



**Propuesta de mejora del proceso de fabricación
de envases plásticos para productos cosméticos en una empresa colombiana.**

Elaborado por:

Francisco José Amado Iriarte

Leidy Johanna Cogollo Benavides

Laura Katerine Torres Culma

Director:

Emanuel Elberto Ortiz Ruiz

Universidad EAN

Facultad De Ingeniería

Proyecto De Integración

Bogotá DC

2024

Resumen

El presente proyecto aborda el análisis y propuesta de mejora del proceso de manufactura en una fábrica de envases de plástico, utilizando la simulación de procesos en FlexSim como herramienta principal. El objetivo es comprender el proceso actual, identificar oportunidades de mejora y proponer soluciones que mejoren la eficiencia de recursos y/o reduzcan los costos operativos.

En un principio, se realizó un exhaustivo análisis del proceso de fabricación de envases de plástico, cuellos de botella e ineficiencias. Mediante la simulación en FlexSim, se modelaron diferentes escenarios para comprender el comportamiento del sistema y evaluar el impacto de posibles cambios. Estos cambios propuestos se enfocaron en la reorganización de los procesos, la implementación de tecnologías de automatización y la reasignación de recursos. Adicional, se evaluaron los beneficios económicos de cada propuesta, considerando tanto los efectos sobre los costos como sobre la eficiencia operativa.

Finalmente, se propone a la fábrica la mejor alternativa de optimización que cumpla con un buen balance de mejora en la productividad con la menor inversión de capital posible. Se espera que la implementación de este plan conduzca a una operación más competitiva y sostenible en el mercado.

Palabras clave: Simulación de Procesos, Manufactura, FlexSim, Eficiencia de Recursos, Análisis de Procesos.

Abstract

This project addresses the analysis and enhancement proposal of the manufacturing process in a plastic packaging factory, using process simulation in FlexSim as the main tool. The goal is to understand the current process, identify opportunities for improvement, and propose solutions that enhance resources efficiency and/or reduce operating costs.

Initially, a thorough analysis of the plastic packaging manufacturing process, bottlenecks, and inefficiencies was conducted. Using simulation in FlexSim, different scenarios were modeled to understand the system's behavior and assess the impact of potential changes. These proposed changes focused on process reorganization, the implementation of automation technologies, and resource reallocation. In addition, the economic benefits of each proposal were evaluated, considering both the effects on costs and operational efficiency.

Finally, the factory is offered the best optimization alternative that meets a good balance of productivity improvement with the least possible capital investment. Implementing this plan is expected to lead to a more competitive and sustainable operation in the market.

Keywords: Process Simulation, Manufacturing, FlexSim, Resources Efficiency, Process Analysis.

Contenido

Resumen.....	II
Abstract.....	III
Tabla de ilustraciones.....	V
1. Introducción	1
2. Objetivos	2
Objetivo General.....	2
Objetivo Específicos	2
3. Definición del Problema	3
4. Justificación del Problema	4
5. Análisis de Requerimientos.....	6
6. Marco de Referencia.....	9
7. Análisis de Restricciones	15
Restricciones Ambientales.....	15
Restricciones Económicas	16
Restricciones Legales.....	17
Restricciones de Salud y Seguridad.....	18
Restricciones Socioculturales	19
8. Análisis de Metodología.....	24
9. Discusión de Resultados	26
Caracterización de la planta	26
Construcción del modelo base	27
Simulación del proceso mejorado.....	30
10. Análisis de Costos.....	34
11. Conclusiones	37
12. Recomendaciones	38
Referencias.....	39

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1 Matriz DOFA del proyecto	21
Ilustración 2 Metodología propuesta con base en el ciclo de la mejora continua.....	25
Ilustración 3. Diagrama de procesos de la planta de producción.....	26
Ilustración 4 Distribución de máquinas en el proceso de la planta.....	27
Ilustración 5 Análisis de tiempos de cada proceso y máquina.....	27
Ilustración 6 Modelo base de la planta construido en FlexSim.	28
Ilustración 7 Resultado simulación en FlexSim del modelo base.....	29
Ilustración 8 Dashboard para análisis desempeño de procesos y sus máquinas del modelo base de la planta	30
Ilustración 9 Esquema del robot propuesto para automatizar el proceso de ensamble.....	31
Ilustración 10 Modelo mejorado de la planta simulado en FlexSim.	31
Ilustración 11 Resultados de simulación de FlexSim del modelo mejorado de la planta.	32
Ilustración 12 Dashboard para análisis desempeño de procesos y sus máquinas del modelo mejorado de la planta	33
Ilustración 13 Resumen de costo de la implementación del robot en la planta	34
Ilustración 14 Costo real de los operarios para la empresa.....	35
Ilustración 15 Tabla amortización de la inversión.....	36

1. Introducción

En la actualidad, y debido a un mercado cada vez más competitivo, la resiliencia de las empresas del sector de manufactura está íntimamente ligada a la eficiencia o productividad de sus procesos (Ariza Sanchez, Bernal Montañez, & Valbuena Villamarín, 2023). Esto se configura en un desafío permanente que demanda la implementación de una cultura de mejora continua de procesos con un continuo monitoreo, análisis y optimización para generar valor, mediante el gasto eficiente de recursos, disminución costos operativos y/o aumento de productividad (Taha, 2017).

La fabricación de botellas de plástico involucra una serie de procesos interdependientes, desde la preparación de materias primas hasta el empaque final del producto, los cuales deben ser estratégicamente diseñados y organizados para alcanzar una producción sostenible (Gong, y otros, 2017). Para hacer una exitosa planeación estratégica de esta producción, la simulación de procesos se configura en una excelente herramienta para la asistencia en la toma de decisiones ayudando a identificar oportunidades, riesgos y sin incurrir en grandes gastos (Maćków, 2023).

La simulación o modelamiento de procesos de manufactura permite modelar el proceso base y alternativas a este, ayudando a encontrar cuellos de botella, ajustar tiempos de ciclo, reconfigurar los procesos de la planta y realizar sensibilidades a variables críticas para estructurar un plan de optimización del proceso (Febres Eguiguren, Ochoa Ramirez, & Ledesma Ayora, 2010). Es por esto por lo que, mediante el uso del software comercial FlexSim se puede simular varios escenarios y, evaluar el impacto de los posibles cambios en los indicadores de desempeño del proceso sin implementarlos en la planta, con lo que reduce el riesgo y garantiza una optimización más efectiva (González Neira & Aguirre Mayorga, 2004).

Con base en lo expuesto anteriormente, el presente trabajo propone un caso aplicado de estudio de un proceso de manufactura de una fábrica de envases de plástico en la ciudad de Bogotá (Colombia), donde mediante la simulación de procesos en FlexSim se realiza un entendimiento del proceso actual y se evalúan escenarios alternos para, finalmente, identificar y proponer un plan de optimización costo-efectivo.

2. Objetivos

Objetivo General

Proponer una reconfiguración de un proceso de manufactura de envases plásticos para cosméticos de una fábrica en Bogotá con el fin de mejorar la productividad al menor costo de inversión.

Objetivo Específicos

- Caracterizar la configuración procesos de producción actual, analizando tiempos de producción, utilización de recursos y distribución de la planta.
- Desarrollar modelo de simulación del proceso actual de producción de la fábrica, identificando cuellos de botella, ineficiencias de recursos u oportunidades de mejora.
- Diseñar y evaluar mediante simulación diferentes estrategias de mejora del proceso que permitan un desarrollo más eficiente de los procesos de la fábrica.
- Seleccionar y proponer la mejor alternativa de reconfiguración que permita aumentar la productividad de la fábrica con la menor inversión de capital.

3. Definición del Problema

El análisis del proceso productivo en la aplicación FlexSim de una empresa de envases plásticos cosméticos es esencial para mejorar la eficiencia, reducir costos y garantizar la calidad del producto final. En este contexto, se ha llevado a cabo un análisis exhaustivo que destaca áreas clave de mejora y propone soluciones innovadoras.

- 1. Análisis de Procesos:** Se realizará una evaluación detallada de cada etapa del proceso productivo utilizando la aplicación FlexSim. Se identificarán cuellos de botella, redundancias y posibles fuentes de pérdida de tiempo y recursos. (Da Silva, Vieira, Vieira, & De Santiago, 2016)
- 2. Evaluar Alternativas de Mejora:** Se realizará una evaluación de opciones de mejora en los procesos que ayuden a mejorar la eficiencia de recursos y/o implementar tecnología que mejore productividad y/o reduzca costos operativos. Esto buscando un buen balance entre aumento de productividad e inversión requerida.
- 3. Sostenibilidad Ambiental:** Se recomendará la incorporación de prácticas sostenibles en el proceso productivo. Esto incluye la adopción de materiales eco amigables, la gestión eficiente de residuos y la reducción del consumo de energía, alineando la producción con estándares medioambientales. (Agostino, 2015)

En resumen, el análisis del proceso productivo en la aplicación FlexSim de la empresa de envases plásticos cosméticos no solo apunta a mejorar la eficiencia operativa, sino también a alinear la producción con estándares ambientales y a mantener la competitividad en un mercado en constante evolución. La implementación exitosa de estas propuestas llevará a una empresa más ágil, sostenible y orientada hacia el futuro.

4. Justificación del Problema

La manufactura de envases de plástico representa un componente vital en la cadena de suministro de numerosas industrias, abarcando desde la alimentaria hasta la farmacéutica. En un mercado globalizado y altamente competitivo, la eficiencia operativa y la optimización de costos son imperativos para la viabilidad y sostenibilidad de cualquier empresa.

Adicional, abordar los desafíos inherentes a la manufactura de envases plásticos es crucial debido a su relevancia en múltiples sectores industriales. Como señala (Rao, Rao, P. S., & Faulin, J., 2019), la industria del envase y embalaje juega un papel fundamental en la protección y preservación de productos, garantizando su integridad durante el almacenamiento y transporte. Por lo tanto, cualquier mejora en los procesos de fabricación de envases de plástico tiene un impacto directo en la eficiencia y competitividad de las empresas que dependen de ellos.

Además, la simulación de procesos mediante herramientas como FlexSim ofrece una plataforma poderosa para comprender el funcionamiento actual de la fábrica y explorar escenarios alternativos. Como lo mencionan Robinson, Crowther y Simangunsong (2019), la simulación permite modelar con precisión los procesos complejos de manufactura, identificar cuellos de botella, evaluar el rendimiento y probar estrategias de mejora antes de implementarlas en el entorno real. Esta capacidad de análisis predictivo es invaluable para la toma de decisiones informadas y la mitigación de riesgos asociados con cambios operativos.

Por otro lado, la optimización de costos es un objetivo empresarial universal, especialmente en un contexto económico marcado por la volatilidad y la competencia global. Según (Gupta, A, & Jain, P. K., 2018), la optimización de procesos de manufactura no solo reduce los costos operativos directos, sino que también mejora la eficiencia de los recursos, minimiza el tiempo de producción y aumenta la capacidad de respuesta ante las demandas del mercado. Por lo tanto, invertir en la optimización de los procesos de manufactura de envases de plástico no solo tiene un impacto directo en la rentabilidad de la empresa, sino que también fortalece su posición competitiva en el mercado.

En conclusión, este documento propone abordar los desafíos de la manufactura de envases de plástico mediante la simulación de procesos en FlexSim, con el objetivo de identificar oportunidades de mejora y proponer un plan de optimización costo-efectivo. Dada la importancia estratégica de los envases plásticos en diversas industrias y los beneficios potenciales de la simulación y optimización de procesos, este proyecto se presenta como una iniciativa clave para mejorar la eficiencia operativa y la competitividad empresarial.

5. Análisis de Requerimientos

Los sistemas de manufactura modernos son un conjunto de procesos que trabajan de forma sistémica, concadenada y/o sinérgica para aprovechar un conjunto de recursos para fabricar productos físicos (Render & Heizer, 2014). Y, que para mantener el proceso productivo y competitivo es necesario implementar una cultura de la mejora continua, donde se logran identificar mejoras que mediante gestión y planeación se transforman en eficiencias, logrando con los mismos o menos recursos obtener los mismos o mayores resultados (Fontalvo, De la Hoz, & Morales, 2018).

En línea con lo anterior, este proyecto va enfocado a implementar una metodología de simulación, análisis y optimización de los procesos de producción de una fábrica de envases plásticos para cosméticos ubicada en Bogotá, esto con el fin de aumentar la productividad del sistema al menor costo posible mediante reasignación de recursos y/o reconfiguración del proceso general. La validación de la mejora se realizará comparando los indicadores de productividad producto de la simulación para el mejor escenario de mejora, contra los mismos indicadores para la simulación del proceso base (estatus quo), donde hay que hacer un ajuste histórico según la data real del proceso de la empresa. Estos indicadores de productividad claves pueden ser, por ejemplo, cálculos de capacidades y eficiencias en uso recursos por cada proceso.

En concordancia, para lograr un análisis más representativo y objetivo, es importante obtener la mayor cantidad de data real del proceso posible, es decir, la mayor información sobre el estado actual de la línea de producción con sus capacidades, configuraciones y productividades actuales. Es fundamental contemplar información como las métricas del sistema, variables de producción, eventos discretos y continuos, esto debido a que es fundamental utilizar esta información para recrear el modelo base y con ello entender el estado actual del proceso para poder plantear escenarios alternos de mejora y simularlos (Febres Eguiguren, Ochoa Ramirez, & Ledesma Ayora, 2010).

La información requerida para este modelo de simulación debe contemplar entre otros aspectos:

- **Procesos y maquinaria que intervienen en el proceso general:** Identificar todos los procesos y maquinarias involucrados es esencial para comprender la secuencia y la interdependencia de las operaciones. Esto ayuda a diseñar un flujo de trabajo eficiente y a optimizar la producción.
- **Procesos y maquinaria que son inamovibles o irremplazables:** Reconocer equipos críticos o procesos clave que no pueden ser fácilmente reemplazados es vital para planificar la disponibilidad y el mantenimiento adecuado de estos activos esenciales.
- **Tasas de producción de cada proceso y máquina:** Conocer las tasas de producción de cada proceso y máquina ayuda a establecer expectativas realistas de rendimiento y a identificar cuellos de botella que puedan limitar la producción general.
- **Tiempos de producción por máquina y procesos:** Entender los tiempos requeridos para cada etapa de producción es crucial para planificar horarios y programar recursos de manera eficiente.
- **Distancia entre máquinas (configuración del espacio de la fábrica):** La disposición física de las máquinas afecta la eficiencia y la logística del proceso. Optimizar el diseño del espacio puede mejorar el flujo de materiales y la eficiencia operativa.
- **Información de mantenimiento como rutinas (periodicidad de mantenimiento):** El mantenimiento preventivo es clave para evitar tiempos de inactividad no planificados. Conocer las rutinas de mantenimiento ayuda a programar las actividades de producción en consecuencia.
- **Operarios y sus esquemas de turnos en cada máquina y/o proceso:** La disponibilidad y capacitación de los operarios influyen en la productividad. Asegurar una asignación adecuada de personal y la cobertura de turnos es esencial para mantener una operación continua.
- **Tiempo de trabajo disponible por máquina y proceso:** Saber cuánto tiempo está realmente disponible cada máquina y proceso (descontando tiempos de mantenimiento, descansos, etc.) ayuda a planificar la capacidad y evitar subutilización o sobrecarga.

- **Periodos de tiempos no productivos (descansos, arranques) de cada proceso:**
Identificar y minimizar los tiempos muertos o no productivos es esencial para mejorar la eficiencia global del sistema.

Por lo tanto, se requiere que la simulación en el aplicativo FlexSim permita llevar a cabo visualizaciones y animaciones que permitan demostrara de forma más intuitiva (visual) como sería el funcionamiento de los escenarios simulados propuestos. Cabe mencionar que debido a esta funcionalidad se posicionó este aplicativo como el más ocionado para realizar este ejercicio de modelamiento de este trabajo.

6. Marco de Referencia

La industria del plástico en Colombia juega un papel fundamental en la economía, generando empleo y contribuyendo al sector manufacturero. En un entorno competitivo, las empresas buscan optimizar sus procesos para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad. En este contexto, la modelación y simulación con herramientas como FlexSim se convierten en aliadas estratégicas para analizar, evaluar y optimizar los procesos de producción de manera eficiente y precisa.

Importancia de la optimización de procesos

La optimización de procesos es esencial para mejorar la eficiencia y la productividad en cualquier industria. Según (Render & Heizer, 2014) la implementación de estas técnicas de mejora de procesos es fundamental dentro de las buenas prácticas de gestión de operaciones. La simulación, como técnica valiosa, permite modelar y analizar sistemas complejos de manufactura, posibilitando experimentar con diferentes configuraciones y políticas operativas para optimizar la eficiencia y la productividad. (Smith, 2018).

Reingeniería y modelado de procesos

La reingeniería es un método relevante para mejorar los procesos, con tres niveles: cambios pequeños en el proceso de producción, rediseño de varias partes o del proceso completo, y un cambio radical en todo el proceso productivo (Ondov, 2022) Un modelo de simulación en software como FlexSim permite identificar y analizar procesos óptimos, detectar cuellos de botella y proponer alternativas de diseño a bajo costo (Utku, 2023).

FlexSim: Herramienta para la optimización de procesos

La optimización de procesos de manufactura busca soluciones óptimas que maximicen la eficiencia y minimicen costos. FlexSim es una herramienta comercial para simulación de procesos, destacando por su interfaz intuitiva que facilita la creación de modelos detallados y la visualización de resultados (Johnson, 2020) Esta versatilidad permite evaluar escenarios y tomar decisiones informadas para su implementación en la planta (García, 2019).

Beneficios de la simulación con FlexSim

La simulación por computadora con FlexSim mejora la toma de decisiones en sistemas de producción complejos como la fabricación de envases de plástico. FlexSim ofrece una representación precisa de los procesos, permitiendo a ingenieros y gerentes visualizar y analizar diferentes escenarios antes de implementar cambios (Martínez, Simulación con Flexsim, una nueva alternativa, 2018)

Lo podemos evidenciar en el estudio de caso destacado de Quadrillion Partners que ayudó a un fabricante de alta tecnología a desarrollar un proceso de planificación estratégica utilizando FlexSim. Este modelo de simulación global ayudó a la empresa a tomar decisiones informadas sobre la consolidación de sitios de fabricación y la agrupación de volúmenes de productos a nivel mundial. El modelo permitió identificar cuellos de botella, costos, y beneficios de diferentes estrategias de producción y distribución, mejorando así la eficiencia operativa y reduciendo tiempos de entrega. (Autodesk Company, Competitive Advantage in Manufacturing, 2022)

Alcanzando la eficiencia con FlexSim

Los modelos de simulación en FlexSim permiten comprender mejor los procesos de producción, desde la distribución de recursos hasta la programación de la producción. El análisis de sensibilidad y escenarios "qué pasaría si" proporciona una visión completa de las implicaciones de las decisiones operativas.

FlexSim para la optimización de la producción de envases plásticos

FlexSim facilita la optimización de los procesos de producción de envases de plástico para cosméticos en empresas colombianas, ofreciendo un enfoque innovador y sencillo en su programación y diseño en 3D (Martínez, Simulación con Flexsim, una nueva alternativa, 2018) Esta herramienta permite evaluar y mejorar continuamente las operaciones para aumentar la eficiencia y reducir costos.

Optimización de caminos del operador

La optimización de los caminos del operador en la producción de envases de plástico con FlexSim trae consigo numerosos beneficios:

Aumento de la eficiencia: Reduce los tiempos de desplazamiento, mejorando la productividad y minimizando los tiempos de espera.

Mejora de la seguridad: Reduce los riesgos de colisión y optimiza la disposición del equipo.

Disminución de la fatiga del operador: Minimiza la distancia y el tiempo de desplazamiento, mejorando la comodidad en el trabajo y aumentando la satisfacción laboral. .
(Análisis de la eficiencia de un sistema de producción mediante simulación con FlexSim, s.f.)

FlexSim y la sostenibilidad

FlexSim garantiza la sostenibilidad a largo plazo de la optimización de caminos del operador mediante un enfoque integral que incluye:

- ✓ Análisis exhaustivo de flujos de trabajo.
- ✓ Modelado y simulación de procesos.
- ✓ Optimización con algoritmos avanzados.
- ✓ Adaptabilidad a cambios en el entorno de producción.
- ✓ Seguimiento y análisis continuo.

Casos de éxito de FlexSim

FlexSim se ha utilizado con éxito en diversas industrias para mejorar la planificación de la producción, reducir los tiempos de ciclo y optimizar la utilización de recursos (Choi, 2017)

Algunos ejemplos incluyen:

- Evaluación de la capacidad de la planta, equilibrado de líneas de envasado y fabricación, gestión de cuellos de botella y resolución de problemas de trabajo en curso (Rizqi, 2019)
- Propuesta de un plan de optimización para eliminar actividades sin valor añadido y aumentar la eficiencia general (Stadnicka & Antonelli, 2015)

Ejemplo de Implementación: Quadrillion Partners

Uno de los ejemplos más destacados de la implementación de FlexSim es el proyecto llevado a cabo por Quadrillion Partners. Esta empresa ayudó a un fabricante de alta tecnología a

desarrollar un proceso de planificación estratégica utilizando FlexSim. El modelo de simulación permitió tomar decisiones informadas sobre la consolidación de sitios de fabricación y la agrupación de volúmenes de productos a nivel mundial. (Autodesk Company, Competitive Advantage in Manufacturing, 2022)

Los beneficios incluyeron:

- **Identificación de cuellos de botella:** El modelo permitió descubrir y resolver cuellos de botella en la producción.
- **Optimización de costos y tiempos de entrega:** Se evaluaron las mejores opciones para producir productos en distintas ubicaciones, considerando costos y tiempos de entrega.
- **Aumento de la eficiencia operativa:** La simulación facilitó la reubicación de volúmenes de producción, mejorando la eficiencia operativa global.

Ejemplo de Implementación: Skarnes, Inc.

Otro caso de éxito es el de Skarnes, Inc., que utilizó FlexSim para simular un sistema de almacenamiento y recuperación automatizado (AS/RS) junto con un bucle de transporte de palets. La simulación validó la propuesta de agregar una cinta transportadora adicional, lo que resultó en un aumento del 43% en la capacidad de recolección de palets por hora, demostrando una reducción significativa de la congestión en el sistema y mejorando la eficiencia del almacén. (Autodesk Company, Finding Increased Throughput, 2023)

El avance de la robótica industrial ha permitido la creación de robots más eficientes y versátiles, como el robot VT6L de Epson. Este robot SCARA de seis ejes está diseñado para aplicaciones de automatización en diversas industrias, ofreciendo características técnicas avanzadas que lo hacen adecuado para una amplia gama de tareas. En primer lugar, el VT6L se destaca por su diseño compacto y ligero, permitiéndole operar en espacios reducidos. Además, cuenta con seis ejes que le otorgan una mayor flexibilidad y alcance en comparación con los robots SCARA tradicionales de cuatro ejes (Epson, 2023). Estos seis ejes permiten movimientos más complejos y precisos, facilitando la ejecución de tareas que requieren una alta precisión en el posicionamiento y la manipulación de objetos.

Asimismo, su capacidad de carga de hasta 6 kg lo hace ideal para tareas que requieren la manipulación de objetos pesados, mientras que su alcance máximo de 920 mm le permite cubrir un área de trabajo considerable (Epson, 2023). La combinación de estas características hace que el VT6L sea especialmente útil en procesos de ensamblaje, donde se necesita tanto alcance como capacidad de carga para manejar componentes grandes y pesados. No obstante, una de las características más impresionantes del VT6L es su precisión de repetibilidad de ± 0.1 mm, lo cual garantiza un alto nivel de exactitud en las operaciones (Epson, 2023). Esta precisión es crucial en aplicaciones que requieren un control riguroso de calidad, como la fabricación de componentes electrónicos o dispositivos médicos.

Por otro lado, el VT6L es ampliamente utilizado en diversas industrias para tareas de ensamblaje, manipulación de materiales, y más. En particular, es capaz de ensamblar componentes electrónicos con alta precisión, lo cual es crucial en la industria de la electrónica (Smith & Johnson, 2022). Los componentes electrónicos, que a menudo son pequeños y delicados, requieren una manipulación cuidadosa y precisa para evitar daños y asegurar un ensamblaje correcto. Además, su capacidad para manejar cargas de hasta 6 kg lo hace ideal para la manipulación y transporte de materiales en líneas de producción (González, 2021). En la industria automotriz, por ejemplo, el VT6L puede ser utilizado para manejar piezas pesadas y voluminosas, mejorando la eficiencia del proceso de ensamblaje de vehículos.

Además, gracias a su precisión, el VT6L se utiliza para inspeccionar productos y asegurar que cumplen con los estándares de calidad (Díaz, 2020). La inspección automatizada es una aplicación crítica en industrias como la farmacéutica, donde los productos deben cumplir con estrictas normativas de calidad y seguridad. De esta manera, su versatilidad y eficiencia lo convierten en una herramienta valiosa en una variedad de sectores industriales. La capacidad del VT6L para realizar inspecciones precisas también reduce el riesgo de errores humanos, mejorando así la consistencia y fiabilidad del proceso de control de calidad.

En cuanto a los beneficios del VT6L en la industria de la automatización, su adopción ofrece varios aspectos positivos. En primer lugar, la automatización de tareas repetitivas con el

VT6L permite a las empresas aumentar la eficiencia y reducir los tiempos de producción (Epson, 2023). La automatización libera a los trabajadores humanos de tareas monótonas y repetitivas, permitiéndoles enfocarse en actividades más complejas y de mayor valor añadido. Asimismo, al minimizar la necesidad de intervención humana, el uso del VT6L puede reducir los costos operativos y mejorar la rentabilidad (Martínez, 2021). La reducción de errores humanos y el aumento de la precisión en las operaciones también contribuyen a una menor tasa de desechos y retrabajos, lo que a su vez disminuye los costos de producción.

Adicionalmente, la alta precisión del VT6L garantiza que las tareas se realicen con exactitud, reduciendo el riesgo de errores y mejorando la calidad del producto final (Epson, 2023). En industrias donde la calidad es una prioridad, como la aeroespacial o la médica, la capacidad de mantener altos estándares de precisión es un factor clave para el éxito. En consecuencia, estos beneficios contribuyen a que las empresas mejoren sus procesos de producción y se mantengan competitivas en el mercado global. La implementación de tecnologías avanzadas como el VT6L permite a las empresas adaptarse rápidamente a los cambios en la demanda y las condiciones del mercado, ofreciendo una mayor flexibilidad y capacidad de respuesta.

En conclusión, el robot VT6L de Epson representa un avance significativo en la robótica industrial, combinando flexibilidad, precisión y capacidad de carga para satisfacer diversas necesidades de automatización. Su adopción puede mejorar significativamente la eficiencia y reducir los costos en los procesos de producción, demostrando así su valor en la industria de la automatización. Por lo tanto, el impacto del VT6L en la industria es notable, permitiendo a las empresas no solo optimizar sus operaciones, sino también ofrecer productos de mayor calidad. La integración de robots como el VT6L en los procesos de fabricación y ensamblaje es un paso hacia una mayor automatización y digitalización de la industria, lo que a su vez impulsa la innovación y el desarrollo tecnológico.

7. Análisis de Restricciones

Restricciones Ambientales:

- **Impacto en el Medio Ambiente:** Según (Velásquez P. e., 2020), la fabricación de envases plásticos para cosméticos puede generar una serie de impactos negativos en el medio ambiente, como la contaminación del aire, del agua y del suelo. Los procesos de producción pueden emitir gases de efecto invernadero y liberar productos químicos tóxicos que contribuyen al cambio climático y afectan la calidad del agua y del suelo en las áreas circundantes a la planta. Es crucial implementar medidas de control de la contaminación y adoptar tecnologías limpias para minimizar el impacto ambiental de la operación.
- **Gestión de Residuos Plásticos:** De acuerdo con la investigación de (Gestión de Residuos Plásticos en la Industria de Envases Cosméticos, 2019), la producción de envases plásticos genera una gran cantidad de residuos plásticos que pueden tener un impacto significativo en los ecosistemas locales y en la vida silvestre. Es importante implementar prácticas de gestión de residuos efectivas, como el reciclaje y la reutilización de materiales, para reducir la cantidad de desechos plásticos que terminan en vertederos o en el medio ambiente natural. Además, se deben explorar alternativas más sostenibles, como el uso de bioplásticos o materiales compostables, para minimizar la dependencia de los plásticos convencionales.
- **Cumplimiento de Normativas Ambientales:** Según la normativa colombiana en materia ambiental (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021), las empresas industriales están sujetas a una serie de regulaciones y normativas que establecen límites máximos de emisión de contaminantes y establecen estándares (Informe Económico del Sector Manufacturero en Colombia, 2020) de calidad ambiental que deben ser cumplidos. Es esencial asegurarse de que la planta de fabricación cumpla con todas las normativas ambientales aplicables y obtenga las licencias y permisos necesarios antes de iniciar operaciones. Esto incluye la evaluación del impacto ambiental y la implementación de medidas de mitigación necesarias para proteger el entorno natural.

Restricciones Económicas:

- **Costos de Producción:** Según el informe de (Informe Económico del Sector Manufacturero en Colombia, 2020), los costos de producción en Colombia pueden variar significativamente dependiendo de factores como la inflación, los precios de los insumos y la disponibilidad de mano de obra calificada. Es esencial realizar un análisis detallado de los costos de producción, incluyendo mano de obra, materias primas, energía y otros insumos, para determinar el costo total de fabricación de los envases plásticos para cosméticos. Además, se deben considerar los costos indirectos, como impuestos, aranceles y gastos administrativos, al calcular el precio de venta y la rentabilidad del producto.
- **Competitividad del Mercado:** De acuerdo con el estudio de mercado de la Asociación Nacional de Industriales (Estudio de Mercado del Sector de Envases Plásticos en Colombia, 2021), el sector de fabricación de envases plásticos en Colombia es altamente competitivo, con numerosas empresas compitiendo por participación de mercado. Esto puede generar presiones sobre los márgenes de beneficio y dificultar la diferenciación de productos. Es fundamental identificar y aprovechar ventajas competitivas, como la innovación en diseño o la eficiencia operativa, para mantenerse competitivo en el mercado y garantizar la rentabilidad a largo plazo.
- **Volatilidad del Mercado Internacional:** Según el (Informe de Estabilidad Económica de Colombia, 2021), la economía colombiana está expuesta a factores externos, como fluctuaciones en los precios de los productos básicos y cambios en las políticas comerciales internacionales, que pueden tener un impacto significativo en la estabilidad económica del país. Esto puede afectar la competitividad de las exportaciones colombianas y la capacidad de las empresas locales para competir en el mercado internacional. Es importante monitorear de cerca las tendencias del mercado global y desarrollar estrategias de diversificación para mitigar los riesgos asociados con la volatilidad económica.

Restricciones Legales:

- **Cumplimiento Normativo:** Según el (Normativa Legal para la Industria Manufacturera en Colombia, 2020), la industria manufacturera está sujeta a una amplia gama de regulaciones y normativas legales que abarcan aspectos como la seguridad laboral, la calidad del producto, la protección del medio ambiente y los derechos de los consumidores. Es esencial asegurarse de que la planta de fabricación cumpla con todas las leyes y regulaciones aplicables, obteniendo los permisos y certificaciones necesarios antes de iniciar operaciones. Esto incluye el cumplimiento de normas técnicas y estándares de calidad, así como la realización de evaluaciones de riesgos y auditorías de cumplimiento regulares.
- **Protección de la Propiedad Intelectual:** Según la (Protección de la Propiedad Intelectual en Colombia, 2021), la protección de la propiedad intelectual es fundamental para garantizar la innovación y la competitividad en la industria manufacturera. Esto incluye la protección de marcas registradas, patentes de invención, diseños industriales y derechos de autor relacionados con productos y procesos de fabricación. Es esencial realizar búsquedas exhaustivas de antecedentes y solicitar las protecciones legales correspondientes para evitar infracciones y proteger los activos intangibles de la empresa.
- **Responsabilidad Social Corporativa:** De acuerdo con la legislación laboral colombiana (Normativa de Salud Ocupacional en Colombia, 2020), las empresas están obligadas a cumplir con estándares mínimos en materia de derechos laborales, seguridad y salud ocupacional, y responsabilidad social corporativa. Esto incluye proporcionar un ambiente de trabajo seguro y saludable para los empleados, respetar los derechos laborales y promover prácticas comerciales éticas y sostenibles. Es fundamental adoptar políticas y procedimientos que fomenten la responsabilidad social corporativa y contribuyan al desarrollo sostenible de la comunidad y el país en su conjunto.

Restricciones de Salud y Seguridad:

- **Prevención de Riesgos Laborales:** Según la Organización Internacional del Trabajo (OIT, 2021), la industria manufacturera presenta una serie de riesgos para la salud y seguridad de los trabajadores, como la exposición a productos químicos tóxicos, el manejo de maquinaria pesada y el riesgo de accidentes laborales. Es esencial implementar medidas de prevención de riesgos laborales, como la capacitación en seguridad, el uso de equipos de protección personal y la implementación de procedimientos de trabajo seguro. Además, se deben establecer protocolos de emergencia y realizar evaluaciones de riesgos periódicas para identificar y mitigar posibles peligros en el lugar de trabajo.
- **Cumplimiento de Normativas de Salud Ocupacional:** Según la normativa colombiana en materia de salud ocupacional (Encuesta Nacional de Condiciones de Trabajo, 2019), las empresas están obligadas a cumplir con una serie de regulaciones y normativas destinadas a proteger la salud y seguridad de los trabajadores en el lugar de trabajo. Esto incluye la identificación y evaluación de riesgos laborales, la implementación de medidas preventivas y el seguimiento de la salud de los empleados expuestos a riesgos ocupacionales. Es fundamental cumplir con todas las normativas de salud ocupacional y promover una cultura de seguridad en la empresa para evitar accidentes y lesiones laborales.
- **Bienestar Laboral:** Según la Encuesta Nacional de Condiciones de Trabajo (Encuesta Nacional de Condiciones de Trabajo, 2019), el bienestar laboral es un factor clave para la satisfacción y productividad de los trabajadores en la industria manufacturera. Esto incluye aspectos como el equilibrio entre trabajo y vida personal, el acceso a servicios de salud y bienestar, y la participación en decisiones relacionadas con el trabajo. Es esencial promover un ambiente de trabajo saludable y motivador que fomente el bienestar físico, emocional y social de los empleados, contribuyendo así a la retención del talento y al éxito a largo plazo de la empresa.

Restricciones Socioculturales:

- **Impacto en la Comunidad Local:** Según investigaciones de la (Impacto Social y Cultural de la Industria en las Comunidades Locales, 2020), las operaciones industriales pueden tener un impacto significativo en la comunidad local en términos de empleo, desarrollo económico y calidad de vida. Es importante considerar las preocupaciones y expectativas de la comunidad en relación con el proyecto y buscar formas de minimizar cualquier impacto negativo. Esto puede incluir la implementación de medidas de mitigación ambiental, la creación de oportunidades de empleo local y la participación en programas de responsabilidad social corporativa que beneficien a la comunidad.
- **Cultura Organizacional:** Según el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Normas de Responsabilidad Social Corporativa en Colombia, 2021), la cultura organizacional de una empresa puede influir en su capacidad para cumplir con los objetivos del proyecto y mantener relaciones positivas con los stakeholders. Es importante promover valores como la transparencia, la integridad y el compromiso social en toda la organización, asegurando así que todas las decisiones y acciones estén alineadas con los principios éticos y morales de la empresa. Además, se deben fomentar relaciones de confianza y respeto con los stakeholders, promoviendo una comunicación abierta y una colaboración efectiva.
- **Diversidad Cultural:** Según la Encuesta de Calidad de Vida del (Diversidad Cultural y Bienestar Laboral en Colombia, 2020), Colombia es un país diverso en términos de cultura, etnia y tradiciones. Es importante tener en cuenta esta diversidad cultural al diseñar políticas y prácticas empresariales, asegurando la inclusión y el respeto a la diversidad en todas las áreas de la empresa. Esto incluye la promoción de la igualdad de oportunidades y la eliminación de cualquier forma de discriminación o exclusión en el lugar de trabajo. Además, se deben adoptar medidas para promover la integración social y cultural de todos los empleados, creando un ambiente de trabajo inclusivo y enriquecedor para todos.

Estas ideas detalladas proporcionan una comprensión más profunda de las restricciones ambientales, económicas, legales, de salud y seguridad, y socioculturales que pueden afectar

el proyecto de reconfiguración del proceso de fabricación de envases plásticos para cosméticos en Colombia. Al abordar estas restricciones de manera integral y proactiva, se puede mejorar la viabilidad y el éxito del proyecto a largo plazo.

Ilustración 1 Matriz DOFA del proyecto



Fuente: Elaboración propia

Estrategias FO (Fortalezas y Oportunidades)

- **Fomentar la Innovación y Sostenibilidad:**

- Aprovechar la implementación de tecnologías limpias y prácticas de gestión de residuos para desarrollar productos innovadores y sostenibles que aprovechen la creciente demanda de materiales ecológicos.

- **Desarrollo de Ventajas Competitivas Sostenibles:**

- Utilizar la fuerte cultura organizacional y el compromiso con la responsabilidad social para diferenciarse en el mercado, promoviendo productos sostenibles y prácticas comerciales éticas.

Estrategias DO (Debilidades y Oportunidades)

- **Optimización de Costos y Sustitución de Materiales:**

- Realizar un análisis detallado de los costos de producción y explorar la adopción de materiales más sostenibles y económicos para reducir la dependencia de plásticos convencionales.

- **Mejora Continua en Seguridad y Salud:**

- Implementar programas de capacitación y mejora continua para garantizar el cumplimiento de normativas de salud ocupacional y reducir riesgos laborales, alineando estas acciones con prácticas de responsabilidad social.

Estrategias FA (Fortalezas y Amenazas)

- **Mitigación del Impacto Ambiental:**

- Utilizar la experiencia en tecnologías limpias y prácticas de gestión de residuos para implementar medidas adicionales que minimicen el impacto ambiental y cumplan con las regulaciones estrictas.

- **Fortalecimiento de la Competitividad:**

- Aprovechar la innovación en diseño y eficiencia operativa para mejorar la competitividad, reduciendo los costos y aumentando la calidad de los productos en un mercado altamente competitivo.

Estrategias DA (Debilidades y Amenazas)

- **Diversificación y Adaptación al Mercado:**

- Desarrollar estrategias de diversificación para mitigar los riesgos asociados con la volatilidad económica, adaptando la producción y los productos a las tendencias globales y fluctuaciones del mercado.
- **Cumplimiento Estricto y Flexibilidad Normativa:**
 - Establecer un sistema robusto de cumplimiento normativo que permita a la empresa adaptarse rápidamente a cambios en las regulaciones y mantener un alto estándar de calidad y seguridad en sus operaciones.

8. Análisis de Metodología

Para cumplir con los objetivos del proyecto, se propone seguir una metodología estructurada que abarque las siguientes etapas:

- **Recolección y Análisis de Datos:**

Realizar un análisis exhaustivo de los procesos de producción actuales, identificando áreas de ineficiencia y oportunidades de mejora.

Recopilar datos sobre costos, tiempos de producción, utilización de recursos y cumplimiento de regulaciones.

- **Desarrollo de Modelo de Simulación:**

Utilizar software de simulación (FlexSim) (Agostino, 2015) (Velásquez, 2020) para crear un modelo del proceso de producción actual, identificando cuellos de botella y áreas críticas.

Validar el modelo utilizando datos reales y realizar simulaciones para evaluar diferentes escenarios y estrategias de mejora.

- **Diseño y Evaluación de Estrategias de Mejora:**

Diseñar diversas estrategias de mejora basadas en los hallazgos del análisis de situación y la simulación del proceso.

Evaluar el impacto de estas estrategias en la productividad, eficiencia y rentabilidad del proceso mediante análisis de costos y simulaciones adicionales.

- **Selección e Implementación de la Mejor Alternativa:**

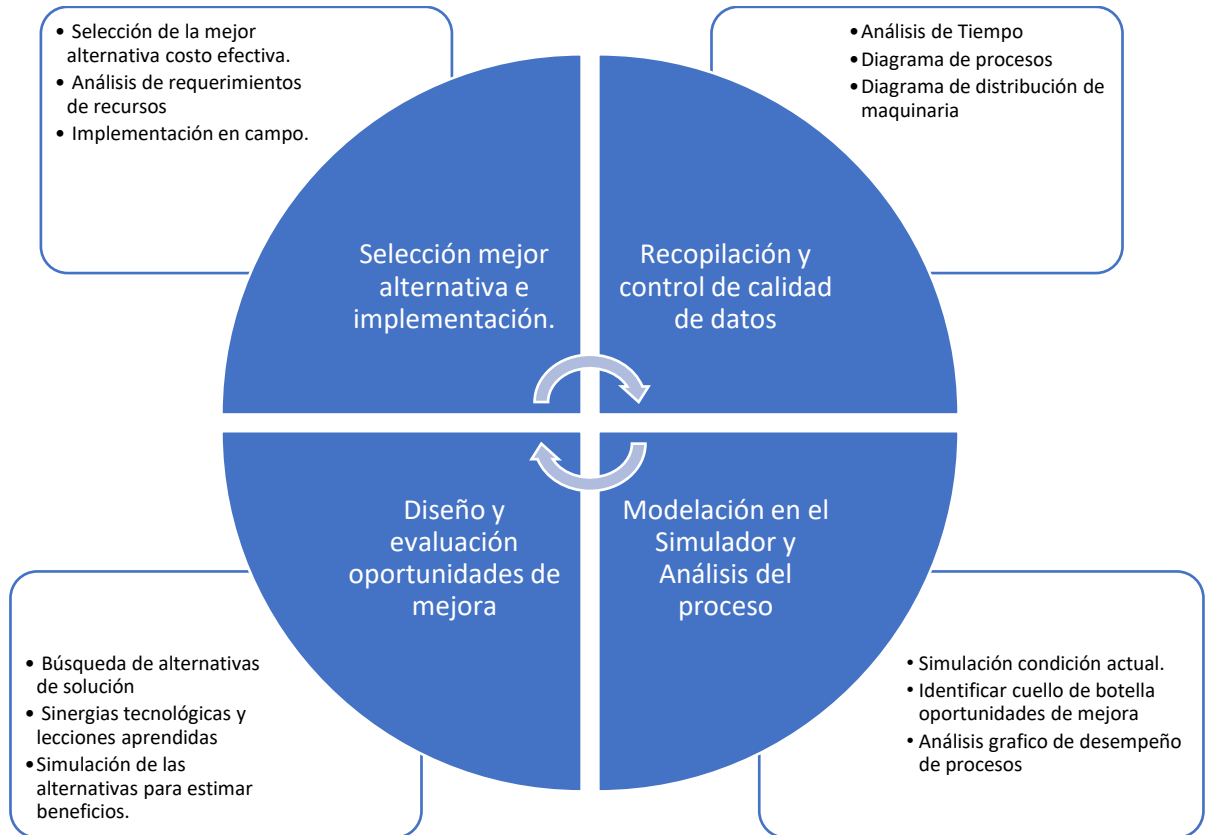
Seleccionar la estrategia de mejora más adecuada que permita cumplir con el objetivo general del proyecto: mejorar la productividad al menor costo de inversión.

Implementar la estrategia seleccionada y monitorear su desempeño a lo largo del tiempo, realizando ajustes según sea necesario.

Siguiendo esta metodología, se espera lograr una reconfiguración exitosa del proceso de manufactura de envases plásticos para cosméticos, cumpliendo con los objetivos específicos del proyecto y superando las restricciones ambientales, económicas, legales, de salud y seguridad, y

socioculturales identificadas. En la Ilustración 2, se represente la metodología propuesta para este trabajo de forma resumida y alineada al ciclo virtuoso de la mejora continua de procesos.

Ilustración 2 Metodología propuesta con base en el ciclo de la mejora continua

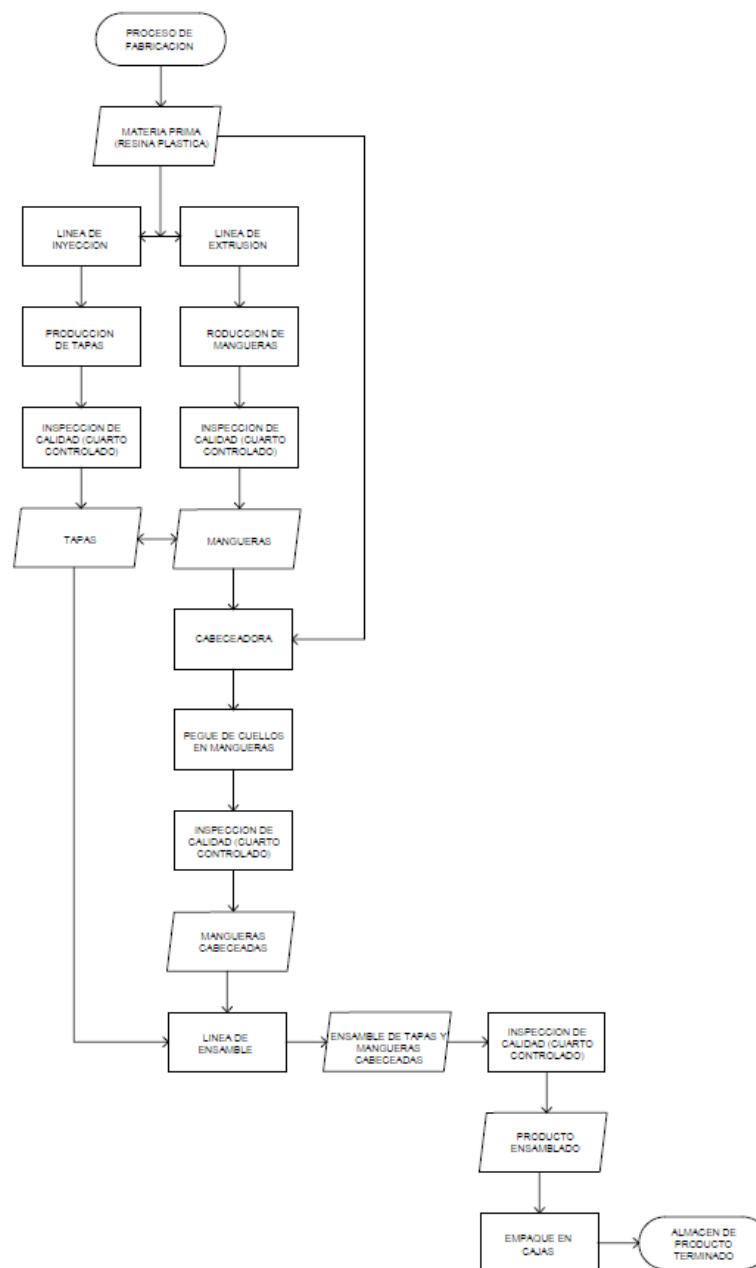


Discusión de Resultados

- **Caracterización de la planta:**

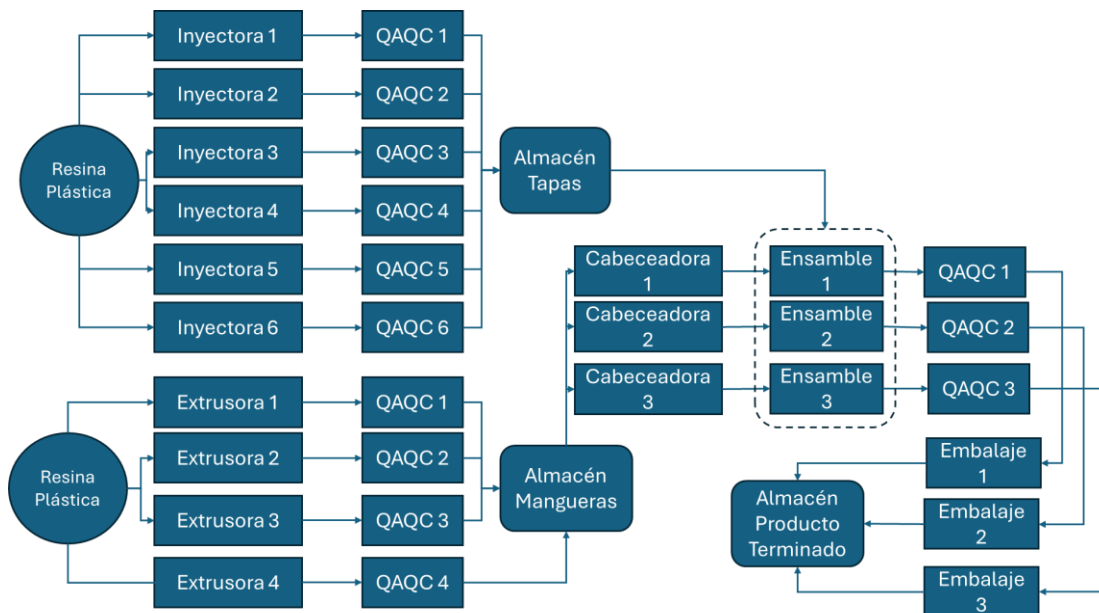
Inicialmente se analizó el proceso de la planta objeto de estudio, donde se obtuvo el flujo de procesos, la organización del proceso en la planta y los tiempos de procesos. En la Ilustración 3, se observa el diagrama de flujo de los procesos que componen la planta de producción objeto de análisis.

Ilustración 3. Diagrama de procesos de la planta de producción



Por otro lado en la Ilustración 4, se observa un diagrama de la distribución de las distintas maquinas que componen los procesos del sistema de producción de esta planta.

Ilustración 4 Distribución de máquinas en el proceso de la planta



Adicional, en Ilustración 5, se encuentra los datos de tiempos de procesos estimados basados en mediciones en la planta de las unidades procesadas por una franja de tiempo medido.

Ilustración 5 Análisis de tiempos de cada proceso y máquina.

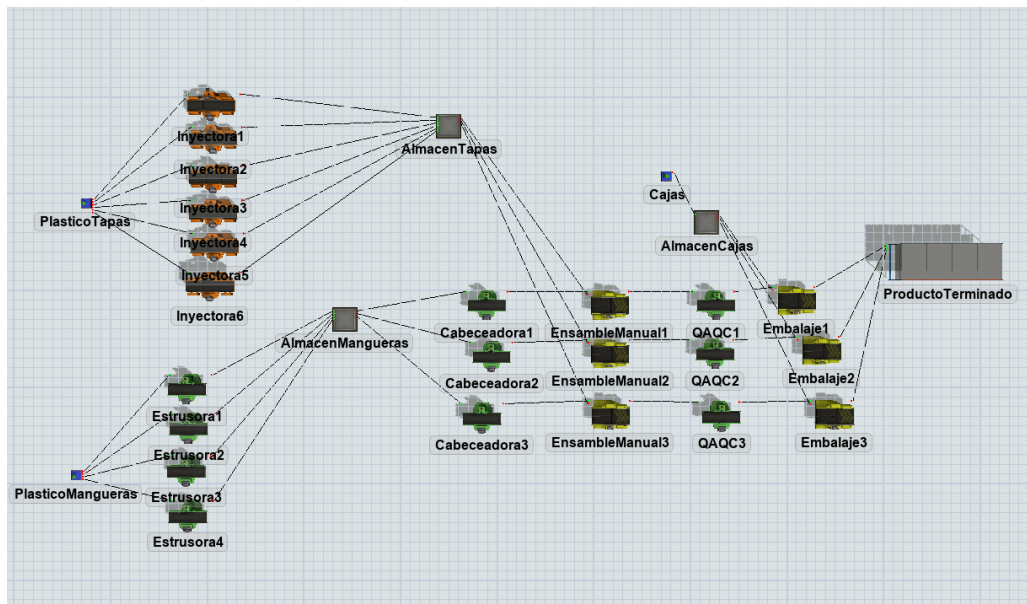
Proceso	Cantidades Producidas	Tiempo Medido		Tiempo Proceso Unitario
	Unidades	Hr	Segundos	Seg/Unidades
Inyectoras	7000	8	28800	4,1
Extrusoras	10000	8	28800	2,9
Cuarto Control	13800	8	28800	2,1
Cabeceadoras	10000	8	28800	2,9
EnsambladorasManual	7000	8	28800	4,1
Embalaje	1800	1	3600	2,0
EmsambleRobot	9000	1	3600	0,4

- **Construcción del modelo base:**

Con base en la información recolectada en la etapa de caracterización, se realizó la construcción del modelo en la condición actual de la planta (modelo base o línea base) con el fin

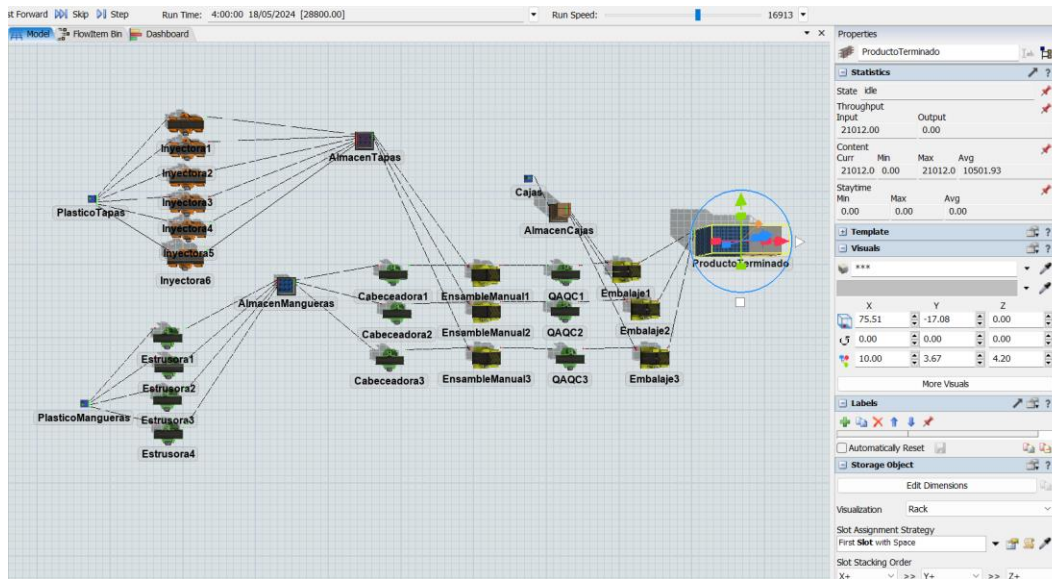
de analizar el desempeño de las diferentes maquinas que componen cada proceso. En la Ilustración 6, se encuentra la vista de planta del modelo de simulación construido en el simulador comercial FlexSim para proceder con el estudio. Es de resaltar, que este modelo fue construido con una licencia comercial adquirida por la Universidad EAN para fines académico investigativo como es el caso de este trabajo de grado.

Ilustración 6 Modelo base de la planta construido en FlexSim.



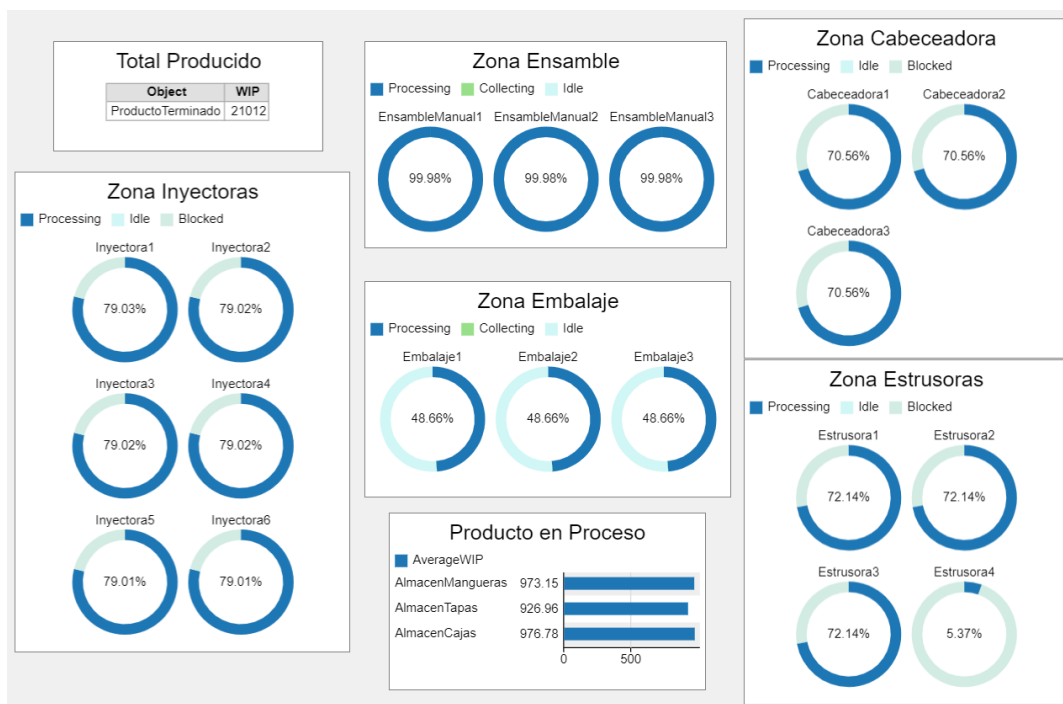
Teniendo presente que la planta analizada opera en un esquema de turnos de 8 horas, se decidió tomar como base de cálculo este valor y analizar el desempeño de la planta durante la duración de un turno en el simulador, es decir, correr en el simulador un tiempo de producción de 8 horas. En Ilustración 7, se observa el modelo de simulación línea base corrido con tiempo de simulación de 8 horas.

Ilustración 7 Resultado simulación en FlexSim del modelo base.



Adicional y como complemento de la corrida de simulación, en la Ilustración 8, se observa de forma gráfica los estados de cada una de las máquinas que compone cada proceso, el contenido promedio de producto en proceso de los almacenes intermedios y la cantidad final de producto terminado (total producido). En estos gráficos, se evidencia que el cuello de botella está en el proceso de ensamble que está operando en todas sus máquinas cercano al 100% y genera bloqueos en los procesos precedentes a él.

Ilustración 8 Dashboard para análisis desempeño de procesos y sus máquinas del modelo base de la planta



Por lo anterior, se decide evaluar alternativas para mejorar la productividad del proceso de ensamble y con ello mejorar el sistema de la planta en estudio.

- **Simulación del proceso mejorado**

En revisión de alternativas a nivel bibliográfico, se encontró que la automatización del proceso de ensamble con la tecnología de robots tiene mucho potencial, sobre todo en procesos de ensamble aún muy manuales como es el caso de esta planta. En la Ilustración 9, se observa el robot propuesto para automatizar el proceso de ensamble de esta planta.

Ilustración 9 Esquema del robot propuesto para automatizar el proceso de ensamble.



FIG.2. Foto Ilustrativa Robot VT6L

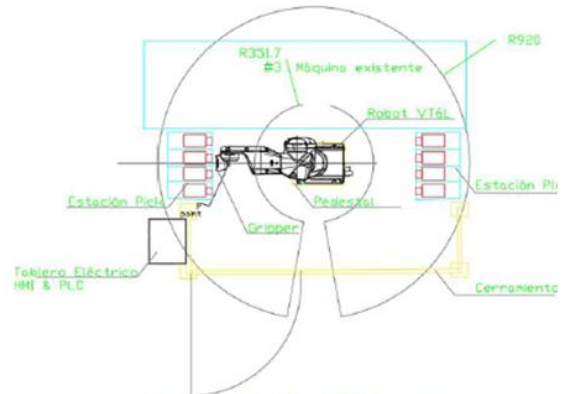
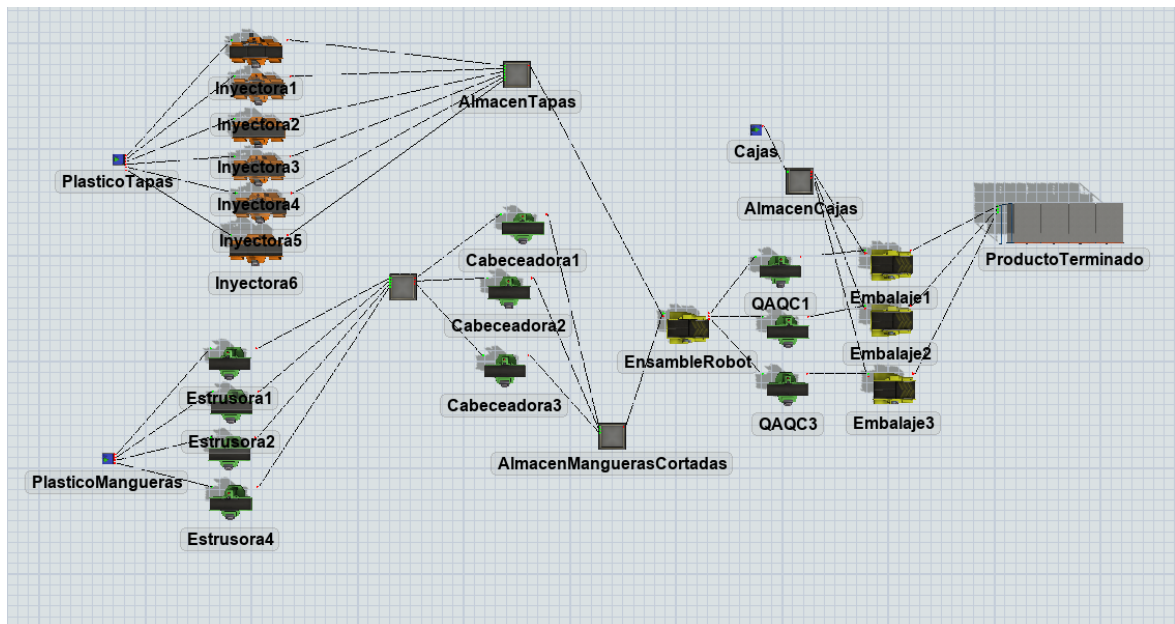


FIG.1. ESQUEMA CONCEPTUAL DEL PROYECTO

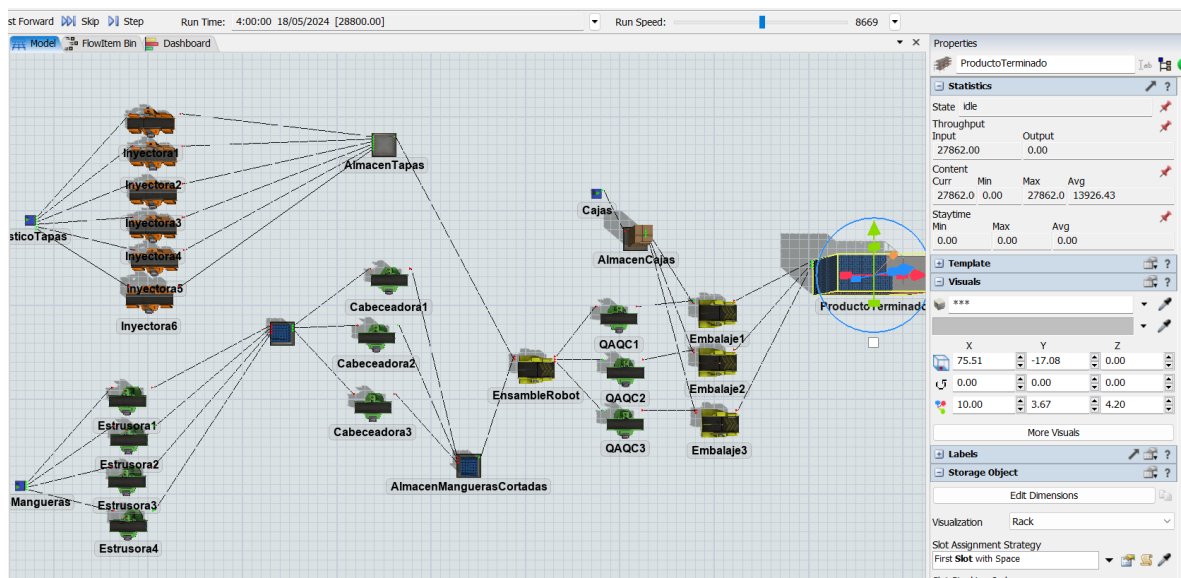
Con base en las pruebas realizadas con el proveedor y casos de éxitos análogos de esta implementación en otras plantas, se estima una capacidad de procesamiento del robot de 0.4 segundos por unidad. Por tanto, en revisión con el equipo se decidió implementar solo una unidad de ensamble automatizado con esta tecnología. En la Ilustración 10, se observa el modelo de simulación en FlexSim ajustado con la implementación del ensamble automatizado con el robot. Es de resaltar, que este modelo fue construido con una licencia comercial adquirida por la Universidad EAN para fines académico investigativo como es el caso de este trabajo de grado.

Ilustración 10 Modelo mejorado de la planta simulado en FlexSim.



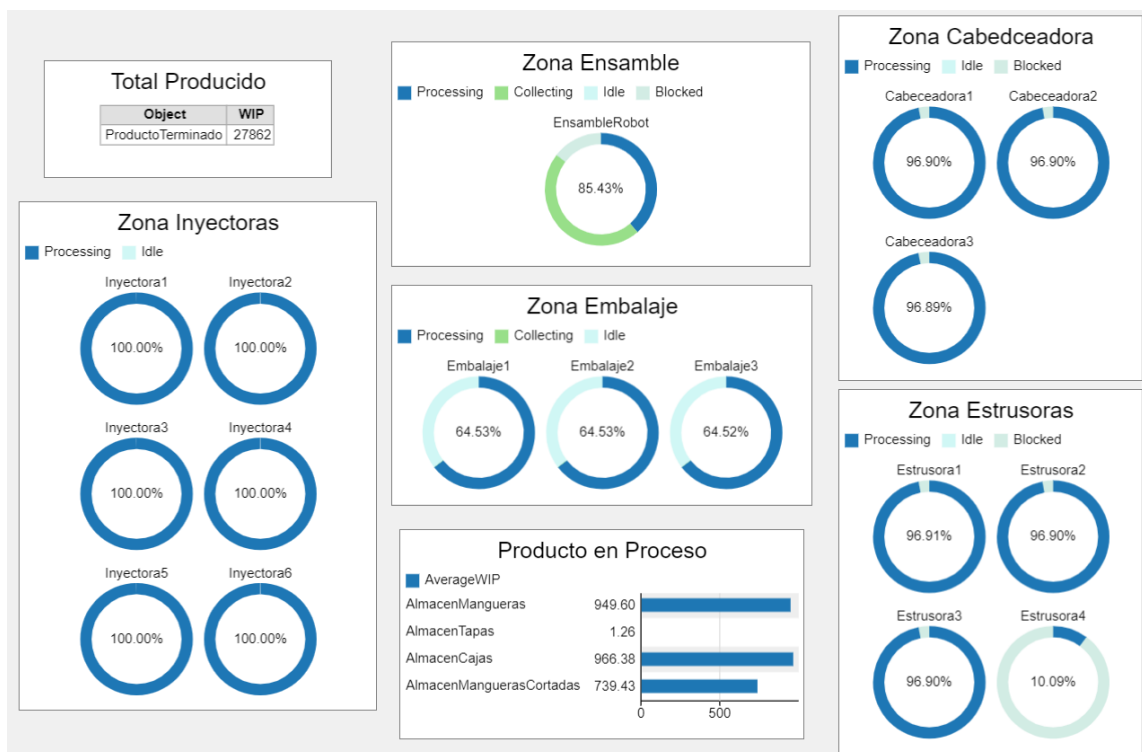
En la Ilustración 11, se observan los resultados del modelo mejorado con la implementación del ensamble automatizado con robot, donde se evidencia un aumento de las unidades de producto terminado de la planta, al pasar de 21012 (modelo base) a 27862 unidades.

Ilustración 11 Resultados de simulación de FlexSim del modelo mejorado de la planta



Adicional y complementando el análisis, en la Ilustración 12 se observa que el cuello de botella que se tenía en el proceso de ensamble fue superado y, debido a la mayor capacidad de procesamiento del robot vs los operadores manuales, se obtuvo el aumento de productividad global de toda la línea de producción cercano al 32%.

Ilustración 12 Dashboard para análisis desempeño de procesos y sus máquinas del modelo mejorado de la planta



Por lo tanto, desde la vista técnica se observa un resultado muy positivo de esta mejora mediante tecnología de la planta y se recomienda realizar análisis económico de esta iniciativa para revisar si es realmente costo efectivo.

9. Análisis de Costos

Se realizó una revisión de opciones de proveedores del robot con la empresa dueña de la planta, donde se seleccionó el mejor proveedor con base en los criterios de las políticas de compras de la empresa dueña de la planta, en los cuales prima la reputación del proveedor en el sector, certificaciones, cumplimiento normativo, servicio postventa y costo de los productos. En la Ilustración 13, se resume en formato tabla los costos para realizar la implementación de un ensamble automatizado con robot, esto incluyo desde la compra del robot mismo hasta el servicio de adecuación e instalación, por un total de \$95.452.000 pesos colombianos + IVA (19%). Es decir, que la inversión total sería de \$113.588.000 pesos colombianos incluyendo IVA.

Ilustración 13 Resumen de costo de la implementación del robot en la planta

ITEM	DESCRIPCION	VALOR UND	CANT	VALOR TOTAL
01	ROBOT EPSON VT6L – 6 EJES CAPACIDAD DE CARGA 6 KG. 1 AÑO DE GARANTIA	\$72.500.000.00	1	\$72.500.000.00
02	GRIPPER PARA TOMAR LOS FRASCOS DE 2, 4 O 6 UNIDADES POR MEDIO DE SISTEMA DE NEUMATICA Y VACIO,	\$10.900.000.00	1	\$10.900.000.00
03	SISTEMA DE CONTROL TABLERO ELECTRICO A 220 VAC CON NEUTRO Y TIERRA, PLC SIEMENS S7-1200, HMI MARCA KINCO DE 7",	\$4.500.000.00	1	\$4.500.000.00
04	INGENIERIA DEL PROYECTO. DISEÑO MECANICO DE CELDA, PROGRAMACION DE LA CELDA.	\$6.500.000.00	1	\$6.500.000.00
05	INSTALACION, TRANSPORTE, PUESTA EN MARCHA	\$3.000.000.00	1	\$3.000.000.00
SUB TOTAL				\$97.400.000.00
DESCUENTO 2%				\$1.948.000.00
VALOR TOTAL				\$95.452.000.00 + IVA

Los anteriores valores NO incluyen IVA.

Incluye integración con instalación, programación, puesta en marcha y entrenamiento del sistema.

Actualmente, el proceso de ensamble manual consta de 4 estaciones que cada una tiene 2 operarios por turno, que se dedica a roscar de forma manual las tapas con las mangueras cortadas entregadas por el proceso precedente. La asignación salarial de estos operarios es del salario mínimo mensual vigente, que para la fecha de este reporte está en \$1.300.000 pesos colombianos, pero, incluyendo los costos administrativos y legales por emplear a cada operario a la empresa debe destinar en total \$2.183.433 pesos colombianos como se evidencia en la Ilustración 14. El plan propuesto es capacitar a unos operarios para que sean operadores de control del robot y los otros optimizarlos.

Ilustración 14 Costo real de los operarios para la empresa.

Total ingreso promedio mensual: \$1.462.000	
IBC parafiscales - IBC seguridad social:	\$1.300.000 ?
Salud obligatoria:	\$110.500
Pensión obligatoria	\$156.000
ARL (Administradora de Riesgos Laborales):	\$90.480
Caja de compensación familiar:	\$52.000
SENA + ICBF	0 ?
Subsidio de transporte:	\$162.000
Vacaciones	\$54.167 ?
Prima de servicios:	\$121.833
Cesantías:	\$121.833
Intereses de cesantías:	\$14.620
COSTO MENSUAL REAL:	\$2.183.433
Nota: el cálculo de la retención en la fuente se estima con el procedimiento del # 1 (Art. # 385 E.T.) y la tabla de retención en la fuente (Art. # 383 E.T.).	

Con base en lo anterior información, se decide realizar el análisis económico de esta inversión asumiendo que el total invertido se realiza mediante un crédito de apalancamiento con tasa de interés del 22% EA. En total se capacitarían 4 de los 8 operarios del ensamble manual para operar el robot y los 4 restantes serían reubicados, los cuales tiene un costo en conjunto para la empresa de \$8.733.732 pesos colombianos. En la Ilustración 15, se evidencia que esta inversión se logra pagar en 15 meses una vez instalado el robot y considerando solo los beneficios de optimización de la nómina.

Ilustración 15 Tabla amortización de la inversión.

Mes	Saldo Inicial	Interes	Abono	Saldo Final
0	113.588.000,00	-	-	113.588.000,00
1	113.588.000,00	1.897.937,79	8.733.732,00	106.752.205,79
2	106.752.205,79	1.783.718,75	8.733.732,00	99.802.192,54
3	99.802.192,54	1.667.591,23	8.733.732,00	92.736.051,77
4	92.736.051,77	1.549.523,34	8.733.732,00	85.551.843,11
5	85.551.843,11	1.429.482,66	8.733.732,00	78.247.593,76
6	78.247.593,76	1.307.436,22	8.733.732,00	70.821.297,98
7	70.821.297,98	1.183.350,51	8.733.732,00	63.270.916,49
8	63.270.916,49	1.057.191,46	8.733.732,00	55.594.375,95
9	55.594.375,95	928.924,42	8.733.732,00	47.789.568,37
10	47.789.568,37	798.514,17	8.733.732,00	39.854.350,54
11	39.854.350,54	665.924,90	8.733.732,00	31.786.543,44
12	31.786.543,44	531.120,21	8.733.732,00	23.583.931,65
13	23.583.931,65	394.063,06	8.733.732,00	15.244.262,71
14	15.244.262,71	254.715,83	8.733.732,00	6.765.246,54
15	6.765.246,54	113.040,26	8.733.732,00	- 1.855.445,20
16	- 1.855.445,20	- 31.002,57	8.733.732,00	- 10.620.179,76

Cabe resaltar, que como se evidencio por medio de las simulaciones en FlexSim, la implementación de este proceso automatizado genera aumento de la productividad al tener mayores unidades de productos terminados al finalizar el turno, lo cual significa que hay mayor ingreso por ventas asumiendo que el precio de venta se conserva. El beneficio económico por el incremental en ventas de la planta también se recomienda tener presente para una evaluación económica de mayor detalle.

10. Conclusiones

- Se realizó una propuesta de mejora del proceso de producción de la planta analizada que aumente la productividad al menor costo posible, mediante la implementación tecnológica de un robot para el proceso de ensamble.
- Se evidenció la importancia de los análisis de tiempo en los estudios de optimización de procesos ya que son la data de entrada fundamental para una simulación exitosa.
- Se realizó con éxito el modelo de simulación base mediante FlexSim de la planta en estudio, evidenciando de forma gráfica que el proceso restrictivo (cuello de botella) es el de ensamble.
- Se analizó una propuesta de implementación tecnológica de un robot de apoyo para el proceso de ensamble que automatice el proceso y mejore la productividad del sistema de producción.
- Se propone la implementación del robot evaluado de forma conceptual mediante el simulador FlexSim para implementarlo en la planta y capturar los beneficios económicos por el aumento de productividad y mejor utilización de los recursos.

11. Recomendaciones

- Se recomienda evaluar opciones de mejora mediante la implementación de tecnología el proceso de inyectoras para hechura de tapas ya que se convirtió en el nuevo cuello de botella.
- Se recomienda evaluar disminuir la capacidad del proceso de extrusoras ya que se observa bastante tiempo en bloqueo y/o ocio para optimizar consumo energético y/o unidades en proceso en el almacén.
- Se recomienda integrar en la evaluación económica los beneficios asociados a las mayores ventas producto del aumento de productividad.
- Se recomienda evaluar un modelo de simulación en FlexSim avanzado con métodos de aprendizaje estadístico para complementar los análisis de optimización realizados en este trabajo.

Referencias

- Maćków, J. (2023). Simulation as a tool supporting business decisions. Retrieved from <https://doi-org.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/10.1016/j.procs.2023.09.097>
- Agostino, M. G. (2015). The Importance of Being a Capable Supplier: Italian Industrial Firms in Global Value Chains. *International Small Business Journal*.
- Análisis de la eficiencia de un sistema de producción mediante simulación con FlexSim*. (n.d.). Retrieved from <https://flexsim.website/aumenta-la-eficiencia-en-produccion-optimizando-caminos-del-operador-con-flexsim/>
- Ariza Sanchez, O. E., Bernal Montañez, Y. P., & Valbuena Villamarín, C. A. (2023). *Propuesta de optimización del proceso de fabricación de tapas para licores mediante la redistribución en planta de una línea de producción*. Universidad EAN. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10882/12755>
- Autodesk Company, F. (2022). *Competitive Advantage in Manufacturing*. Retrieved from HOW QUADRILLION PARTNERS TRANSFORMED A COMPANY'S MANUFACTURING FLEXIBILITY: <https://www.flexsim.com/es/casos-de-estudios-/competitive-advantage-manufacturing-flexibility/>
- Autodesk Company, F. (2023). *Finding Increased Throughput*. Retrieved from HOW SKARNES, INC. VALIDATED AN IMPACTFUL SYSTEM CHANGE USING SIMULATION: <https://www.flexsim.com/es/casos-de-estudios-/increased-throughput-material-handling/>
- Autodesk, F. (2022). *Competitive Advantage in Manufacturing, HOW QUADRILLION PARTNERS TRANSFORMED A COMPANY'S MANUFACTURING FLEXIBILITY*. Retrieved from <https://www.flexsim.com/es/casos-de-estudios-/competitive-advantage-manufacturing-flexibility/>
- Baron, A., & Zapata, J. (2021). *Propuesta de redistribución de planta en una empresa del sector textil colombiano*. Universidad ICESI. Retrieved from https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/75757/1/propuesta_redistribucion_planta.pdf
- Choi, D. &. (2017). Application of FlexSim Simulation Software in Manufacturing Systems: A Review. *Journal of Simulation*.

- Da Silva, D., Vieira, R., Vieira, A., & De Santiago, M. (2016). Optimization of the Innovation Process for Internal Projects in Companies.
- Diversidad Cultural y Bienestar Laboral en Colombia. (2020). *DANE*.
- Encuesta Nacional de Condiciones de Trabajo. (2019). *Ministerio del Trabajo de Colombia*.
- Encuesta Nacional de Condiciones de Trabajo. (2019). *Ministerio del Trabajo de Colombia*.
- Estudio de Mercado del Sector de Envases Plásticos en Colombia. (2021). *Asociación Nacional de Industriales*.
- Febres Eguiguren, J., Ochoa Ramirez, R., & Ledesma Ayora, F. (2010). *Propuestas de mejora del proceso productivo en la empresa Press Forja S.A. utilizando el software Flexsim Manufacturing como herramienta para la toma de decisiones*. Retrieved from <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/3316>
- Fontalvo, T., De la Hoz, E., & Morales, J. (2018). La Productividad y sus factores: incidencia en el mejoramiento organizacional.
- García, R. e. (2019). Optimization of Manufacturing Processes using FlexSim Simulation Software. *Procedia Manufacturing*.
- Gestión de Residuos Plásticos en la Industria de Envases Cosméticos. (2019). *Revista de Gestión Ambiental*.
- Gong, X., Van der Wee, M., Pessemier, T., Verbrugge, S., Colle, D., Martens, L., & Joseph, W. (2017). Energy- and Labor-aware Production Scheduling for Sustainable Manufacturing: A Case Study on Plastic Bottle Manufacturing. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.136>.
- González Neira, E., & Aguirre Mayorga, H. (2004). *Propuesta para el mejoramiento de los procesos productivos de la Empresa Servioptica Ltda*. Pontificia Universidad Javeriana Bogotá. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10554/7118>
- Gupta, A., & Jain, P. K. (2018). *Mejora de la productividad mediante la optimización de procesos en una industria del plástico*. Retrieved from *Revista Internacional de Investigación y Desarrollo de Ingeniería Mecánica y de Producción*.
- Impacto Social y Cultural de la Industria en las Comunidades Locales. (2020). *Universidad Nacional de Colombia*.
- Impacto Social y Cultural de la Industria en las Comunidades Locales. (2020). *Universidad Nacional de Colombia*.

- Informe de Estabilidad Económica de Colombia. (2021). *Banco de la República de Colombia*.
- Informe Económico del Sector Manufacturero en Colombia. (2020). *Cámara de Comercio de Bogotá*.
- Informe Económico del Sector Manufacturero en Colombia. (2020). *Cámara de Comercio de Bogotá*.
- Johnson, B. &. (2020). Enhancing Manufacturing Efficiency through Simulation Modeling: A FlexSim Approach. *Journal of Manufacturing Systems*.
- Martínez, M. A. (2018). *Simulación con Flexsim, una nueva alternativa*. México: Instituto Politécnico Nacional.
- Martínez, M. A. (2018). *Simulación con Flexsim, una nueva alternativa*. Mexico: Instituto Politécnico Nacional.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). *Normativa Ambiental en Colombia*.
- Normas de Responsabilidad Social Corporativa en Colombia. (2021). *ICONTEC*.
- Normativa de Salud Ocupacional en Colombia. (2020). *Ministerio del Trabajo de Colombia*.
- Normativa Legal para la Industria Manufacturera en Colombia. (2020). *Ministerio de Comercio, Industria y Turismo de Colombia*.
- OIT. (2021). *Guía para la Prevención de Riesgos Laborales en la Industria Manufacturera*.
- Ondov, M. R. (2022). Redesigning the Production Process Using Simulation for Sustainable Sustainability. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/su14031514>
- Protección de la Propiedad Intelectual en Colombia. (2021). *Superintendencia de Industria y Comercio de Colombia*.
- Rao, P. S., Rao, P. S., & Faulin, J. (2019). *Plastics in packaging: its environmental impact and technological opportunities*. " *Journal of Cleaner Production*.
- Render, B., & Heizer, J. (2014). *Principos de Administración de Operaciones*. Pearson.
- Rizqi, Z. U. (2019). Evaluation of redesign layout using discrete event simulation (EDS).
- Robinson, S., Crowther, P., & Simangunsong. (2019). *Simulation: The practice of model development and use*. Retrieved from https://lmsspada.kemdikbud.go.id/pluginfile.php/123916/mod_label/intro/simulation-the-practice-of-model-development-and-use.9780470847725.21800.pdf
- Smaili, F. I. (2020). Utilization of FlexSim Software to Identify the Suitable Layout Planning of Production Line.

- Smith, A. e. (2018). Simulation-Based Optimization in Manufacturing Systems. *International Journal of Production Research*.
- Stadnicka, D., & Antonelli, D. (2015). Application of Value Stream Mapping and Possibilities of Manufacturing Processes Simulation in Automotive Industry. *FME Transactions*.
- Taha, H. A. (2017). *Operations Research An Introduction* (Decima ed.). Pearson Education Limited.
- Utku, D. H. (2023). The Evaluation and Improvement of the Production Processes of an. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/su15032331>.
- Velásquez. (2020). Impacto Ambiental de la Industria de Envases Plásticos en Colombia. *Revista de Medio Ambiente*.
- Velásquez, P. e. (2020). mpacto Ambiental de la Industria de Envases Plásticos en Colombia. *Revista de Medio Ambiente*.