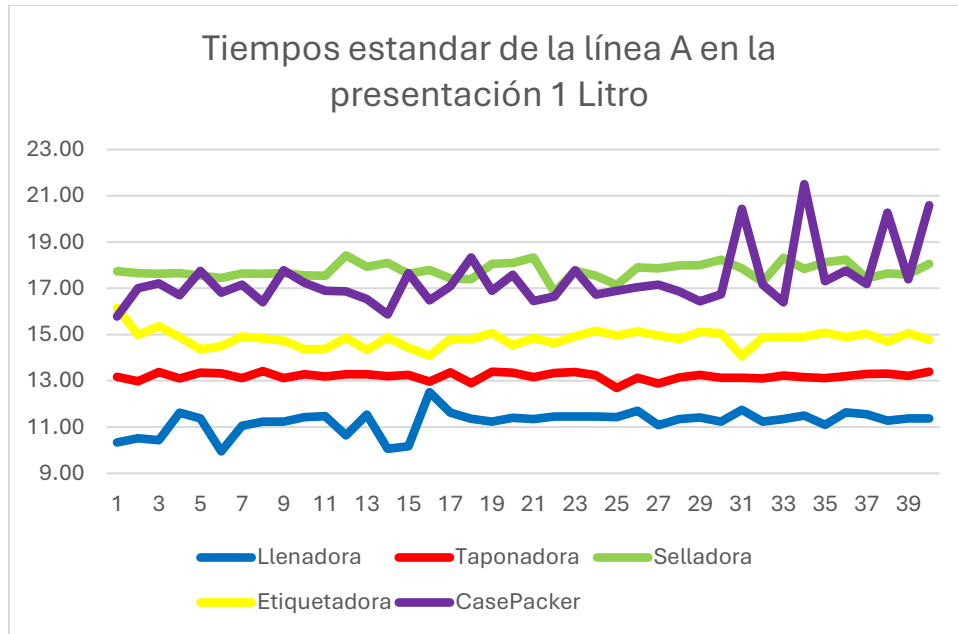


Gráfico 7: Tiempos promedio de la línea A presentación de 1Litro

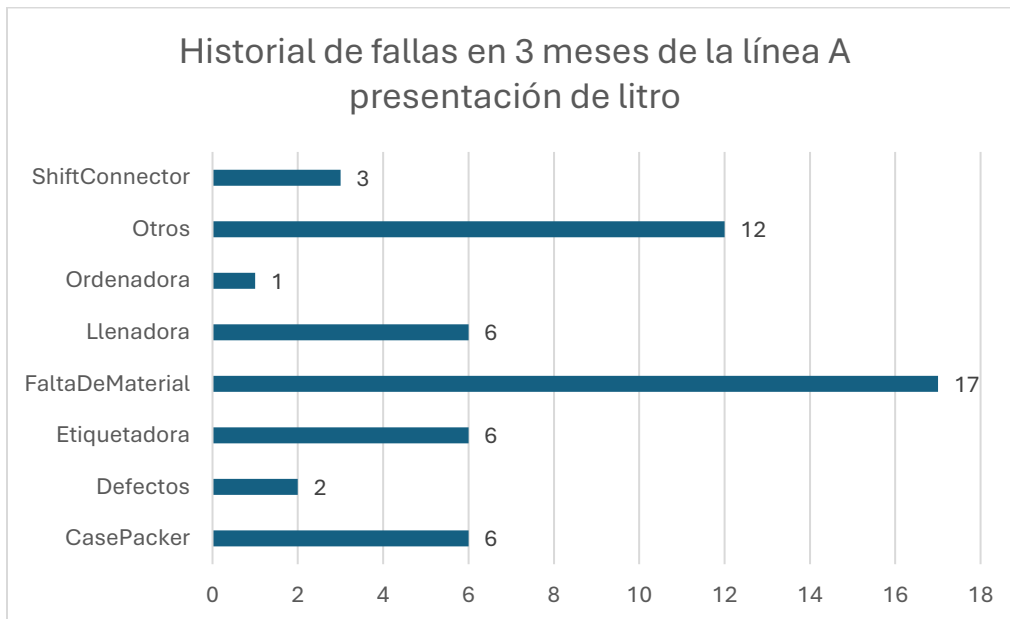


Gráfico 8 Defectos en 3 meses línea A presentación litro

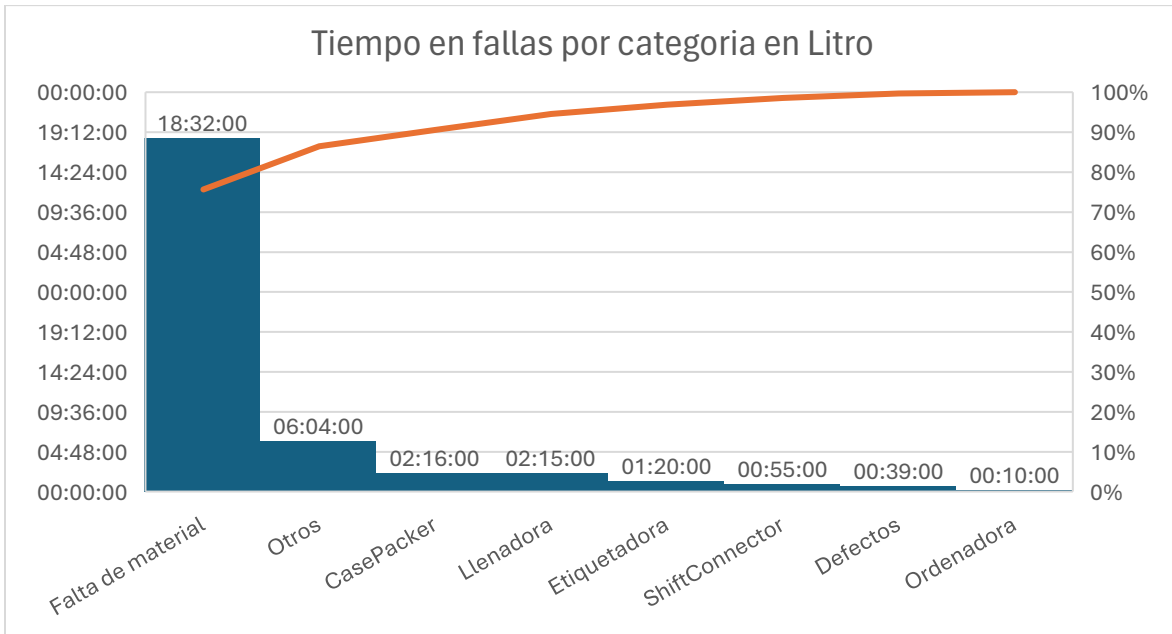


Gráfico 9 Tiempo total de fallas en la línea A Litro

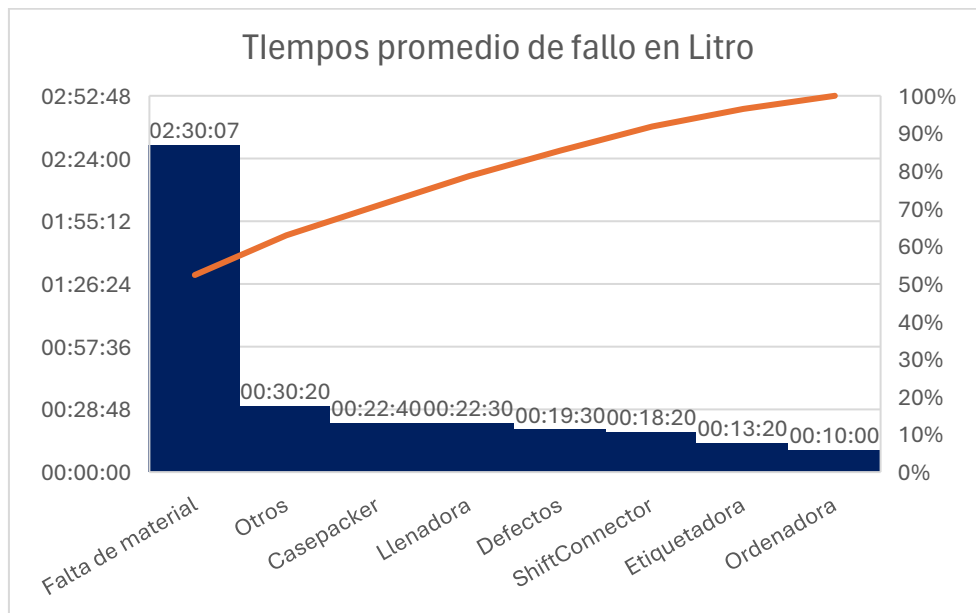


Gráfico 10 Tiempo promedio de litro en línea A

250mL					
Estado de la máquina	Llenadora	Taponadora	Selladora	Etiquetadora	Case Packer
PROMEDIO	11.20	12.48	18.64	16.23	22.41
Desviación estándar	4.899853	2.92529	4.349718	3.717087	6.468057

Tabla 4 Tiempos promedio de 250 ml

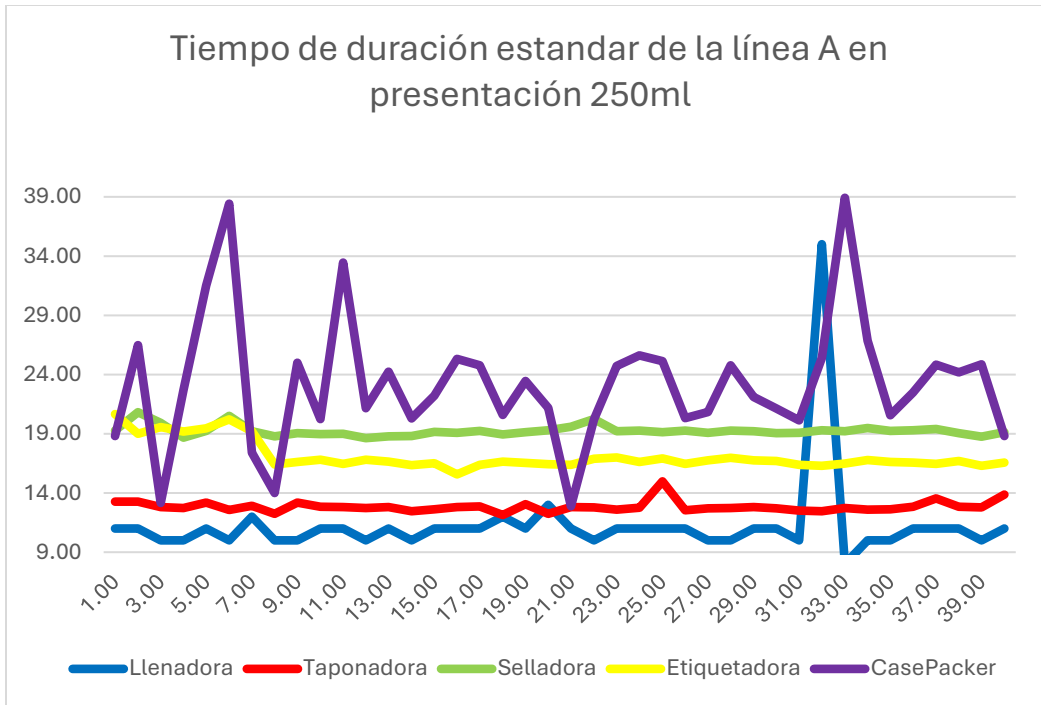


Gráfico 11: Tiempo de duración de las operaciones en 250ml

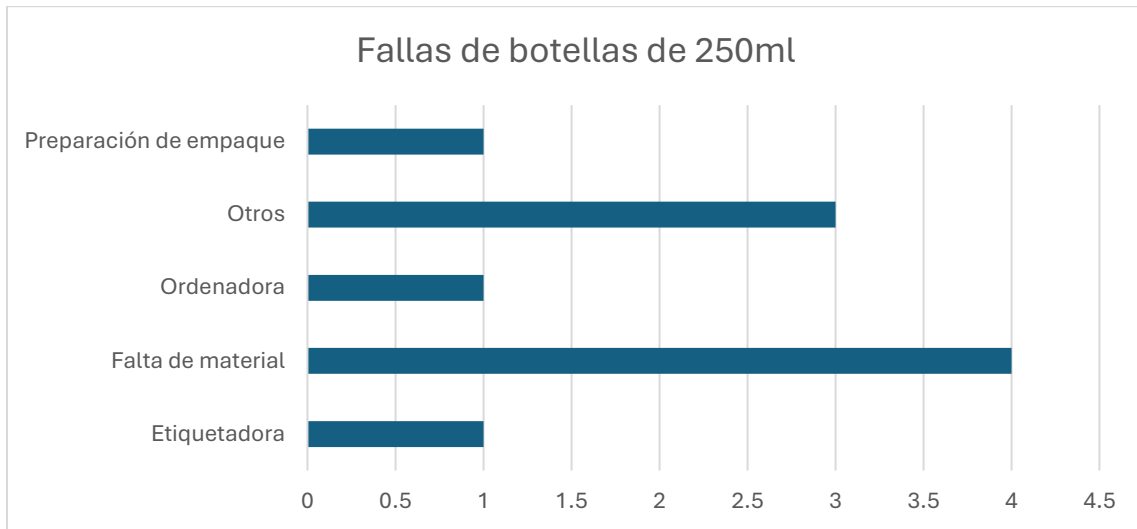


Gráfico 12 Fallas en presentación de 250ml

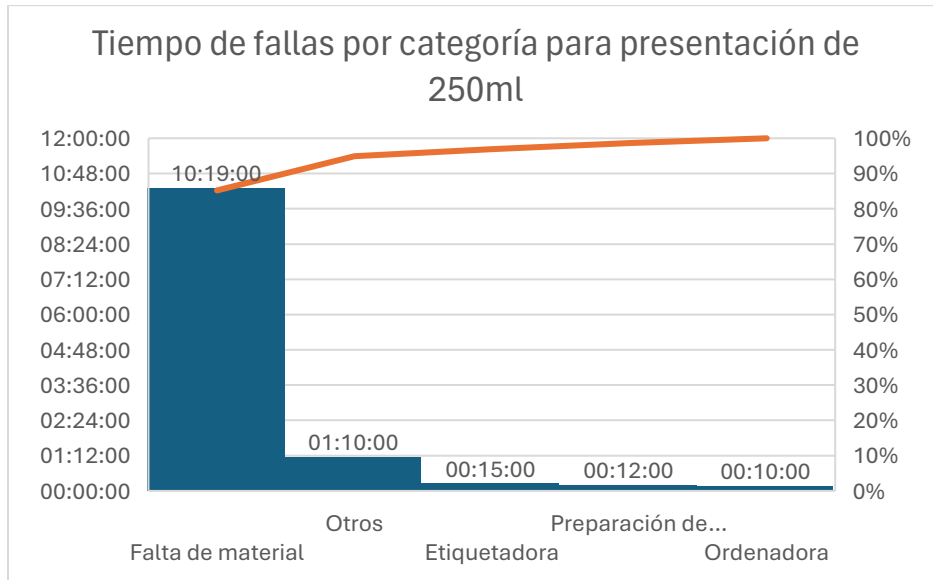


Gráfico 13 Tiempo total en fallas de 250ml

	500mL				
	Llenadora	Taponadora	Selladora	Etiquetadora	Case Packer
PROMEDIO	10.70	11.26	18.55	15.71	23.09
Desviación Estándar	3.931675	2.638686	4.341387	3.664141	5.46962

Tabla 5: Tiempos promedio de operaciones de 500ml

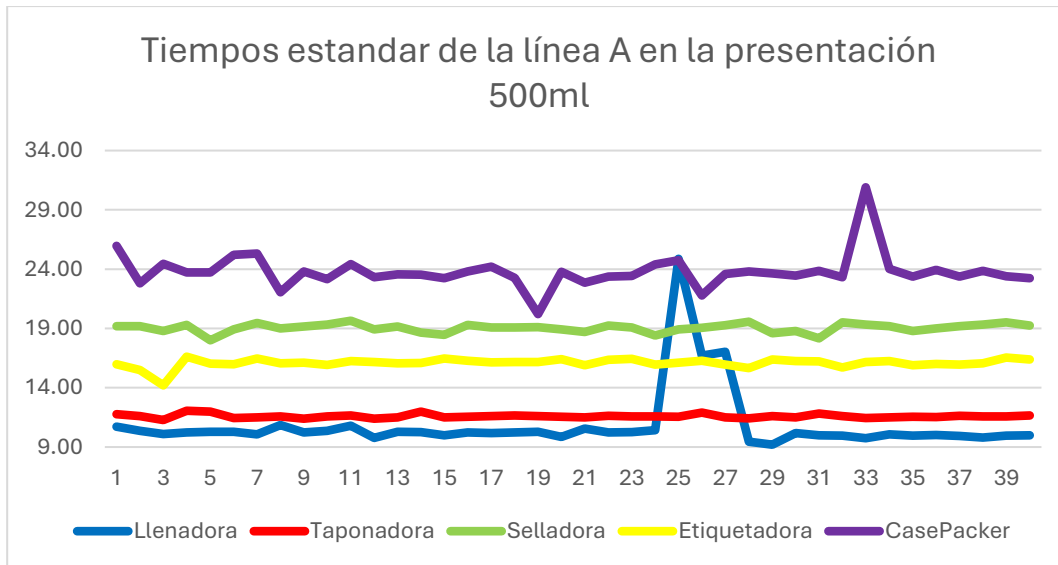


Gráfico 14: Tiempos promedio de la línea A de 500mL

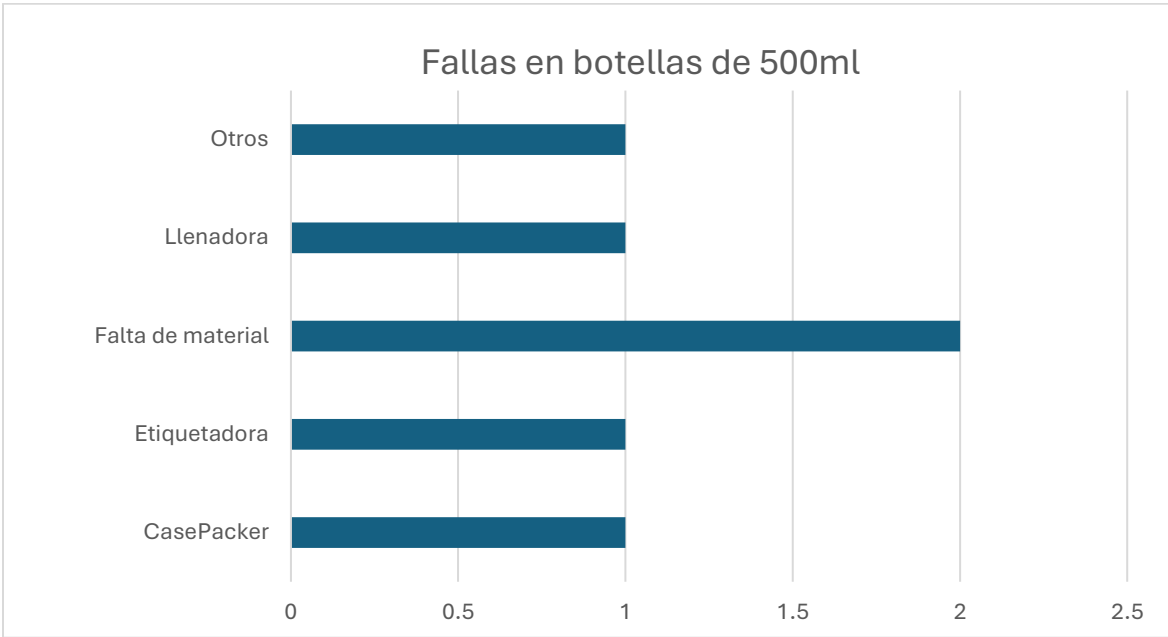


Gráfico 15: Fallas en presentación de 500ml

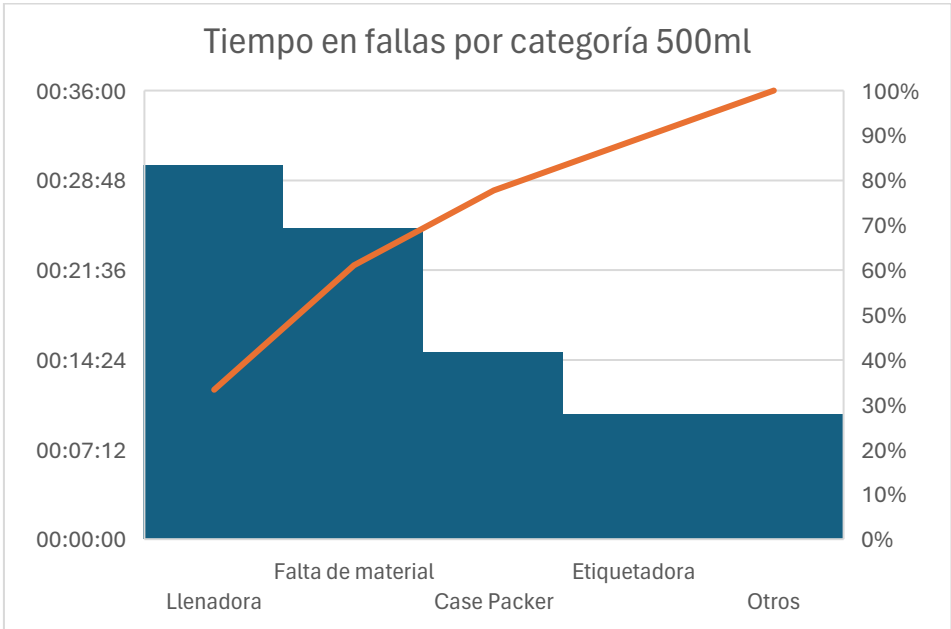


Gráfico 16 Tiempo total en fallas de 500ml

Aquí se presenta el diagrama de Pareto de todas las tareas a realizar en el cambio de formato de la línea A dentro del área de envasado. Abajo el diagrama de duración de tiempo de todas las tareas.

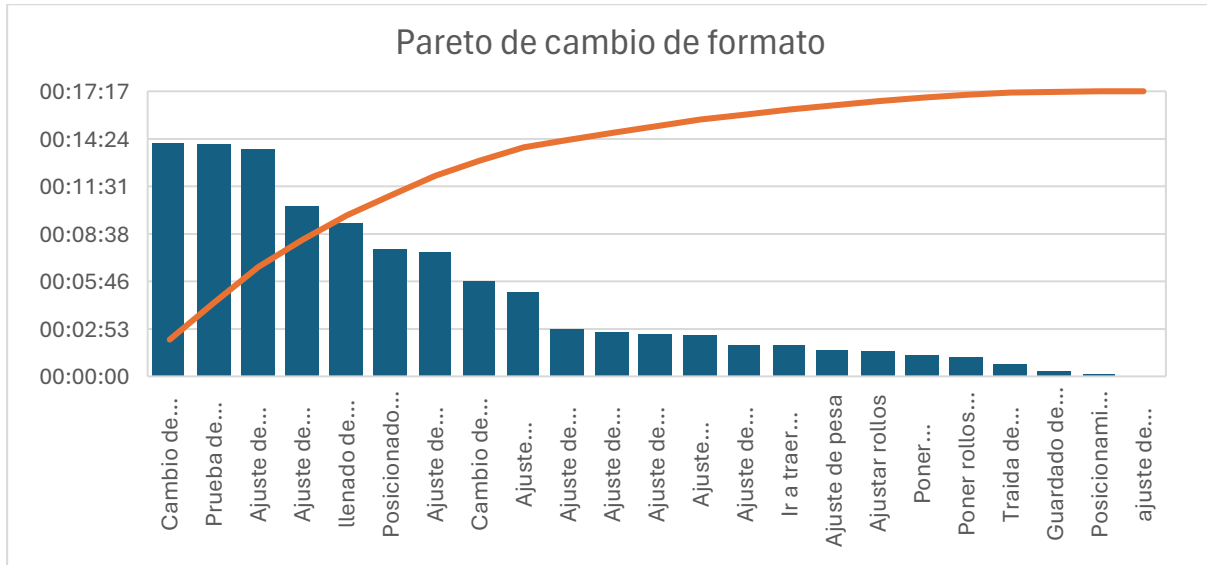
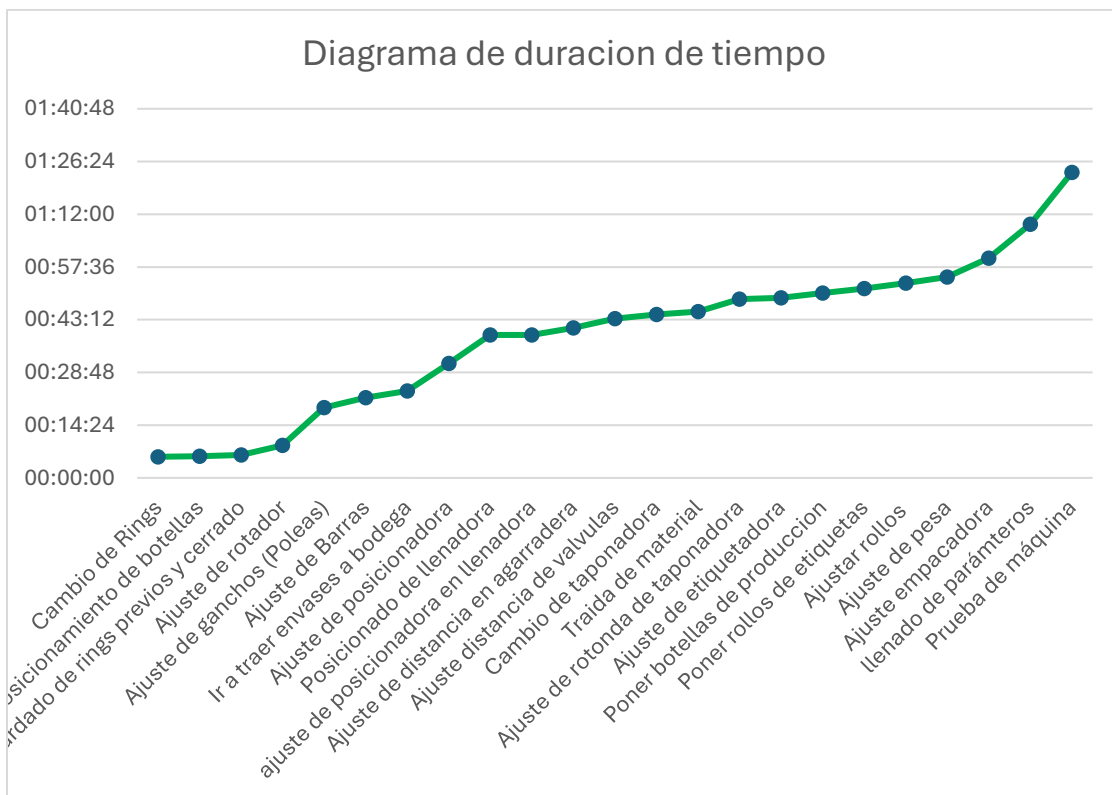


Gráfico 17: Pareto de cambio de formato lineal sin contar limpieza



Para poder desarrollar el modelo de simulación de la línea de envasado acá se presentan el desempeño de las corridas donde se puede estimar la eficiencia de la línea de producción en diferentes presentaciones.

Gráfico 18 Gráfico de esquematización del tiempo de duración de tareas en el cambio de formato.

<b>Outputs de la Línea A en Litro</b>	
Objeto	Unidades
Botella Litro	3680
Cajas	240
Pallets	4
<b>Eficiencia</b>	<b>28.80%</b>

Tabla 6 Outputs totales y eficiencia estimada en la presentación de litro

<b>Eficiencia de la Línea A en litro</b>	
Fase	Porcentaje de eficiencia
Llenadora	12.80%
Taponadora	12.87%
Etiquetadora	17.70%
Empacadora	14.83%
Coordinador de área	55.45%

Tabla 7 Eficiencia presentación litro

<b>Outputs de la Línea A en 250ml</b>	
Objeto	Unidades
Botella Litro	8640
Cajas	432
Pallets	4
<b>Eficiencia</b>	<b>61.71%</b>

Tabla 8 Outputs de la presentación de 250ml

<b>Eficiencia de la Línea A en 250ml</b>	
Fase	Porcentaje de eficiencia
Llenadora	37.72%
Taponadora	13.89%
Etiquetadora	50.24%
Empacadora	21.54%
Coordinador de área	56.95%

Tabla 9 Eficiencia en la presentación de 250ml

Outputs de la Línea A en 500ml	
Objeto	Unidades
Botella Litro	6480
Cajas	324
Pallets	3
<b>Eficiencia</b>	<b>49.84%</b>

Tabla 10 Eficiencia en la presentación de 500ml

PLAN DE RESPONSABILIDAD OPERATIVA (PRO)

Operational Responsibility Scheme (ORS)

PROCESO ENVASADO LÍNEA A

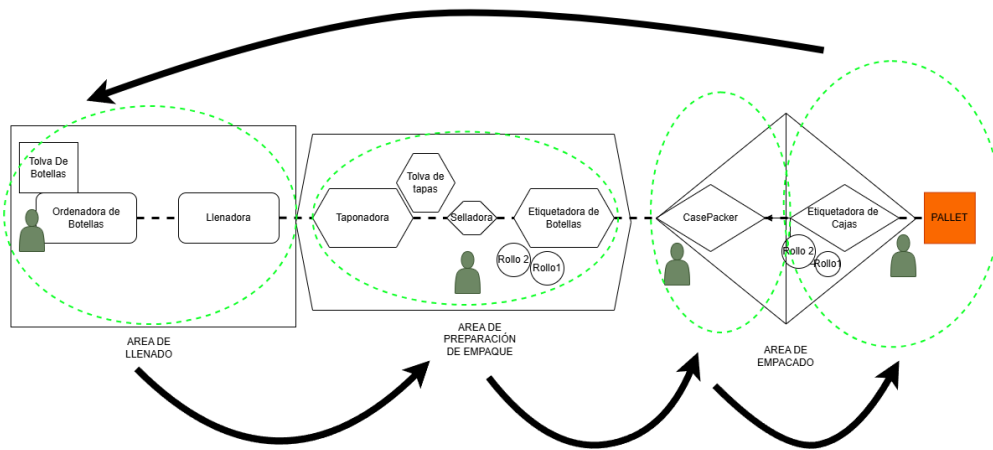


Gráfico 19: Esquema de visualización de plan de responsabilidad operativa.

Finalmente, dos tablas, una actual y una propuesta de los costos de producción con una venta inicial de 2,208,000 botellas incrementando su valor cada año 6 veces.

<b>Modelo Financiero Línea A Actual</b>					
<b>Año</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>
<b>Ventas</b>	<b>1000000</b>	<b>1037000</b>	<b>1075369</b>	<b>1115158</b>	<b>1156418</b>
<b>Ingresos</b>	<b>\$ 64,000,000.00</b>	<b>\$ 66,368,000.00</b>	<b>\$ 68,823,616.00</b>	<b>\$ 71,370,089.79</b>	<b>\$ 74,010,783.11</b>
<b>Costos de materia Prima</b>	<b>\$ 19,200,000.00</b>	<b>\$ 19,910,400.00</b>	<b>\$ 20,647,084.80</b>	<b>\$ 21,411,026.94</b>	<b>\$ 22,203,234.93</b>
<b>Costo de horas Hombre</b>	<b>\$ 101,760.00</b>	<b>\$ 101,760.00</b>	<b>\$ 101,760.00</b>	<b>\$ 101,760.00</b>	<b>\$ 101,760.00</b>
<b>Costos Horas maquina</b>	<b>\$ 1,152,000.00</b>	<b>\$ 1,152,000.00</b>	<b>\$ 1,152,000.00</b>	<b>\$ 1,152,000.00</b>	<b>\$ 1,152,000.00</b>
<b>Costo de operación por botella</b>	<b>\$ 20,453,760.00</b>	<b>\$ 21,164,160.00</b>	<b>\$ 21,900,844.80</b>	<b>\$ 22,664,786.94</b>	<b>\$ 23,456,994.93</b>
<b>Costo del cambio de formato</b>	<b>\$ 756,000.00</b>	<b>\$ 756,000.00</b>	<b>\$ 756,000.00</b>	<b>\$ 756,000.00</b>	<b>\$ 756,000.00</b>
<b>TOTAL Actual</b>	<b>\$ 42,790,240.00</b>	<b>\$ 44,447,840.00</b>	<b>\$ 46,166,771.20</b>	<b>\$ 47,949,302.85</b>	<b>\$ 49,797,788.18</b>

Tabla 11: Modelo financiero actual línea A proyectado a 5 años

En esta tabla se disminuyó el costo del cambio de formato de 3.5 horas a 1.5 horas.

<b>Modelo Financiero Línea A Propuesto</b>					
<b>Año</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>
<b>Ventas</b>	<b>1000000</b>	<b>1037000</b>	<b>1075369</b>	<b>1115158</b>	<b>1156418</b>
<b>Ingresos</b>	<b>\$ 64,000,000.00</b>	<b>\$ 66,368,000.00</b>	<b>\$ 68,823,616.00</b>	<b>\$ 71,370,089.79</b>	<b>\$ 74,010,783.11</b>
<b>Costos de materia Prima</b>	<b>\$ 19,200,000.00</b>	<b>\$ 19,910,400.00</b>	<b>\$ 20,647,084.80</b>	<b>\$ 21,411,026.94</b>	<b>\$ 22,203,234.93</b>
<b>Costo horas hombre</b>	<b>\$ 101,760.00</b>	<b>\$ 101,760.00</b>	<b>\$ 101,760.00</b>	<b>\$ 101,760.00</b>	<b>\$ 101,760.00</b>
<b>Costos Horas maquina</b>	<b>\$ 1,152,000.00</b>	<b>\$ 1,152,000.00</b>	<b>\$ 1,152,000.00</b>	<b>\$ 1,152,000.00</b>	<b>\$ 1,152,000.00</b>
<b>Costo de operación por botella</b>	<b>\$ 20,453,760.00</b>	<b>\$ 21,164,160.00</b>	<b>\$ 21,900,844.80</b>	<b>\$ 22,664,786.94</b>	<b>\$ 23,456,994.93</b>
<b>Costo del cambio de formato</b>	<b>\$ 324,000.00</b>	<b>\$ 324,000.00</b>	<b>\$ 324,000.00</b>	<b>\$ 324,000.00</b>	<b>\$ 324,000.00</b>
<b>TOTAL Actual</b>	<b>\$ 43,222,240.00</b>	<b>\$ 44,879,840.00</b>	<b>\$ 46,598,771.20</b>	<b>\$ 48,381,302.85</b>	<b>\$ 50,229,788.18</b>

Tabla 12 Modelo financiero propuesto

En esta tabla se puede observar los cambios realizados dentro de la línea de producción

Margen de costos	
Actual	\$ 113,420,546.67
Propuesto	\$ 109,964,546.67
Mejora	3.05%

Tabla 13: Disminución de costos

Aquí se pueden ver los costos totales de la producción aplicando las alternativas seleccionadas reduciendo los costos de manufactura en un 5%

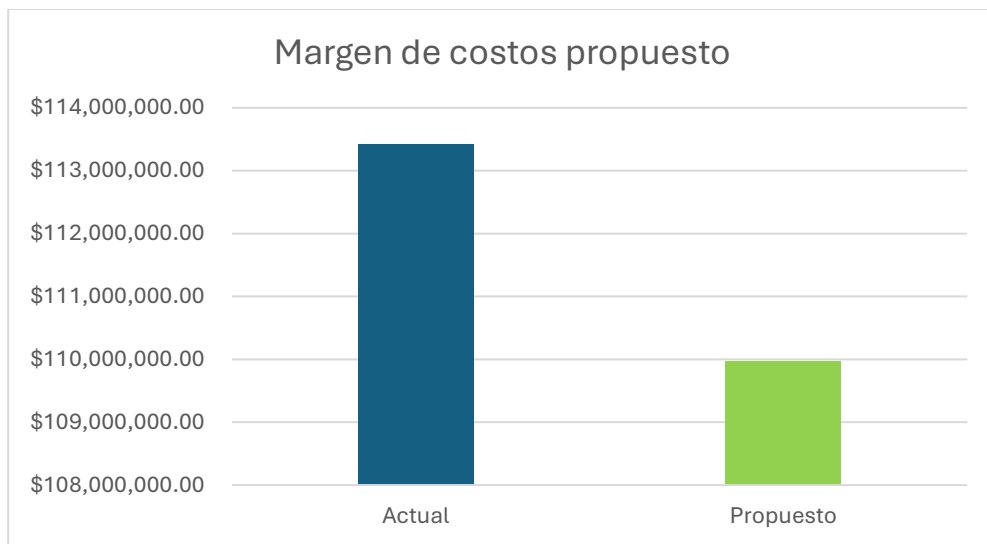


Gráfico 20: Comparación entre costos de manufactura

En este gráfico se aprecia la diferencia entre los costos de producción junto con el método actual encuadrado en azul. En la barra verde se aprecia un costo muchísimo menor dentro de la gráfica indicando menores costos en la producción de líquidos.

## **8. Análisis de resultados**

### **8.1 Proceso de formulación**

El proceso de formulación consta de una serie de pasos en los cuales se dividen en siete diferentes etapas. En el DOP I proceso de formulación empieza desde la concepción de la orden de producción la cual contiene la receta para poder realizar la mezcla para un producto final determinado por la orden de producción. Los operarios empiezan a recolectar los ingredientes necesarios para la realización del proceso. Estos ingredientes están clasificados como líquidos y sólidos. Los líquidos son los primeros en mezclarse. Estos a través de una bomba llevan hacia un depósito que dentro empieza a mezclar los líquidos hasta que esta quede uniforme. Luego se cierra el área de depósito de ingredientes y se empiezan a poner los sólidos e ingredientes activos. La masa resultante quedará mezclando por aproximadamente 120 minutos. Luego de esto el proceso de molienda degrada los ingredientes activos hasta dejarlos como una suspensión concentrada y este proceso dura 10 horas lo cuál es el cuello de botella en el área de formulación. Una vez realizada la molienda una muestra es tomada de los molinos y enviada al sector de control de calidad lo cual permite que el producto manufacturado sea almacenado en los tanques de almacenamiento.

### **8.2 Proceso de envasado**

El proceso de envasado consiste en el embotellamiento de los líquidos no herbicidas que ya han pasado el proceso de formulación y se encuentran almacenados en un contenedor. El proceso de envasado consiste en el llenado de botellas del producto, cerrar la botella con una tapa sellar la tapadera de la botella, etiquetarla, y empacar las botellas en un corrugado. Luego esos corrugados son movidos a un pallet hasta que el pallet quede lleno. Este proceso se puede observar en el DOP 2. En la planta de líquidos no herbicidas existen en total cuatro líneas de producción que se dedican a esta tarea de las cuales solamente 3 se encuentran en operación y la mayor parte de tiempo solamente 2 líneas de operación se usan debido a que la demanda no es tan grande.

La línea A es la que mayor capacidad de producción tiene. Se utiliza en todo el mes y tiene la capacidad de, producir 57600 botellas a una velocidad de 58 botellas por minuto en 15 horas. Esta es la línea de producción más crucial para la empresa ya que permite que volúmenes más grandes y es la línea de producción que cuenta con más automatización dentro de la planta. La línea B es la línea gemela de la línea A, pero no se encuentra en uso por que la máquina se encuentra en estado de reparación por lo cual se encuentra suspendida hasta nuevo aviso. La línea C es una línea semi automatizada de menor escala que la línea de producción A. La diferencia principal en esta línea es que la Línea A y B tienen un posicionador automático de botellas y una empacadora totalmente automática, la línea C en los procesos anteriormente mencionados tienen que realizarse el proceso de posicionamiento de botellas de forma manual y el empaque también es realizado por un operario.

Esta línea solamente se usa cuando la producción de la demanda lo requiera. La línea D es la línea de operación más pequeña y solamente se usa para ordenes menores de menos de 1000 unidades. Esta línea tampoco tiene una conexión directa con el área de formulación y su operación depende de producto terminado almacenado en un tanque móvil que a veces puede venir de otros países. Por esta razón se analizará únicamente la línea A de la planta de producción. La planta de producción en la línea A produce 4 tipos diferentes de presentación para líquidos no herbicidas. 100ml, 250ml, 500ml y 1 litro. Para poder hacer la producción de las cuatro presentaciones se debe de hacer un cambio de formato en toda la línea para poder

## **8.3 Interpretación de estudio de tiempos**

### **8.3.1 Formulación:**

A partir del estudio de tiempos realizado para el área de formulación se puede observar una reducida cantidad de tareas a realizar que son efectuadas durante las primeras horas de operación. Estas están delimitadas en la tabla 1F en la lista de tablas. Estas tareas son dedicadas a la elaboración de la mezcla y tienen una duración de 1 hora con 15 minutos. Luego empieza un proceso totalmente automatizado el cual tiene una duración de 21 horas por lo cual debe considerarse el tiempo de holgura que los operarios tienen durante este proceso una gran cantidad de tiempo ocioso que se podría dedicar a diversas actividades adicionales para aprovechar su estadía en la planta.

Dentro de los procesos destacados se pudo visualizar que estaban realizándose de una manera correcta y constante ya que la mayor parte de actividades tienen una duración de un minuto salvo la carga de materiales que presentó al momento de medir el desempeño una falla debido a la falta de material. Este ha sido un problema recurrente y se puede observar directamente en el análisis de la línea de envasado que va directamente conectada con la línea de formulación de líquidos. Se puede apreciar que en total, en los 3 meses pasados se detectó un total de 12 horas perdidas debido a la falta de material. Adicionalmente a esto el área de formulación no cuenta con una buena base histórica dentro de la plataforma. Dentro de los reportes se puede observar que no se cuenta con una base sólida explicando a detalle que paso dentro de un atraso dentro de la línea de producción. Se observan comentarios como “Falta de ingrediente” o “Fallo de sistema”. Esto no permite un buen análisis de los fallos dentro del proceso de producción y afecta directamente a la empresa ya que no permite tener un reflejo exacto de que es lo que pasa directamente en la planta. Los procesos dentro de la línea de producción están directamente afectados por la disponibilidad de materiales y los líquidos utilizados en la fórmula.

Dentro del análisis de formulación el proceso de premezcla en donde los ingredientes son preparadas y agregados para su mezcla dura alrededor de una hora con quince minutos en promedio si no existe algún atraso dentro de la producción. El proceso puede incrementarse si un ingrediente no se encuentra en materia prima pero debido a la falta de información histórica; la información de un ingrediente faltante o cualquier fallo al no ser reportada prevalece únicamente el día que ocurrió el fallo. Esto puede impedir una planificación efectiva en el área de formulación ya que información histórica podría desempeñar un papel importante en la toma de decisiones ya que podría indicarse si un proveedor constantemente tiene fallas en la entrega de un ingrediente activo. El cuello de botella principal es la molienda la cual tiene una duración promedio de 10 horas de realización y este trabajo al no concentrarse en la composición química de los productos no puede determinar una mejor forma de reducir el tiempo con respecto al líquido. Sin embargo, una buena data de información histórica podría determinar cuáles productos son los que menos tiempo tardan en mezclarse, triturarse y cuáles productos tienen que reprocesarse. Esto es una gran oportunidad para la mejora de del proceso de formulación ya que podría reducir el tiempo de investigación requerido y tener una idea clara de que mejores ingredientes se pueden utilizar. Con respecto a este proceso de premezcla la cual constituye la introducción de líquidos y sólidos su detalle se puede ver en las siguientes tablas y gráficos.

### **8.3.2 Envasado:**

La línea de envasado, afortunadamente cuenta con bastante data histórica ya que la mayoría de los operarios están capacitados para reportar cualquier falla dentro de la plataforma debido a que existe una buena documentación de todo lo que pasa dentro de la línea de producción. La Línea A en los últimos 3

meses tiene registros de cuatro presentaciones, 1 litro, 250ml y 500ml . En estos 3 meses la presentación de litro obtuvo la mayor cantidad de lotes en producción siendo esta la de mayor volumen en toda la planta.

En la presentación de litro se puede observar en el Gráfico 8 que los errores más comunes en esta presentación fueron fallos que no están directamente conectados a la producción. Esto es 17 casos de falta de material lo cual tuvo un total de 14 horas desperdiciadas y un 32.07% de las fallas en esta presentación. También la categoría “otros” la cual incluye paradas no programadas no categorizables como lo es entrega de insumos a los trabajadores o capacitaciones. Estas representaron 22.64% de fallas operativas. Directamente de la línea de producción la etiquetadora, la llenadora y la empacadora denominada como “CasePacker” son las áreas dentro de la línea A que más fallas presentan dentro de la línea de producción siendo la empacadora la que más tiempo se tarda en resolver. La empacadora tiene un tiempo de resolución promedio de 22:40 minutos y le sigue la llenadora con 22:30 minutos como se presenta en el Gráfico 10. Esto podría argumentar que existe fallas con respecto al empaque al momento de empacarlo y fallas con el líquido al momento de llenar los envases.

En la presentación de 250ml se observan tiempos bastante similares a la del litro con una diferencia de 2 segundos. Según los datos adquiridos en la tabla en la presentación de 250ml, los procesos que está presentación tiene son bastante estables manteniendo una desviación estándar baja especialmente en el taponado y el etiquetado de la presentación. El resto de procesos presenta fallas siendo la case packer la que más variación en el tiempo de proceso tuvo. Sin embargo, a pesar de la variación no presenta fallos e el proceso reportados ya que la botella de 250ml es una presentación bastante estable y en 3 meses solo tuvo 10 eventos de falla operativa lo cual confirma la afirmación. La variación en la empacadora se da debido a ciertos paros no reportados que duran generalmente menos de un minuto. Durante las observaciones se logró determinar que estos micro paros alteran el ritmo de la etiquetadora, pero luego de dos minutos esta vuelve a funcionar de forma ordinaria. Esto también se puede observar en los picos en la Gráfica 2E donde se pueden ver los picos de la empacadora. La llenadora también se puede apreciar un pico pero esta fue por un fallo durante la medición que hizo que se atrazara el tiempo estándar de la medición

En la presentación de 500ml, que sus datos se se puede apreciar pequeñas variaciones entre las fases del procesamiento de esta presentación, pero los tiempos son similares a sus presentaciones hermanas. Existe más variación entre los procesos de esta presentación, pero estas pueden deberse a micro fallos dentro de la operación que representan una falla bastante considerable en la operación. Esta presentación es bastante noble también ya que solo representó 6 fallas dentro de 3 meses de producción lo cual indica que es una presentación bastante dócil. Sin embargo la falta de material indica que sigue siendo un problema recurrente dentro de la producción.

Los cambios de formato de la línea de producción son cruciales para poder abastecer la línea de las diferentes y estos han sido gran parte del ralentí de la línea de envasado. Un cambio de formato dura en promedio dos horas y media y previo a este proceso se necesita de realizar una limpieza la cual dura una hora en promedio. El cambio de formato principalmente presenta problemas dentro de la coordinación de los operarios para poder hacer el cambio en cada una de las áreas de la línea de envasado, por ejemplo, algunos operarios de área como outsourcing son rotados entre las diferentes áreas de la planta de manufactura este periodo no supera las 6 semanas por lo que la capacitación de las áreas se va perdiendo y la curva de aprendizaje queda comprometida. Esto ocasiona que constantemente los encargados de área tengan que estar capacitando operarios para la realización del cambio de formato.

A veces los operarios cuando ya tienen conocimiento de la fase pueden operarla con mejor exactitud. En las observaciones realizadas se pudo determinar que el cambio de formato puede realizarse de dos formas. De forma lineal y de forma paralela. De forma lineal un operario o más se dedican a ir

linealmente cambiando el formato de cada fase de la línea de envasado. Esto ocurre normalmente cuando los operarios no tienen conocimiento de cada área de la línea de envasado. Cuando los operarios tienen más experiencia con las máquinas es normal ver que el cambio de formato se haga de forma paralela y esto quiere decir que se forman grupos para hacer algún área dentro del proceso de envasado. Las diferencias entre el proceso de cambio de formato lineal y paralelo se pueden encontrar en los DOP 3 y 4 respectivamente. El cambio de formato lineal medido incluso tuvo una duración añadiendo la limpieza de casi cuatro horas lo que añadiendo a las fallas del proceso de producción representa una disminución severa a la eficiencia de la línea. De forma paralela el tiempo disminuye casi a la mitad por lo cual indica una forma más eficiente de realizar el cambio de formato. Cabe destacar que el cambio paralelo de formato no está estandarizado y no tiene un orden específico, sino que se realiza el cambio con respecto a la disponibilidad de los operarios y esto es otra oportunidad de mejora.

Finalmente se logró visualizar que, durante los fallos, es el coordinador de área quien se dedica a arreglar cualquier fallo y rara vez los operarios restantes se dedican al arreglo de la fase fallida en el proceso de envasado. Esto resulta en que la gran mayoría de los operarios encuentren un tiempo ocioso en el cual se ponen a platicar o irse incluso del área de producción. Esto puede afectar en el índice de eficiencia.

## **8.4 Simulación del proceso actual**

### **8.4.1 Proceso de envasado**

A partir del análisis anterior se demostró que los tiempos entre las presentaciones no son altamente significativos en diferencia al tiempo inclusive de ser diferentes presentaciones. Esto quiere decir que la realización de un modelo de simulación puede ser el mismo para casi todas las presentaciones solamente cambiando el tiempo de cada una de las fases y así obtener los resultados y determinar la eficiencia de la línea. Para poder realizar la simulación del proceso de envasado se utilizó Simio.

Estas fueron las consideraciones para el modelo.

- Se realizó una simulación con un turno de 8 horas y
- El objetivo de la línea A de producción es de 10000 botellas de litro en un turno
- El tiempo de procesamiento de cada servidor es el tiempo promedio medido directamente y detallado en la en el análisis del proceso.
- Las bandas transportadoras van a 25 metros por minuto o 1.5km/h que es su velocidad real.
- La línea como tal cuando se satura va 7.1 metros por minuto en promedio
- Se toma en cuenta los periodos programados en donde la línea no opera estos son
  - o Reunión inicial matutina de 15 minutos
  - o Refacción de 15 minutos
  - o Almuerzo de 30 minutos
- Los fallos de la máquina son completamente aleatorios se quiere visualizar que tanto afecta cada una de las fallas en la eficiencia de cada fase
- El coordinador de área repara todas las fallas presentadas en la línea
- No llega ninguna
- Se asume que la producción de la línea es del máximo objetivo
  - o 10000 unidades para 1 litro
  - o 14000 unidades para 250ml
  - o 13000 unidades para 500 ml

#### **8. 4.2 Resultados de la simulación**

Como se puede observar en las tablas 6 a 9 la línea en ciertas presentaciones es más eficiente que otras siendo el litro la presentación menos eficiente en toda la línea de producción. Esto tomando en cuenta un horario completamente ordinario. El cambio de formato que se realiza entre o previo a la producción puede hacer más ineficiente todavía la producción en las tres presentaciones. El simulador ya toma en cuenta las más probables fallas en cada presentación por el tiempo tan extenso que toma hacer un cambio de formato por lo que es crucial poder realizar el cambio de formato de una manera eficaz.

## **8.5 Finanzas de la línea de producción**

Se estima, según fuentes primarias dentro de la empresa que cada botella tiene un 30% de margen en los costos de producción en términos de materia prima. Esto incluye, líquido formulado dentro del área de formulación, tiempo que pasan dentro del área de envasado y tiempos de reparación. La hora máquina es de \$300, los costos de horas hombre son \$90 dólares la hora. Todos los costos son convertidos a anuales para establecer un modelo financiero proyectado a 5 años. Según el artículo de MarketSandMarkets se pronostica que el mercado de los agroquímicos crecerá un total de un 10% para el año 2035 con un gradiente de incremento anual promedio de un 3.7%. En el modelo financiero especificado en la tabla 11 se estima una venta inicial de un millón de unidades y cada año estas crecerán un 3.7% para concordar con el pronóstico establecido. Luego de esto se calcularán los costos anteriormente mencionados y finalmente se establecerá una nueva propuesto con los costos reducidos.

## **8.6 Evaluación de alternativas**

De la información del análisis del proceso se logró observar datos que validan la necesidad de cambio especialmente en el área de envasado que es donde se deben de realizar cambios para mejorar su desempeño y garantizar una eficiencia mayor. De los principales problemas encontrados en la fase de análisis), el principal ralenti del proceso es el proceso de envasado el cual tiene cuellos de botella considerables tanto en el proceso de producción como en el cambio de formato. Resumiendo, todos los problemas detallados en la fase anterior se han determinado las siguientes alternativas para la búsqueda de nuevas formas de optimización en ambas fases del proceso.

### **8. 6.1 Apoyo de equipo dinámico**

El concepto de esta alternativa deriva de la gran cantidad de tiempo ocioso que los trabajadores experimentan dentro del proceso de formulación durante etapas donde no es necesario el involucramiento humano. La fase de molienda durante la formulación de la suspensión concentrada llega a durar 10 horas en promedio. La mayor parte de este tiempo es utilizado solamente para monitoreo. Parte de este periodo de tiempo podría utilizarse para poder apoyar otras áreas que requieran personal para hacer más rápido otros procesos como lo es el cambio de formato de la línea A o B del área de envasado que como se mencionó en el análisis. Una sola persona se dedicaría a el apoyo en el área de envasado en tareas como cambio de formato y limpieza. Esto aumentaría de cuatro a cinco en personal disponible para la efectuación de tareas en el cambio de formato y limpieza lo cual podría el tiempo de realización.

### **8. 6.2 Cambio de formato completamente paralelo.**

Según los DOP del cambio de formato se puede observar que el proceso se realiza actualmente de una forma lineal o semi paralela llegando a durar 2 a 3 horas sin tomar en cuenta la limpieza previa realizada. Al tener un mínimo de cuatro operarios y cinco áreas mayores que se realizan en el cambio de formato las cuales serían, posicionador, llenadora, taponadora, etiquetadoras y case packer las cuales la llenadora y las taponadoras toman la mayor parte del tiempo para ser ajustadas al nuevo formato. Aplicando metodología de lean manufacturing. Cada una de estas áreas puede ser efectuada por una persona y por ende se puede iniciar en paralelo cada una de las actividades del cambio de formato.

Podría iniciarse la limpieza y terminar con el cambio de formato.

Este cambio de formato consiste en que se dividan en dos equipos de dos operarios cada uno. El primer equipo se dedicará a realizar los cambios en la ordenadora y luego se saltarán la llenadora pues se irán directamente a la taponadora. El otro equipo se dedicará a ajustar la llenadora y luego se irán a la etiquetadora, también acá se incluye en menor escala la selladora que se encuentra al lado de la etiquetadora. Los ajustes iniciales deberán hacerse en un periodo no máximo de 20 minutos; es decir, cada equipo tiene 40 minutos para establecer el cambio de formato de las cuatro primeras fases iniciales. Por último, los cuatro operarios se dedicarán a hacer el cambio de formato de la empacadora nuevamente con un objetivo de 20 minutos para que así el cambio de formato tenga una duración de 60 minutos en total. Luego se pueden utilizar unos 15 minutos más para verificar que la línea opere con calidad.

- **Plan de capacitación de operarios**

El plan de responsabilidad operacional es un cambio en la forma de gestión en la máquina durante su operación regular. Cuatro operarios se encargan actualmente de cuatro áreas de gestión de la maquinaria de envasado. Sin embargo, la responsabilidad de arreglo de fallos en general queda solamente a una persona lo cual disminuye la eficiencia y continuidad del proceso. Cada operario debe de tener la capacidad de poder arreglar fallas que se presenten en un periodo menor a tres minutos para poder reparar la máquina y verificar el buen funcionamiento. Esta propuesta toma las cuatro áreas de la máquina de envasado y la responsabilidad cae sobre los cuatro operarios. Se han determinado las posiciones como roles para poder determinar las tareas a realizar y que los operarios sepan que labor realizar cuando les toque ese rol.

El plan de responsabilidad operacional para el área de envasado está regido por estos roles:

- **El llenador**

- En el área de llenado solo estará el llenador y se dedicará a solamente esa área. Deberá garantizar no solo que la llenadora funcione, sino que también se encargará de que los insumos necesarios de la máquina se encuentren llenos (tapas, botellas, tambo de nitrógeno)

- **El etiquetador**

- El área de preparación de empaque consiste en la taponadora, la selladora y la etiquetadora de botellas. El etiquetador tiene que garantizar el buen funcionamiento de estas tres áreas, así como el cambio de rollo de las etiquetas de la etiquetadora

- **El empacador**

- El empacador se encargará de revisar que los envases se encuentren en la calidad establecida (que la botella se encuentre bien) y solucionar los errores que la empacadora tenga.

- **Estibador**

- El Estibador se encargará de recibir los corrugados ya preparados y empacados y se encargará de llenar el pallet y una vez lleno, empacarlo para que se prepare para su almacenamiento en bodega. Si una caja fuera rechazada este se encargará de gestionar estas cajas

El plan de responsabilidad operativa consiste en la inclusión de cada operario y asignarle un área de responsabilidad el cual cada operario se debe encargar en ese momento por un período de producción determinado. Los turnos podrán ser rotados luego de cada paro justificado como lo es el cambio de un pallet, refacción, almuerzo, cena. Cada operario deberá tener conocimiento de como ajustar el componente donde se responsabiliza para garantizar su buen funcionamiento.

### **8. 6.3 Mejora de proceso de información en el área de formulación**

El área de formulación presenta muy poca información dentro del sistema de eficiencia de OEE propio de la empresa. El cuello de botella teórico principal dentro del proceso de formulación es la molienda la cual llega a atrasar dentro de toda la planta la producción efectiva de líquidos herbicidas sin posibilidad de tener un historial de las principales causas de fallas en esta área.

### **8. 6.4 Recalibración de la Línea A**

La presentación de litro es la más ineficiente de todas las presentaciones por lo que se tiene que prestar mejor atención y mejorar la eficiencia con respecto a la producción. A pesar de que los tiempos son bastante similares en términos de producción, las fallas que se presentan en el sistema de la línea de litro no solo son mayores a nivel de proporción, sino que proporcionalmente son mayores en esta línea. Como la presentación es la de mayor volumen por mes esto representa una oportunidad de mejora con alto impacto en el área de producción. La empacadora y la llenadora son las que más tardan en repararse y las que mayor incidencia tienen en el proceso de producción del litro. La llenadora generalmente sus fallas se deben a espuma en exceso y recalibrar la máquina de llenado para los nuevos parámetros. Esta tiene una duración de 22 minutos. La empacadora tiene fallas con respecto a los proveedores de los corrugados que tienen que alinearse o problemas con el agarre del brazo hacia las botellas. La mayor parte de los problemas tienen que ver con factores externos pero su aplicación lograría resultados prometedores.

## **8.7 Validación de alternativas seleccionadas**

### **8. 7.1 Alternativa 2 cambio de formato completamente paralelo.**

El cambio de formato completamente paralelo

El cambio de formato completamente paralelo podría reducir el tiempo considerablemente si se realiza de una forma coordinada y paralela esto aumentando la productividad de la línea de producción de envasado. Se realizó un modelo donde se hacía el cambio de formato completamente paralelo y se logró demostrar que el tiempo de realización con los tiempos actuales es de 1 hora con 30 minutos lo cual es una reducción del tiempo total de 50% con respecto al tiempo actual considerado en los procesos actuales de la empresa.

Esto combinado con el proceso de limpieza; asumiendo que tarda una hora tendrá una duración máxima de 2 horas con 30 minutos. Actualmente el proceso de cambio de formato con limpieza dura en promedio 3:30 lo cual representa una disminución del tiempo de un 28.57%. Considerando la ya baja eficiencia de la línea, esto incrementaría la misma en un 12.50% solamente implementando un cambio de formato completamente paralelo. Si se implementa un cambio de formato implementado con los tiempos objetivo e incluyendo la limpieza la mejora de eficiencia será de un 18.75%.

### **8. 7.2 Alternativa 4, Recalibración de la línea A.**

No se hicieron cambios en los tiempos de procesamiento de ninguna unidad de la línea de producción salvo la etiquetadora que subió su velocidad a 66 botellas por segundo, equivalente a

una capacidad de 4 botellas por operación, también se redujeron los tiempos de reparación de las llenadora y etiquetadora y se dejó el tiempo de reparación de la casepacker. Esto resultó en un aumento de 2880 botellas a 4320 botellas en un turno de 8 horas incrementando la eficiencia de un 28.8% a un 43.2% por turno. Una mejora de 33.3%. Los tiempos de reparación podrían estandarizarse como nuevos procesos dentro de la línea de producción en la fase de envasado y reducir costos a nivel global en términos de la línea A, y B en todas sus presentaciones. Ya que aumenta la eficiencia en un 33.3% se puede atribuir esta mejora en el tiempo de producción necesario para poder

Con estas dos alternativas enfocadas en el área de envasado que es la que más problemas de eficiencia presenta dentro de la línea de producción. Aplicar estas alternativas tendría un impacto directo en los costos de producción

## 9. Conclusiones

- Se logró desarrollar un mapeo que define a detalle los procesos internos que ocurren dentro de la línea de producción estableciendo las principales oportunidades de mejora en el área de envasado, y cambio de formato de la misma área, y gestión de materiales.
- Se desarrollo correctamente un modelo de la línea de envasado para identificar los principales cuellos de botella los cuales se encuentran en el tiempo de ejecución del cambio de formato, llenadora, etiquetadora y empacadora.
- Se establecieron un total de 5 propuestas para establecer mejoras dentro de la línea de operación utilizando metodologías SMED y OEE para la ejecución eficiente de la línea de producción
- Se logro establecer que la alternativa 2 y la alternativa 4 tienen mejoras en la eficiencia de la línea de producción. Cuando estas alternativas se aplican la mejora en los costos es de una diferencia de \$3,456,000 dólares según el modelo financiero; una mejora de 3.05% acumulado.
- Se diseño correctamente una propuesta de optimización para reducir los costos de manufactura en la empresa de agroquímicos mediante análisis de datos obtenidos por un estudio de tiempos y movimientos.

## **10. Recomendaciones**

- Establecer un sistema que permita la recolección de datos en simulación para poder efectivizar el análisis de los datos y determinar el índice de eficiencia de una manera más efectiva en el área de formulación
- Incentivar a los operarios a tener más involucramiento con las áreas de operación
- Realizar en la simulación en Flex Sim ya que el modelaje se hace de mejor manera y de forma más profesional. Es un mejor software de simulación para este tipo de trabajos de simulación.

## **11. Comentarios finales**

El proceso de realización de un trabajo de graduación es un proceso que no solo es largo y grande, sino que recopila todos los conocimientos y reta al estudiante a poder enfocarse completamente en todos los aprendizajes adquiridos para poder realizar la clausura de un trabajo de graduación. Este proceso ha sido efectivamente largo y grande para poder efectuar toda la investigación. Como estudiante de ingeniería industrial, el enfoque en la mejora continua no solo debe aplicarse de forma profesional o de forma labora, sino que también de una forma personal. Metodologías como six sigma y OEE antes eran temas que solo eran teóricos hacia mí persona, eran temas de libros. Pero cuando se aplican a las metodologías y proponen resultados que generen un impacto en la eficiencia y en la economía es entendible ver la visión de las personas. Realizar este trabajo de graduación abrió un mundo de posibilidades en la cual pude experimentar una pequeña parte del mundo profesional.

## 12. Bibliografía

- *A gentle introduction to discrete-event simulation.* (2024, January 6). A Gentle Introduction to Discrete-event Simulation. <https://softwaresim.com/blog/a-gentle-introduction-to-discrete-event-simulation/>
- Bidwai, S. (2025, 23 enero). *Agrochemicals Market Size to Hit USD 313.89 Billion by 2034.* <https://www.precedenceresearch.com/agrochemicals-market>
- Empresa, C. T. (2023, October 9). Diagrama de Operaciones del Proceso - Objetivos y simbología. *CONDUCE TU EMPRESA | Aprende Y Emprende.* <https://blog.conducetuempresa.com/2016/05/dop.html>
- Euroinnova Business School. (2023, January 26). *¿Te preguntas dónde puedo trabajar si estudio negocios internacionales? Aquí tenemos la respuesta.* <https://www.euroinnova.edu.es/blog/que-es-el-estudio-de-movimientos>
- Kenton, W. (2023, December 18). *Lean Six Sigma: Definition, Principles, and Benefits.* Investopedia. <https://www.investopedia.com/terms/l/lean-six-sigma.asp>
- ifeder. (2023, October 18). *Teoría de colas.* Lifeder. <https://www.lifeder.com/teoria-colas/>
- Llc, S. (n.d.). *Simulation Software | Simio.* 2024. <https://www.simio.com/software/simulation-software.php>
- López, C. (2020, October 1). *El estudio de tiempos y movimientos. Definición y objetivos*
  - *gestiopolis.* Gestiopolis. <https://www.gestiopolis.com/el-estudio-de-tiempos-y-movimientos/>
- mkt.digital@labsag.co.uk. (2021, August 16). *Tipos de simulaciones – Blog de LABSAG.* <https://labsag.co.uk/blog/index.php/2021/08/16/tipos-de-simulaciones/>

- MarketsandMarkets Research Pvt. Ltd. (2024, 2 diciembre). Agrochemicals Market Poised for Significant Growth, Projected to Reach \$282.2 Billion by 2028. *GlobeNewswire News Room*. <https://www.globenewswire.com/news-release/2024/12/02/2990212/0/en/Agrochemicals-Market-Poised-for-Significant-Growth-Projected-to-Reach-282-2-Billion-by-2028.html>
- 
- Rios. (2024, April 23). *¿Qué son los agroquímicos y para qué sirven?: Importancia de los agroquímicos en la producción agrícola*. AgriculturaWiki. <https://agriculturawiki.com/que-son-los-agroquimicos-y-para-que-sirven-importancia-de-los-agroquimicos-en-la-produccion-agricola/>
- Ortega, C. (2023, June 16). *Análisis estadístico: Qué es, usos y cómo realizarlo*. QuestionPro. <https://www.questionpro.com/blog/es/analisis-estadistico/>
- *Suspensión concentrada (SC) | Croda Crop Care*. (n.d.). <https://www.crodacropcare.com/es-mx/applications/suspension-concentrate#:~:text=Una%20suspensi%C3%B3n%20concentrada%20%28SC%29%20est%C3%A1n%20compuestas%20por%20ingredientes,activos%20s%C3%B3lidos%20dispersos%20en%20un%20medio%20acuoso%20%28agua%29.>
- *SMED (Single-Minute Exchange of Die) | Lean Production*. (n.d.). <https://www.leanproduction.com/smed/>

- Valor presente neto: qué es, cómo se calcula y ejemplos. (2023, November 29). *HubSpot*. <https://blog.hubspot.es/sales/que-es-valor-presente-neto#:~:text=E1%20valor%20presente%20neto%20%28VPN%29%20es%20el%20valor,la%20rentabilidad%20de%20las%20inversiones%20y%20proyectos%20propuestos>.
- *What is OEE (Overall Equipment Effectiveness)? | OEE*. (n.d.). <https://www.oee.com/>

### 13. Anexos



Anexo 1: Simulación de la línea de envasado



Anexo 2 Entrada de solidos a mezcladora



Anexo 3 Tanques de almacenamiento



Anexo 4 Horno de calentamiento de toneles



Anexo 5 Bomba de líquidos en formulación



Anexo 6 Molinos de formulación



Anexo 7 Tanques de mezcla



Anexo 8 Tanques en formulación



Anexo 9 Línea de envasado



Anexo 10 Ordenadora



Anexo 11 Llenadora



Anexo 12 Taponadora



Anexo 13 Etiquetadora



Anexo 14 Empacadora Case Packer



Anexo 15 Etiquetadora de cajas