

Propuesta de mejora del acondicionamiento secundario de medicamentos empleando modelos de simulación discreta, para un operador logístico en Cali

Proposal to improve the secondary packaging of medicines using discrete simulation models, for a logistics operator in Cali

Susan Alejandra Arcos Muñoz¹
susan.arcos00@usc.edu.co

Lisdey Pantoja Narváez²
lisdey.pantoja00@usc.edu.co

Valeria Rengifo Gómez³
valeria.rengifo00@usc.edu.co

Wilfredo Guaita⁴
wilfredo.guaita00@usc.edu.co

Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Industrial (1)

Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Industrial (2)

Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Industrial (3)

Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Industrial (4)

Resumen

Este documento presenta un estudio exhaustivo sobre la optimización del proceso de acondicionamiento secundario en la maquila de medicamentos. El objetivo general es identificar y mitigar cuellos de botella y áreas de ineficiencia para aumentar la capacidad instalada de producción. Empleando un enfoque metodológico basado en la simulación mediante el software FlexSim, se analizan detalladamente los procesos de empaque secundario de tres productos farmacéuticos. Las simulaciones se validan contra el modelo conceptual y las operaciones reales para asegurar precisión en la predicción de mejoras. Las conclusiones del estudio revelan áreas críticas donde se necesitan intervenciones, como el control y aceptación de blísteres y el almacenamiento. Se proponen mejoras que incluyen la optimización de procesos mediante la automatización, la redistribución de tareas entre operarios, y el aumento de la capacidad de almacenamiento. Estas mejoras proyectan un aumento significativo en la productividad y eficiencia del sistema de acondicionamiento secundario, reflejado en un incremento de la capacidad instalada de 40,75% a 81,5%.

Palabras clave: acondicionamiento secundario, optimización de procesos, simulación, FlexSim, eficiencia operativa.

Abstracts

This document presents a comprehensive study on optimizing the secondary packaging process in the pharmaceutical co-packing industry. The main objective is to identify and mitigate bottlenecks and areas of inefficiency to increase the installed production capacity. Using a methodological approach based on simulation through FlexSim software, the secondary packaging processes of three pharmaceutical products are meticulously analyzed. The simulations are validated against the conceptual model and real operations to ensure accuracy in predicting improvements. The study's conclusions reveal critical areas requiring interventions, such as blister control and acceptance and storage. Proposed improvements include process optimization through automation, redistribution of tasks among operators, and increased storage capacity. These enhancements are projected to significantly increase productivity and efficiency in the secondary packaging system, reflected in an increase in installed capacity from 40.75% to 81.5%.

Keywords: secondary packaging, process optimization, simulation, FlexSim, operational efficiency.

1. INTRODUCCIÓN

El sector farmacéutico colombiano ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años, consolidándose como uno de los más importantes en Latinoamérica. Con más de 100 compañías farmacéuticas operando en el país, Colombia ocupa un lugar destacado en el mercado regional. Según estimaciones de Statista, se prevé que el sector farmacéutico alcance ingresos de 2.531 millones de dólares durante el presente año, con una tasa de crecimiento anual prevista del 2,25%, lo que podría elevar el valor del mercado a 2.767 millones de dólares hacia el año 2027. Se espera que los medicamentos para el tratamiento del cáncer experimenten el mayor crecimiento, alcanzando un valor de mercado de 394 millones de dólares al finalizar este año. En 2021, la industria farmacéutica en Colombia generó 14.3 billones de pesos, gracias a la operación de 22 laboratorios líderes, los cuales se cuentan entre las compañías más significativas del país según lo reportado por la Superintendencia de Sociedades en su último informe publicado en junio del año anterior (Solano Betancourt, 2023).

La complejidad de la logística farmacéutica es inherente a la naturaleza de los productos que maneja este sector. Los medicamentos, por su particularidad, requieren un manejo logístico especializado que va más allá de la simple distribución de mercancías. Desafíos como el estricto control de temperatura durante el transporte y almacenamiento, el cumplimiento riguroso de los plazos de entrega, la prevención de roturas de stock y la protección contra el robo y la falsificación, plantean desafíos únicos para la gestión logística en el ámbito farmacéutico.

Dentro de los procesos logísticos farmacéuticos, el acondicionamiento secundario de medicamentos emerge como una etapa crítica. Esta fase no solo implica la preparación física de los productos para su distribución, sino que también involucra el marcaje de blísteres y cajas de medicamentos con datos esenciales para la regulación y entrega de medicamentos en el contexto de salud colombiano.

El marcaje de blísteres y cajas de medicamentos es una etapa crucial del acondicionamiento secundario. Este proceso supone la rotulación de cada unidad con información detallada, como el uso institucional del medicamento, la fecha de fabricación y de expiración del lote, así como otros elementos significativos para la regulación de la entrega de medicamentos en el sistema de salud colombiano. Estos datos no solo son vitales para garantizar la seguridad y trazabilidad de los productos farmacéuticos, sino que también son requisitos reglamentarios que deben cumplirse estrictamente.

En el marco de esta investigación, se llevará a cabo un estudio sobre los desafíos específicos asociados al acondicionamiento secundario de medicamentos en un operador logístico farmacéutico. Se identificarán problemas críticos como la eficiencia en el empaquetado, la precisión del etiquetado y el cumplimiento de las normativas vigentes. El objetivo es desarrollar soluciones prácticas que mejoren significativamente estos procesos, incrementando la eficiencia operativa y garantizando el cumplimiento normativo. Se utilizarán análisis de procesos y modelado de simulación discreta para evaluar las mejoras propuestas y su impacto en la cadena de suministro farmacéutica.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Tipo de estudio

Es un estudio de tipo descriptivo, en tanto busca generar conocimientos prácticos dirigidos a resolver un problema específico: mejorar el proceso de acondicionamiento secundario de medicamentos (Hernández et al., 2014), a partir de una metodología cuantitativa, para medir y analizar los tiempos de operación y eficiencia del proceso. Con un diseño no experimental, transversal. Se observan y analizan los procesos sin manipular de manera directa las variables, evaluando el estado actual del sistema de acondicionamiento secundario.

2.2 Técnicas e instrumentos de recolección de información

Observación directa: para comprender el proceso actual y detectar posibles cuellos de botella en la línea de acondicionamiento secundario.

Entrevistas semiestructuradas: con el personal involucrado en el proceso (coordinadores, técnicos y operadores) para recoger información cualitativa sobre los desafíos y oportunidades de mejora.

Análisis de documentos: revisión de registros de producción y reportes de calidad para obtener datos históricos y cuantitativos.

Software de simulación: utilización del software FlexSim para modelar el proceso actual y simular escenarios de mejora.

2.3 Población y muestra

La población incluye todos los procesos y personal involucrado en el acondicionamiento secundario de medicamentos en el operador logístico. La muestra se especifica a una o varias líneas de acondicionamiento secundario, seleccionadas por su relevancia o por presentar mayores desafíos operativos.

2.4 Fases de la investigación

Fase I. Diagnóstico inicial: se realizó la evaluación del estado actual del proceso de acondicionamiento secundario mediante observación directa y entrevistas.

Fase II. Recolección de datos: se utilizaron técnicas cuantitativas y cualitativas para recoger información sobre los procesos, percepciones del personal y datos históricos de operación.

Fase III. Simulación del proceso actual: se modeló el proceso actual en el software de simulación seleccionado para identificar ineficiencias y cuellos de botella.

Fase IV. Desarrollo de escenarios de mejora: se creó un modelo alternativo que incorpora las mejoras propuestas para comparar su eficacia frente al modelo actual.

Fase V. Análisis y comparación de resultados: se evaluaron los resultados obtenidos en los escenarios simulados (real y propuesto) para determinar las mejores prácticas y recomendaciones de mejora.

Fase VI. Propuesta de mejora: se formularon recomendaciones específicas para optimizar el proceso de acondicionamiento secundario, basadas en el análisis de la simulación y los datos recogidos, con el propósito de incrementar la capacidad instalada de la maquila de acondicionamiento secundario.

3. MARCO REFERENCIAL

3.1 Estado del arte

Uno de los estudios referidos al tema de simulación es el presentado por Corrotea et al. (2024), quienes se refieren al análisis del proceso de mantenimiento en una empresa de carga portuaria utilizando la simulación de eventos discretos, una técnica valiosa tanto en el ámbito logístico como en la mejora del mantenimiento industrial. La introducción del estudio plantea un escenario donde la complejidad de las tareas de mantenimiento aumenta debido a las operaciones continuas a lo largo del año. Tradicionalmente, la industria se ha basado en el Mantenimiento Correctivo (CM) para reparaciones inmediatas, sin embargo, esto resulta insostenible debido a los altos costos asociados con las detenciones inesperadas del proceso. Por ello, se señala la necesidad de modificar las prácticas de mantenimiento para equilibrar la disponibilidad del equipo con la mínima interrupción del proceso, evolucionando hacia un enfoque que permita un alto nivel de disponibilidad y reducción de costos. La compañía objeto de estudio ha recurrido exclusivamente al mantenimiento correctivo, pero busca transicionar hacia el Mantenimiento Preventivo Programado (PPM) para mejorar continuamente el proceso. La investigación busca identificar las desviaciones que incrementan los costos indirectos de producción, impiden la ejecución del mantenimiento y causan paradas prolongadas de equipos críticos, todo lo cual reduce la eficiencia de producción. El desarrollo de un modelo del proceso de mantenimiento es fundamental para evaluar el desempeño y gestionar el mantenimiento de manera eficaz. Por consiguiente, se creó un modelo de simulación de eventos discretos para proponer mejoras en el proceso de mantenimiento y evaluar alternativas para reducir los costos indirectos en la producción. La empresa Iquique Terminal Internacional (ITI) se presenta como un caso práctico donde el proceso de mantenimiento es crucial para garantizar la disponibilidad y confiabilidad del equipo dentro del proceso productivo.

Este estudio subraya la importancia de adoptar modelos de simulación en la gestión del mantenimiento para predecir el comportamiento real del proceso ante cambios o mejoras, permitiendo una toma de decisiones más informada y efectiva. La metodología propuesta tiene el potencial de ser aplicada en diversos contextos industriales para optimizar los procesos de mantenimiento, asegurando así la eficiencia y la rentabilidad de las operaciones.

Tomando en cuenta otra de las variables analizadas, se tienen los hallazgos de estudios que abordan el uso de motores de simulación para la resolución de diferentes problemas. Uno de estos trabajos es el que desarrollaron De Faria et al. (2024), quienes abordaron la importancia de planificar logísticas sostenibles a nivel nacional para la exportación de granos en Brasil, destacando la necesidad de flexibilidad para manejar incertidumbres en un entorno de operaciones dinámicas. Tradicionalmente, las soluciones se han centrado en la optimización, pero a menudo no se toman en cuenta los requisitos de espera o cola. El documento introduce un enfoque de simulación-optimización para planificar la cadena de exportación de granos intermodal brasileña, integrando camiones, ferrocarriles y operaciones en terminales portuarias. El

estudio evalúa un escenario base con el objetivo de minimizar las emisiones de CO₂ en el transporte ferroviario mientras se satisfacen las demandas, junto con tres escenarios de planificación alternativos que consideran la retracción, tendencia y expansión de la demanda. Los resultados del escenario base indican una reducción en las emisiones de CO₂ de 66.8 kilo toneladas por año, al tiempo que aumentan las exportaciones en un 2.51% (aproximadamente 146 kilo toneladas de granos por año) y contribuyen al beneficio en \$43.82 millones a corto plazo. El análisis de escenarios abre la discusión sobre inversiones sostenibles en transporte intermodal a mediano y largo plazo. El enfoque propuesto se presenta como adecuado para otras cadenas de suministro de commodities, representando un paso hacia la aplicación consistente de planificación de la cadena de suministro orientada al medio ambiente.

Este estudio resalta la viabilidad y los beneficios de adoptar estrategias de planificación logística sostenibles que integren diversas modalidades de transporte, enfatizando la reducción de emisiones de CO₂ y el incremento en la eficiencia y rentabilidad de las operaciones de exportación de granos. La metodología de simulación-optimización ofrecida aquí promete ser una herramienta valiosa para enfrentar los desafíos logísticos contemporáneos, promoviendo al mismo tiempo la sostenibilidad en la cadena de suministro global.

Ordu et al. (2023), mencionan que la última década ha presentado desafíos sin precedentes en la gestión hospitalaria en el Reino Unido, particularmente en lo que respecta a equilibrar la demanda de servicios con la capacidad disponible. Esta situación ha llevado a la incapacidad de los hospitales para atender adecuadamente a todos los pacientes debido a limitaciones de recursos. En respuesta a esta problemática, se desarrolló un sistema integral de apoyo a la toma de decisiones destinado a los hospitales, diseñado para evaluar y atender las necesidades de las poblaciones locales. Este sistema se fundamenta en un enfoque de pronóstico comparativo y la utilización de un modelo de simulación de eventos discretos, alimentado por estadísticas de episodios hospitalarios y datos locales. Este enfoque de modelado de simulación, destacado por su nivel de innovación, no tenía precedentes en el ámbito hospitalario. El proceso comenzó con la predicción de las necesidades de todas las especialidades hospitalarias, cuyos resultados se utilizaron como insumos para el modelo de simulación.

A continuación, se elaboró un modelo que captura el recorrido de los pacientes a través de todas las especialidades, integrando cada componente hospitalario para optimizar el uso de recursos limitados, como el personal y las camas disponibles. Los resultados obtenidos del modelo de simulación indicaron la posibilidad de que los hospitales satisfagan la creciente demanda utilizando sus recursos actuales. El análisis de diferentes escenarios proyectó que la tasa de ocupación de camas alcanzaría el objetivo nacional del 85%, mientras que los ingresos totales del hospital aumentarían en un 13%, con incrementos significativos en la atención de emergencias y pacientes ambulatorios, así como en la demanda de atención a pacientes hospitalizados.

Este estudio concluye que los modelos de simulación a nivel hospitalario representan una herramienta vital para los responsables de la toma de decisiones, permitiendo la prestación de servicios hospitalarios más eficientes en Inglaterra y potencialmente en otros contextos internacionales. Este precedente subraya la relevancia de los modelos de simulación no solo en la gestión hospitalaria sino también en otras áreas de la logística y la cadena de suministro, como el acondicionamiento secundario de medicamentos, proporcionando un marco útil para aplicar técnicas similares en la optimización de procesos logísticos.

Wuennenberg et al. (2023), examinaron cómo los sistemas de logística interna tradicionalmente han sido planificados con la ayuda de simulaciones. Sin embargo, con el aumento de la digitalización, se observa una tendencia creciente hacia herramientas orientadas a datos, como la minería de datos y la minería de procesos. Estas herramientas ofrecen enfoques novedosos y prometedores, por ejemplo, para la detección de cuellos de botella en los procesos. A pesar de sus ventajas, estas herramientas requieren cantidades sustanciales de datos de procesos, los cuales, en sistemas del mundo real, a menudo no se pueden proporcionar con la calidad suficiente. En respuesta a esta limitación, el artículo propone una metodología que permite combinar la minería de procesos y la simulación, centrándose en minimizar el esfuerzo necesario para el procesamiento de datos y en obtener y verificar mejoras significativas y contextualmente relevantes. Esta metodología se aplica luego a un ejemplo práctico, proporcionando una base para evaluar su esfuerzo y utilidad. El enfoque híbrido de integrar minería de procesos con simulación abre nuevas vías para el análisis y la mejora de sistemas logísticos internos, superando los desafíos presentados por la falta de datos de alta calidad. Al reducir el esfuerzo necesario para el procesamiento de datos y facilitar la identificación de mejoras prácticas, esta metodología representa un avance significativo en la planificación de sistemas logísticos más eficientes y efectivos.

El estudio llevado a cabo por Caucaí (2022) se centró en investigar cómo se puede mejorar la eficiencia operativa en los tiempos de procesos de acondicionamiento secundario dentro de un operador logístico específico. Para alcanzar este fin, la investigación se dividió en varias fases clave. Inicialmente, se llevó a cabo un diagnóstico preliminar de la operación

de acondicionamiento, donde se recogieron datos directamente del proceso en curso para evaluar la situación actual de la empresa y establecer un punto de referencia. Posteriormente, se realizó un análisis detallado de los procesos y actividades rutinarios en la operación de acondicionamiento que resultaban en retrasos en la entrega de productos al almacén, identificando de esta manera los procesos críticos que necesitan atención. Una de las principales deficiencias encontradas fue la ausencia de un plan estructurado para la programación del acondicionamiento por líneas de producción. Esta situación se atribuyó a la falta de información precisa sobre los tiempos requeridos para cada proceso y a la carencia de un control adecuado sobre las actividades que deben llevarse a cabo. Además, se observó que la planificación de las operaciones de acondicionamiento se determinaba en gran medida por las demandas inmediatas de los clientes o las necesidades del almacén, lo que indicaba una gestión reactiva en lugar de proactiva.

Los hallazgos revelan una necesidad crítica de desarrollar un sistema estructurado para la programación de acondicionamiento que tenga en cuenta los tiempos específicos de cada proceso y mejore el control sobre las operaciones. Este enfoque no solo ayudaría a optimizar los tiempos de entrega sino también a incrementar la eficiencia general de la maquila de acondicionamiento. Como contribución al proceso, el estudio sugiere la implementación de herramientas de planificación y seguimiento más rigurosas, basadas en datos precisos y análisis detallado de los procesos operativos. En conclusión, el estudio subraya la importancia de una planificación detallada y una gestión eficaz en las operaciones de acondicionamiento secundario para mejorar la eficiencia y la capacidad de respuesta a las necesidades del cliente. Al abordar las deficiencias identificadas y adoptar un enfoque más estructurado y basado en datos, el operador logístico puede lograr mejoras significativas en sus tiempos de procesamiento y en la satisfacción del cliente.

3.2 Marco teórico / conceptual

Logística y cadena de suministro

La logística y la cadena de suministro son disciplinas fundamentales en la gestión de operaciones modernas. Según Ballou (2004), estas disciplinas se centran en la optimización de los flujos de productos, información y recursos financieros desde el punto de origen hasta el punto de consumo, con el objetivo de satisfacer las demandas de los clientes de la manera más eficiente y efectiva posible. Ballou enfatiza la importancia de la planificación integrada y la ejecución coordinada de todas las actividades logísticas, incluyendo el transporte, el almacenamiento, la gestión de inventarios, el manejo de materiales, el embalaje y la logística inversa.

Christopher (2011) complementa esta visión destacando que la logística y la cadena de suministro son clave para lograr una ventaja competitiva sostenible. Argumenta que la integración y la coordinación de las actividades logísticas son cruciales para minimizar los costos y maximizar el servicio al cliente. Además, destaca la relevancia de la toma de decisiones basada en datos y el análisis de costos-beneficios para determinar las estrategias logísticas más apropiadas.

Las tecnologías de la información han transformado la gestión de la cadena de suministro, permitiendo una mayor visibilidad, trazabilidad y eficiencia en los procesos logísticos. Ballou (2004) argumenta que el uso efectivo de sistemas de información puede mejorar significativamente la coordinación y la colaboración entre los socios de la cadena de suministro, resultando en una mayor flexibilidad y capacidad de respuesta a las cambiantes demandas del mercado.

En el contexto de la presente investigación, los postulados de Ballou y Christopher se aplican a la optimización de los flujos de productos desde el punto de origen hasta el punto de consumo, traduciendo esto en la mejora del proceso de acondicionamiento secundario. La implementación de mejoras basadas en la simulación de operaciones puede aumentar significativamente la eficiencia y reducir los tiempos de procesamiento. Además, la coordinación entre las diversas actividades logísticas es crucial; esto significa integrar el acondicionamiento secundario con otras operaciones logísticas como el transporte, almacenamiento y gestión de inventarios, para asegurar una cadena de suministro fluida y sin interrupciones que responda a las necesidades del cliente.

Acondicionamiento secundario de medicamentos

El acondicionamiento secundario de medicamentos implica todas las actividades de empaquetado que no están directamente en contacto con el producto primario. Esto incluye el embalaje secundario, etiquetado y serialización, que son críticos para la seguridad y eficacia del medicamento. Según Aguezoul (2014), este proceso es esencial para cumplir con las regulaciones de la industria farmacéutica y garantizar la entrega de medicamentos seguros y efectivos.

El acondicionamiento secundario asegura que los medicamentos se preparen y distribuyan de manera eficiente y conforme a las regulaciones. La implementación de mejoras basadas en la simulación de operaciones puede aumentar significativamente la eficiencia y reducir los tiempos de procesamiento. La adopción de tecnologías avanzadas puede facilitar la gestión de la cadena de suministro, incluyendo sistemas de gestión de la información que permiten el

seguimiento y control de los procesos, desde el ingreso de las materias primas hasta la distribución de los productos terminados, asegurando la calidad y la conformidad con las regulaciones.

Logística

La cual se concibe como el proceso de administrar y controlar el flujo de productos e información desde el punto de origen hasta un punto de consumo asegurando que no se presente desabastecimiento a través de la red de valor, supliendo la necesidad de los clientes con la máxima eficiencia, dentro de la logística se estructuran distintos eslabones que intervienen en la red de valor, tales como proveedores, empresa focal, centros de distribución y clientes, allí se hará énfasis en los centros de distribución (Christopher, 2011).

Simulación de operaciones logísticas

En un entorno empresarial globalizado, la adaptabilidad y respuesta rápida a los cambios son esenciales. La simulación de operaciones logísticas emerge como una herramienta crucial, no solo para la formación profesional sino también para la planificación y optimización de sistemas complejos. La simulación permite a las empresas anticiparse a los desafíos, evaluando el impacto de diversas decisiones sin alterar las operaciones reales.

Marwala (2013) introduce la idea de la toma de decisiones racional en la simulación, argumentando que la decisión óptima se basa en un análisis profundo de la información disponible, facilitado por modelos de simulación. Estos modelos permiten una exploración exhaustiva de posibles soluciones y sus consecuencias, destacando la importancia de la simulación en el desarrollo de estrategias logísticas eficientes y la gestión de operaciones.

La capacidad para simular escenarios ofrece a las organizaciones una ventaja estratégica significativa. Según Merkuryev et al. (2009), la simulación basada en computadora imita operaciones de sistemas reales o hipotéticos, proporcionando una forma efectiva de analizar la eficiencia, detectar cuellos de botella y prever el resultado de cambios antes de implementarlos físicamente. Law y Kelton (2000) resaltan que, a diferencia de métodos analíticos tradicionales, la simulación permite un estudio detallado de sistemas con una alta interdependencia de variables y comportamientos estocásticos, sin necesidad de simplificaciones que distorsionen la realidad del sistema estudiado.

Fonseca (2000) afirma que los entornos de simulación fomentan el desarrollo de habilidades críticas como el pensamiento analítico y la resolución de problemas, permitiendo a profesionales y estudiantes enfrentarse a problemas complejos de manera práctica. Este enfoque de aprendizaje refuerza el conocimiento teórico con la experiencia práctica, preparando a los individuos para tomar decisiones informadas en entornos logísticos reales.

La simulación se convierte, entonces, en una herramienta indispensable para la experimentación y el análisis en el campo de la logística. Permite a las empresas y a los educadores crear escenarios realistas donde se pueden evaluar distintas variables de decisión y su impacto en el sistema, como tiempos de procesamiento, capacidad de almacenamiento, rutas de distribución y más. Esto no solo mejora la toma de decisiones sino que también contribuye a una planificación más efectiva y a la optimización de recursos.

La implementación de la simulación en la logística representa un paso hacia la innovación y mejora continua, al permitir a las organizaciones adaptarse y responder de manera proactiva a los desafíos de un mercado en constante evolución. Con la simulación, las empresas pueden mejorar su desempeño, reducir costos y aumentar su competitividad en el ámbito global.

Simulación determinística

La simulación determinística es un tipo de modelado que no incorpora la variabilidad aleatoria y produce el mismo resultado cada vez que se ejecuta, dado un conjunto de condiciones iniciales (Banks, 1984). Es útil cuando los sistemas se pueden describir completamente por ecuaciones matemáticas sin incertidumbre (Law & Kelton, 2000).

Se utiliza principalmente en áreas donde los procesos son bien entendidos y no sujetos a fluctuaciones aleatorias significativas, como la ingeniería, la planificación de proyectos y algunas áreas de la economía. Es especialmente útil para problemas donde la precisión y la repetibilidad son cruciales.

Simulación de Eventos Discretos (DES)

La simulación de eventos discretos (DES) modela el funcionamiento de un sistema como una secuencia de eventos en el tiempo. Cada evento ocurre en un instante particular y marca un cambio de estado en el sistema. Es adecuada para sistemas donde los cambios ocurren en momentos específicos, no de forma continua (Fonseca, 2000).

DES se utiliza ampliamente en la investigación operativa y la gestión de sistemas complejos, tales como líneas de

producción, sistemas logísticos, y servicios de salud. Permite a los gerentes y planificadores analizar el comportamiento del sistema bajo diversas condiciones y optimizar el rendimiento del sistema.

Software de simulación

Entre los softwares de simulación más conocidos se tiene:

FlexSim: es un software de simulación 3D que se utiliza para modelar, analizar y mejorar cualquier sistema logístico. FlexSim ofrece una plataforma visual e interactiva que facilita la simulación de procesos de manufactura, logística, almacenamiento y más, ayudando a identificar cuellos de botella, optimizar flujos de trabajo y mejorar la toma de decisiones (Tikaz et al., 2012).

Características Principales de FlexSim

Interfaz de Modelado 3D:

FlexSim permite a los usuarios crear modelos tridimensionales realistas que emulan el aspecto y funcionamiento de sistemas reales. Esto facilita la visualización y comprensión de los procesos logísticos y de manufactura (Beaverstock et al., 2010).

El software incluye una biblioteca de objetos estándar, cada uno con lógica y ejecución de tareas preconfiguradas, lo que simplifica el proceso de creación de modelos. Los usuarios pueden personalizar estos objetos mediante listas desplegables, ventanas de propiedades y disparadores para representar con precisión los sistemas reales (Hisiang-Hsi et al., 2013).

FlexSim proporciona una suite completa de herramientas de análisis que incluye gráficos y tablas para visualizar los datos de las simulaciones (Tokgöz, 2021). Además, permite probar escenarios de "qué pasaría si" para encontrar las mejores soluciones posibles en el mundo real. La integración con el motor de optimización OptQuest facilita la evaluación de múltiples soluciones potenciales, ayudando a encontrar la mejor opción para los procesos modelados (Kaczmar, 2019).

Aplicaciones de FlexSim

Logística y distribución:

FlexSim se utiliza para modelar operaciones en centros de distribución, diseño de cadenas de suministro, y flujos de trabajo en almacenes. Permite a las empresas analizar y optimizar sus operaciones logísticas para mejorar la eficiencia y reducir costos.

En el ámbito de la manufactura, FlexSim ayuda a modelar y optimizar procesos de producción, identificando cuellos de botella y mejorando el flujo de trabajo. Esto es crucial para aumentar la productividad y la eficiencia operativa.

FlexSim facilita la simulación de sistemas de manejo de materiales, como sistemas de transporte y almacenamiento, ayudando a optimizar el diseño y operación de estos sistemas para mejorar la eficiencia logística (Huang et al., 2021).

ExtendSim Pro: anteriormente conocido como Extend, es un programa de simulación para modelar procesos de eventos discretos, continuos, basados en agentes, de velocidad discreta y de modo mixto. Hay tres paquetes ExtendSim: CP para procesos continuos; DE que agrega tecnología de eventos discretos; y Pro, que agrega módulos de diagramación de bloques de confiabilidad y velocidad discreta.

Los modelos se crean arrastrando bloques desde una biblioteca a una hoja de trabajo de modelo. Los bloques están conectados entre sí para crear el flujo lógico del modelo. Los datos del modelo residen en los parámetros de los bloques y en una base de datos patentada. Se pueden crear nuevos bloques combinando bloques existentes en un solo bloque jerárquico o programando un bloque en el lenguaje basado en C de ExtendSim, ModL.

AnyLogic: este software es único por su capacidad de utilizar tres métodos de modelado de simulación: Dinámica de Sistemas, Eventos Discretos y Agentes Basados. AnyLogic es ampliamente utilizado en logística, manufactura, salud, y más, debido a su flexibilidad para modelar sistemas complejos y heterogéneos.

Arena Simulation Software: es un software de simulación que permite a los usuarios construir modelos de simulación de eventos discretos. Es particularmente fuerte en la simulación de entornos de manufactura y logística, ayudando a las empresas a analizar procesos operativos, identificar mejoras y predecir el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones.

Simul8: destacado por su facilidad de uso y velocidad, Simul8 es una herramienta versátil para la simulación de procesos logísticos y de manufactura. Permite a los usuarios tomar decisiones basadas en evidencias concretas, visualizando el impacto de las alteraciones en los procesos antes de implementar cambios en la realidad.

SIMIO: proporciona una plataforma de simulación basada en objetos que facilita la creación de modelos precisos de

sistemas complejos. Es utilizado para la planificación, diseño y optimización de operaciones logísticas, incluyendo la gestión de cadenas de suministro, la planificación de almacenes y la logística de transporte.

Estudios de tiempos y movimientos

Esta técnica se basa en analizar, mediante un conjunto limitado de observaciones, los tiempos necesarios para completar una tarea o proceso previamente definido. Frederick W. Taylor, reconocido en Estados Unidos como el precursor del estudio de tiempos, no fue el primero en explorar esta área; de hecho, fue Perronet en el siglo XVIII en Francia quien comenzó a estudiar los tiempos de producción de alfileres. Aunque Taylor popularizó la técnica en el siglo XIX con su concepto de "tarea", argumentando que la gestión debía planificar el trabajo diario de los empleados y establecer estándares de tiempo basados en los trabajadores más eficientes. Taylor inició sus investigaciones en 1881 en Filadelfia y, tras doce años, publicó "Shop Management" en 1903, introduciendo los principios de la administración científica. Este trabajo subrayaba la relevancia de los estudios de tiempo, la estandarización de herramientas y acciones laborales, y la implementación de tarjetas de operación para guiar a los trabajadores (como se citó en Duran et al., 2015).

Distribuciones de probabilidad en la simulación de eventos discretos

La simulación de eventos discretos (DES) modela sistemas donde los cambios de estado ocurren en puntos específicos en el tiempo, a partir de eventos discretos. Para representar la variabilidad y la incertidumbre en estos sistemas, se asignan distribuciones de probabilidad a los eventos y procesos.

Distribuciones de probabilidad comunes:

Distribución exponencial: modela tiempos entre llegadas de eventos, útil para sistemas de colas y procesos de Poisson.

Aplicación: tiempos entre llegadas de clientes a un servicio.

Distribución normal: modela variables resultantes de la suma de muchos efectos pequeños, como tiempos de procesamiento.

Aplicación: tiempos de ensamblaje en una línea de producción.

Distribución Poisson: modela el número de eventos en un intervalo fijo, útil para eventos raros.

Aplicación: por ejemplo, en el número de llamadas recibidas en un centro de atención por hora.

Distribución uniforme: asume que todos los resultados dentro de un rango son igualmente probables.

Aplicación: selección aleatoria de componentes en una lista.

Pasos para la asignación de distribuciones:

Identificación del proceso: determinar qué proceso se va a modelar.

Recolección de datos: obtener datos históricos o realizar experimentos.

Análisis de datos: usar herramientas estadísticas para ajustar una distribución.

Selección de la distribución: elegir la más adecuada basada en el análisis.

Implementación en el modelo: incorporar la distribución en la simulación.

Ejemplos y Aplicaciones:

Sistema de atención hospitalaria: modelar llegadas de pacientes con distribución exponencial.

Línea de Ensamblaje: modelar tiempos de ensamblaje con distribución normal.

Operador Logístico

El Centro Español de Logística (CEL) lo define como la empresa que lleva a cabo la planificación, implantación y el control de manera eficiente del flujo físico a través de la cadena de suministro, prestando servicios e información asociados al mismo desde el punto de origen hasta el punto de consumo y con el objeto de satisfacer los requerimientos del cliente (Zona logística, 2016).

Se analizan los Operadores Logísticos o "Logistic Service Providers (LSP)", clasificados de 1PL a 5PL según la amplitud de servicios ofrecidos (Aguezoul, 2014, como se citó en Fajardo, 2017):

1PL se limitan a la subcontratación del transporte.

2PL extienden servicios a la externalización del transporte y almacenamiento.

3PL incorporan soluciones más complejas, incluyendo herramientas de control y sistemas de información para cumplir objetivos específicos.

4PL gestionan la optimización de la cadena de suministro en su totalidad, actuando como coordinadores de otros operadores logísticos.

5PL se encargan de la cadena de abastecimiento completa, especializándose en sectores específicos y ofreciendo consultorías personalizadas.

La mayoría de los operadores logísticos a nivel global se identifican como 3PL, especializados en servicios logísticos tercerizados que se adaptan a las necesidades específicas de sus clientes, incluyendo transporte, almacenamiento, y más. Los 4PL y 5PL, por otro lado, enfocan en la integración y administración total de la cadena de suministro, buscando optimizar la eficiencia y personalizar la gestión logística.

Entre estos niveles, los operadores logísticos que se especializan en acondicionamiento secundario de productos, particularmente en sectores como el farmacéutico y cosmético, se podrían considerar en una categoría específica o como una extensión del modelo 3PL o 4PL, dependiendo de su nivel de integración y servicios ofrecidos. Estos operadores no solo gestionan el almacenamiento y transporte, sino que también ofrecen servicios valorados altamente especializados como el embalaje secundario, etiquetado, y cumplimiento de especificaciones regulativas, que requieren un conocimiento profundo del producto y del sector. Esta especialización les permite ofrecer soluciones a medida que mejoran la eficiencia y la conformidad regulativa de sus clientes, asegurando que los productos sean adecuadamente acondicionados y empaquetados antes de su distribución final.

3.3 Marco contextual

El marco contextual de la presente investigación en la que se sugiere el estudio de un operador logístico que maneja el acondicionamiento secundario para un laboratorio farmacéutico de la ciudad de Cali, por lo que se tiene un entorno general, que es está sujeto a una reglamentación o normativa como es el de la industria farmacéutica. Sin embargo, en este caso, lo que se intenta dilucidar o responder está relacionado con las operaciones de acondicionamiento secundario que lleva a cabo un operador logístico que trabaja para un laboratorio especializado o al laboratorio que es objeto de estudio en segundo término o en segundo escenario. Por lo que se habla de que el marco contextual de esta esta investigación continúa siendo el área del operador logístico en la medida en que se trata de procesos de acondicionamiento secundario para esta empresa que, terceriza el desarrollo de estas actividades, por temas de disminución de costos, agilización de procesos y muchos otros factores que están en juego.

Los dos elementos contextuales, el operador logístico y el laboratorio farmacéutico, están ubicados en la ciudad de Cali. El primero de ellos lleva aproximadamente 10 años en el mercado; mientras que el laboratorio del cual solo se mencionará, por razones de confidencialidad, como Laboratorio Farmacéutico ABC es una filial de una multinacional que opera en la región vallecaucana que ha demostrado un potencial para este tipo de industrias, dado que en este territorio se encuentran las principales industrias farmacéuticas del país.

3.4 Marco legal

Decreto número 3636 de 2005, por el cual se reglamenta la fabricación, comercialización, envase, rotulado o etiquetado, régimen de registro sanitario, de control de calidad, de vigilancia y control sanitarios de los productos de uso específico y se dictan otras disposiciones.

Ley 1438 de 2011, con la cual se reforma el sistema general de seguridad social en salud, se contempló como asunto prioritario establecer una política farmacéutica, dada la necesidad de regular los dispositivos médicos e insumos que permitieran un desarrollo próspero en la utilización de los medicamentos, para así evitar escenarios de desatención en el acceso y calidad (Mejía et al., 2002).

Ley Estatutaria 1755 de 2015, Por medio de la cual se regula el Derecho Fundamental de Petición y se sustituye un título del Código de Procedimiento Administrativo y de lo Contencioso Administrativo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis del proceso actual de acondicionamiento secundario mediante la toma de tiempos y movimientos para cada código de la línea seleccionada, empleando herramientas de ingeniería industrial

Descripción general del proceso de acondicionamiento secundario

En el ámbito de la optimización de procesos dentro de la industria farmacéutica, el análisis detallado del acondicionamiento secundario es decisivo para mejorar la eficiencia y reducir los tiempos de operación. El acondicionamiento secundario, una fase esencial en la cadena de suministro de medicamentos, involucra actividades como el reempaquetado, etiquetado, y la preparación final de los productos para su distribución y venta. Estas operaciones, aunque críticas, son susceptibles de optimización para lograr mejoras significativas en el rendimiento general

del proceso.

Dentro de este contexto, el primer objetivo del estudio se centra en analizar el proceso actual de acondicionamiento secundario mediante la toma de tiempos y movimientos para cada código de la línea seleccionada, utilizando herramientas de ingeniería industrial. Este análisis involucra tres productos clave, identificados como Producto 1, Producto 2 y Producto 3, cada uno de los cuales representa un componente vital de la línea de marcaje o acondicionamiento secundario. La selección de estos productos permite un enfoque detallado y representativo de los procesos en estudio, proporcionando una base óptima para evaluar la eficiencia actual e identificar áreas susceptibles de mejoras. Al emplear métodos de ingeniería industrial, como el estudio de tiempos y movimientos, este objetivo busca no solo cuantificar la duración de cada tarea dentro del proceso de acondicionamiento secundario, sino también detectar ineficiencias y cuellos de botella que puedan estar afectando negativamente la productividad y la calidad del proceso. Esta fase de la investigación es fundamental para establecer un diagnóstico preciso del estado actual del proceso y sentar las bases para futuras intervenciones orientadas hacia la optimización y la mejora continua del acondicionamiento secundario en el operador logístico.

Tabla 1 Descripción actividades del proceso de marcaje de los productos seleccionados

Producto 1				
#	Actividad	Cantidad	Operario	Maquinaria
1	Abrir corrugado de plegadizas y surtir mesa	1	1	Manual
2	Marcación de plegadizas	720	1	Impresora
3	Verificación de plegadizas	720	1	Manual
4	Desestuchar los blister	2160	1	Manual
5	Marcar los blister	2160	1	Impresora
6	Verificación de blister	2160	1	Manual
7	Estuchar los blister	2160	1	Manual
8	Verificación	2160	1	Manual
9	Embalado, pegado ITF	720	1	Manual
10	Estibar caja	1	1	Montacargas
11	Almacenamiento de cajas	1	1	Manual
Producto 2				
#	Actividad	Cantidad	Operario	Maquinaria
1	Abrir corrugado de plegadizas y surtir mesa	1	1	Manual
2	Marcación de plegadizas	180	1	Impresora
3	Verificación de plegadizas	180	1	Manual
4	Desestuchar los blister	180	1	Manual
5	Marcar los blister	180	1	Impresora
6	Verificación de blister	180	1	Manual
7	Estuchar los blister	180	1	Manual
8	Verificación	180	1	Manual
9	Embalado, pegado ITF	180	1	Manual
10	Estibar caja	1	1	Montacargas
11	Almacenamiento de cajas	1	1	Manual
Producto 3				
#	Actividad	Cantidad	Operario	Maquinaria
1	Abrir caja o corrugada y surtir la mesa de trabajo	1	1	Manual
2	Marcación de tarros	180	1	Impresora
3	Verificación de tarros	180	1	Manual
4	Embalado, pegado ITF a cajas o corrugadas	180	1	Manual
5	Estibar caja o corrugada	1	1	Montacargas
6	Almacenamiento de caja o corrugada	1	1	Manual

Nota. Elaboración propia.

La tabla 1 describe todas y cada una de las actividades que se llevan a cabo en la línea de marcaje como proceso de acondicionamiento secundario que lleva a cabo el operador logístico objeto de estudio. En ella convergen los productos seleccionados, los cuales inician con la apertura de la caja o corrugada que contiene 720 o 180 unidades (plegadizas), las cuales contienen a su vez, para el primer producto: 3 blister, para el segundo producto 1 blister por cada plegadiza. El tercer producto seleccionado es un tarro de un medicamento que no requiere marcaje de caja o plegadiza solo del envase que lo contiene, por lo que los procesos son muchos más cortos (solo 6 actividades), mientras que para los productos 1 y 2 son 11 actividades para cada uno de ellos.

Para el producto 1 y 2, el proceso se inicia con la apertura de la caja o corrugado que contiene diferente cantidad de plegadizas, las cuales se ubican en el sitio indicado para ello, una mesa de trabajo en la cual se procede a la marcación de las plegadizas, a continuación se verifica la marcación de estas; si son aprobadas se continua con el proceso, en caso de existir alguna disparidad en el marcaje, se procede a enviarlas a una línea alterna que conlleva el envío de la comunicación

respectiva al proveedor para que sustituya estos elementos y se pueda continuar con ese procedimiento. Las que si fueron aprobadas, pasan a una estación de trabajo en la cual son abiertas o desestuchadas para extraer los blister que contienen. En la línea de marcaje las plegadizas van a una estación y los blister a otras donde son marcados. Es importante añadir que el marcaje consiste en elementos como fecha de producción del lote, fecha de vigencia y el referente de medicamento institucional que, por regulación en la expedición de medicamentos en Colombia, debe ser colocado.

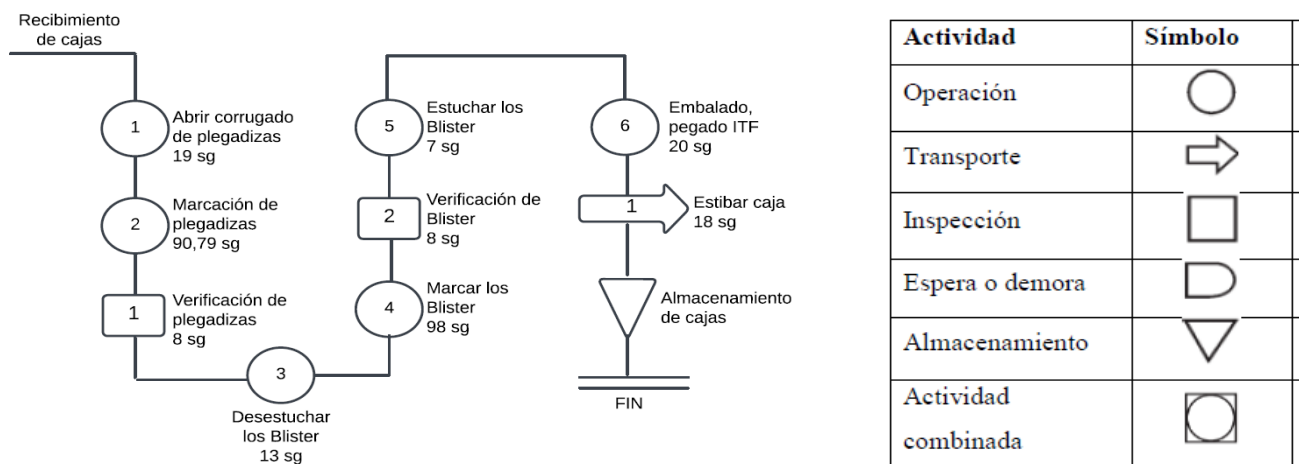
A continuación, se procede a verificar el marcaje de los blister, realizando la operación de aprobación o rechazo de los mismos; los rechazado, serán enviados a un área dentro del proceso de marcaje, en la cual el personal asignado podrá enviar las comunicaciones correspondientes al fabricante, en este caso el Laboratorio de Especialidades médicas ABC para que sustituya los blister que hayan sido marcado de forma errónea; los que sean aprobados pasan a la siguiente etapa en la cual serán estuchados, es decir, se colocarán dentro de cada plegadiza, pasando luego a la verificación final de cantidades correspondientes para consolidar el contenido de la corrugada o caja inicial (720 plegadizas producto 1 y 120 plegadizas producto 2). A continuación serán colocados en la caja o corrugado la cual será marcada con una etiqueta que contiene los datos de marcaje de blister y plegadizas conocido como ITF, con el lector de código de barras que debe poseer. Finalmente el proceso lleva a la estibación de estas cajas o corrugas y el almacenamiento en el sitio correspondiente.

El proceso para el producto 3, que, como se explicó inicialmente, no contiene plegadiza ni blister solo son tarros de medicamentos, se procede a abrir la corrugada y surtir la mesa de trabajo, posteriormente se realiza el marcaje de cada tarro (180 unidades x corrugada), los cuales contienen los mismos elementos comentados para los productos 1 y 2; se verifica dicha marcación, los que no sean aprobados, pasarán a la estación donde se realiza la comunicación con el proveedor, el Laboratorio al que le trabaja este operador logístico, para que proceda a la sustitución de estos envases. Los que resulten aprobados pasan a la estación de trabajo donde son colocados en la caja o corrugada la cual será marcada con la etiqueta ITF correspondiente, pasando a las estibas indicadas donde serán almacenadas para su posterior despacho al proveedor.

4.1.1.1 Diagrama de operación del proceso (DOP)

A continuación, se procede con el estudio de tiempos y movimientos para lo cual se utilizarán herramientas propias de ingeniería industrial como el diagrama de operaciones del proceso (DOP).

Figura 1 Diagrama de operaciones de proceso del acondicionamiento secundario de uno de los productos seleccionados



Nota. La figura describe el paso a paso del proceso de marcaje en línea para el producto # 1. Es importante mencionar que los tiempos son promedios que serán ampliados con mayor detalle. Elaboración propia. Adaptado de Chasiluisa (2019, p. 12).

El estudio de tiempos y movimientos que se llevó a cabo, inició con la selección de las actividades de cada uno de los procesos de marcaje de los productos escogidos debido a la mayor complejidad de la operación y la demanda del producto por parte del Laboratorio. En la tabla (2) se muestra el registro detallado del resultado de 30 mediciones obtenidas de forma aleatoria en diferentes períodos de tiempo durante el mes de mayo del presente año. La línea de marcaje está compuesta por varias estaciones de trabajo en las cuales se ubica los colaboradores correspondientes a cada

actividad, según se explicó al comienzo de este capítulo.

4.1.1.2 Diagrama de actividades de procesos (DAP)

Figura 2 Diagrama de actividades de procesos DAP producto 1

DIAGRAMA DE ANALISIS Y PROCESO										
RESUMEN										
Diagrama N°: 1	Actividad		Actual	Propuesto						
Elaborado por: Susan Arcos Muñoz	Operación	●	6							
Lisdey Pantoja Narvaez, Valeria Rengifo	Transporte	➡	1							
Nombre: Proceso 1	Inspección	■	3							
	Espera	■	0							
	Almacenamiento	▼	1							
Método: Actual	Tiempo Total (sg)		289,79							
Fecha:	Cantidad Total									
N°	DESCRIPCION	Unidades en operación (corrugadas, plegadizas, blister)	Blister por plegadiza	Tiempo (sg)	Símbolo					Observaciones
					●	➡	■	■	▼	
1	Abrir corrugado o caja de plegadizas	1	3	19	●					
2	Marcación de plegadizas	720	3	90,79	●					
3	Verificación de plegadizas	720	3	8			■			
4	Desestuchar los Blister	2160	3	13	●					
5	Marcar los Blister	2160	3	98	●					
6	Verificación de Blister	2160	3	8			■			
7	Estuchar los Blister	2160	3	7	●					
8	Verificación	720	3	8			■			
9	Embalado, pegado ITF	1	3	20	●					
10	Estibar caja	1	3	18						
11	Almacenamiento de cajas	1	3	0					▼	
Total Tiempo promed (sg)				290						

Nota. Elaboración propia.

Descripción del proceso actual:

Abrir corrugado o caja de plegadizas (19 segundos): el proceso inicia con la apertura de la caja que contiene las plegadizas, lo que se realiza en un tiempo bastante rápido.

Marcación de plegadizas (90,79 segundos): un paso significativo en términos de tiempo, involucra la marcación de cada plegadiza.

Verificación de plegadizas (8 segundos): inspección visual para asegurar la calidad y correspondencia de los datos de la marcación.

Desestuchar los blister (13 segundos): implica sacar los blister de las plegadizas.

Marcar los blister (98 segundos): marcación de los blister individuales, otro paso intensivo en tiempo.

Verificación de blister (8 segundos): verificación de la marcación en los blister.

Estuchar los blister (7 segundos): colocar nuevamente los blister en las plegadizas.

Verificación (8 segundos): verificación de la cantidad de plegadizas por cada caja o corrugada.

Embalado, pegado ITF (20 segundos): embalaje final con la etiqueta de información de trazabilidad.

Estibar caja (18 segundos): preparación para el almacenamiento o envío.

Almacenamiento de cajas (0 segundos): posicionamiento final de la caja en el almacén.

Resumen de actividades:

Operaciones de producción (marcación y estuchado): 6

Transporte: 1

Inspección: 3

Espera: 0 (No hay tiempos de espera significativos reportados)

Almacenamiento: 1

Observaciones:

Optimización de marcación: considerando que la marcación de plegadizas y blister son las actividades que más tiempo consumen, sería útil investigar tecnologías de marcado más rápidas o ajustes en el flujo de trabajo que puedan reducir estos tiempos.

Reducción de verificaciones: existen diversas formas de realizar la verificación, lo cual es esencial para la calidad, pero también se debería revisar si algunas de estas verificaciones pueden combinarse o eliminarse sin comprometer los estándares de calidad, especialmente si son redundantes.

Automatización: si aún no se ha hecho, explorar la automatización en el estuchado y desestuchado de blister podría reducir significativamente los tiempos de operación y minimizar errores humanos.

Revisión del flujo de proceso: aunque no se reportan esperas, siempre es beneficioso revisar el layout y la ergonomía del área de trabajo para asegurar un flujo continuo y minimizar el transporte innecesario entre estaciones.

Figura 3 Diagrama de actividades de procesos DAP producto 2

DIAGRAMA DE ANALISIS Y PROCESO										
		RESUMEN								
Diagrama N°: 2	Actividad				Actual	Propuesto				
Elaborado por: Susan Arcos Muñoz	Operación	●			6					
Lisdey Pantoja Narvaez, Valeria Rengifo	Transporte	➡			1					
Nombre: Proceso 2	Inspección	■			3					
	Espera	■			0					
	Almacenamiento	▼			1					
Método: Actual	Tiempo total				174					
Fecha:	Cantidad Total									
N°	DESCRIPCION	Unidades en operación (corrugadas, plegadizas, blister)	Blister por plegalizada	Tiempo (sg)	Símbolo					Observaciones
1	Abrir corrugado y surtir mesa con plegadizas	1	1	12	●	➡	■	■	▼	
2	Marcacion de plegadiza	120	1	52	●	➡	■	■	▼	
3	Verificación	120	1	8	●	➡	■	■	▼	
4	Desestuchador *1 blister	120	1	7	●	➡	■	■	▼	
5	Marcacion de blister	120	1	50	●	➡	■	■	▼	
6	Verificación	120	1	8	●	➡	■	■	▼	
7	Estuchado * 1 blister	120	1	4	●	➡	■	■	▼	
8	Verificación	120	1	8	●	➡	■	■	▼	
9	Embalado de caja, pegado ITF	1	1	15	●	➡	■	■	▼	
10	Llevar a estiba	1	1	10	●	➡	■	■	▼	
11	Dejar en la estiba	1	1	0	●	➡	■	■	▼	
		Total tiempo promed (sg)		174						

Nota. Elaboración propia.

Descripción del proceso actual:

Abrir corrugado y surtir mesa (12 segundos): se inicia el proceso con la apertura y preparación de la estación de trabajo al abrir la caja o corrugada y

Marcación de plegadiza (52 segundos): proceso relativamente largo que implica la marcación individual de cada plegadiza.

Verificación (8 segundos): se verifica la calidad y precisión de la marcación.

Desestuchador de los blister de las plegadizas (7 segundos): proceso de extracción de los blister de las plegadizas.

Marcación de blister (50 segundos): similar a la marcación de plegadizas, pero aplicada a los blister.

Verificación (8 segundos): otra verificación post-marcación de los blister.

Estuchado de los blister en las plegadizas (4 segundos): reintegrar los blister dentro de las plegadizas.

Verificación (3 segundos): verificación final antes del embalaje.

Embalado de caja, pegado ITF (15 segundos): preparación final del producto para el envío o almacenamiento.

Llevar a estiba (10 segundos): transporte del producto final a la zona de almacenamiento o estibado.

Dejar en la estiba (0 segundos): colocación final del producto en la estiba.

Resumen de actividades:

Operaciones de producción (marcación y estuchado): 6

Transporte: 1

Inspección: 3

Espera: 0

Almacenamiento: 1

Tiempo total del proceso: 174 segundos.

Observaciones:

Marcación individualizada: la marcación tanto de plegadizas como de blister son las actividades que más tiempo consumen. Evaluar la posibilidad de mejorar la tecnología de marcado o de revisar el flujo de trabajo podría reducir significativamente estos tiempos.

Automatización de procesos: automatizar el proceso de desestuchado y estuchado de blister podría disminuir el tiempo y los errores, además de mejorar la consistencia.

Verificación en cascada: dado que hay múltiples verificaciones, revisar la posibilidad de integrar estas etapas o implementar tecnología que permita una verificación continua podría optimizar el proceso.

Optimización del transporte y almacenamiento: aunque estos pasos no toman mucho tiempo, siempre es útil revisar la eficiencia del transporte interno y la disposición de las estibas para minimizar el movimiento innecesario.

Este diagrama refleja un proceso bien estructurado pero con espacio para mejoras en eficiencia, especialmente en las etapas de marcación y verificación. Considerando estos elementos, se puede trabajar hacia una optimización que alinee mejor los tiempos y recursos utilizados.

Figura 4 Diagrama de actividades de procesos DAP producto 3

DIAGRAMA DE ANALISIS Y PROCESO									
RESUMEN									
Diagrama N°: 3	Actividad		Actual	Propuesto					
Elaborado por: Susan Arcos Muñoz	Operación	●	3						
Lisdey Pantoja Narvaez, Valeria Rengifo	Transporte	→	1						
Nombre: Proceso 2	Inspección	■	1						
	Espera	■	0						
	Almacenamiento	▼	1						
Método: Actual	Tiempo total		117						
Fecha:	Cantidad Total								
N°	DESCRIPCION	Unidades por corrugadas o cajas (tarros)	Tiempo (sg)	Simbolo					Observaciones
1	Abrir corrugado y surtir mesa	1	14	●	→	■	■	▼	
2	Marcación de tarros	180	70	●	→	■	■	▼	
3	Verificación marcación de tarros	180	8	●	→	■	■	▼	
4	Embalado, pegado ITF	180	15	●	→	■	■	▼	
5	Se lleva la caja a la estiba	180	10	●	→	■	■	▼	
6	Almacenamiento de cajas	180	0	●	→	■	■	▼	
		Total Tiempo promed (sg)	117						

Nota. Elaboración propia.

Descripción del proceso actual:

Abrir corrugado y surtir mesa (14 segundos): inicio del proceso con la preparación de la estación de trabajo para la manipulación de tarros.

Marcación de tarros (70 segundos): este paso, el más prolongado del proceso, involucra la marcación individual de los tarros, lo cual sugiere una actividad intensiva en tiempo y esfuerzo.

Verificación marcación de tarros (8 segundos): inspección rápida para asegurar que la marcación cumpla con los estándares requeridos.

Embalado, pegado ITF (15 segundos): proceso de embalaje final y aplicación de etiquetas de trazabilidad necesarias para cumplir con regulaciones o requisitos internos.

Se lleva la caja a la estiba (10 segundos): transporte del producto terminado a la zona de almacenamiento, preparando para el estibado.

Almacenamiento de cajas (0 segundos): colocación final de la caja en el área de almacenamiento.

Resumen de actividades:

Operaciones de producción: 3

Transporte: 1

Inspección: 1

Espera: 0

Almacenamiento: 1

Tiempo total del proceso: 117 segundos.

Observaciones:

Optimización de la marcación: el proceso de marcación de tarros consume más del 50% del tiempo total del proceso. Investigar tecnologías de marcación más rápidas o ajustar el proceso para hacerlo más eficiente podría ser beneficioso.

Automatización potencial: considerar la posibilidad de automatizar la marcación y verificación para reducir el tiempo y aumentar la consistencia del proceso.

Revisión de procesos de verificación y embalaje: dado que estos procesos son críticos, pero relativamente cortos, asegurar que son eficientes sin comprometer la calidad es muy importante. Evaluar si los pasos de verificación pueden ser mejorados o integrados con tecnología avanzada para reducir el esfuerzo manual.

Minimización del transporte: aunque el tiempo de transporte no es excesivo, siempre es útil evaluar la disposición física de las estaciones de trabajo para minimizar movimientos innecesarios. Este análisis indica un proceso bien estructurado con un enfoque significativo en la marcación, lo cual es un área clave para la optimización. Aprovechar las tecnologías modernas y revisar los flujos de trabajo puede contribuir a mejoras sustanciales en la eficiencia para el producto 3.

Análisis estadístico de tiempos por actividades (proceso)

Así mismo, es conveniente aclarar que, por efectos de la cantidad de datos que genera cada análisis, solo se tomarán en cuenta los cálculos para el producto 1; los cálculos de los productos 2 y 3 se presentan en el anexo correspondiente.

Tabla 2 Registro tiempos y movimientos por actividad para el producto # 1

# de mediciones	Actividad 1: Abrir corrugado de plegadizas y surtir mesa	Actividad 2: marcación de plegadizas	Actividad 3: verificación de plegadizas	Actividad 4: desestruchar blister	Actividad 5: marcación blister	Actividad 6: verificación blister	Actividad 7: estuchar blister	Actividad 8: verificación cantidad de plegadizas	Actividad 9: embalado y etiquetado de corrugada (ITF)	Actividad 10: estibar caja o corrugada	Actividad 11: almacenamiento de cajas o corrugadas
tiempo (sg)	tiempo (sg)	tiempo (sg)	tiempo (sg)	tiempo (sg)	tiempo (sg)	tiempo (sg)	tiempo (sg)	tiempo (sg)	tiempo (sg)	tiempo (sg)	tiempo (sg)
1	22	90,41	8,13	13,18	99,5	6,58	12,21	8,11	11,82	15,42	11,21
2	19,8	89,32	7,88	12,86	97,58	7,65	11,86	8,15	12,46	14,9	10,86
3	18,9	90,82	8,21	13,29	99,5	7,45	12,29	7,95	11,93	15,73	11,29
4	24	92,33	8,23	13,32	95,41	6,54	12,32	7,99	12,46	15,78	11
5	19	86,88	7,72	12,71	95,28	7,02	11,71	8,48	12,14	14,41	11,32
6	22	93	8,5	13,7	98,06	7,03	13	8,25	12,2	16,7	10,71
7	26	91,03	8,02	13,02	97,3	7,43	12,04	7,93	11,93	15,04	12
8	18	90,15	7,87	12,82	98,47	7,03	11,82	8,25	11,99	14,6	11,04
9	14,5	91,67	8,33	13,46	98,64	7	12,46	7,71	13,68	16,46	10,82
10	16	89,71	7,96	12,93	98,47	7,2	11,93	7,7	12,35	14,8	11,46
11	17,5	93,3	8,33	13,46	99,98	7,3	12,46	8,02	11,89	16,46	10,93
12	18	90,56	8,11	13,14	98,21	7,02	12,14	7,87	12,35	15,14	11,46
13	18	91,57	8,15	13,2	97,89	7,01	12,2	8,03	11,41	15,2	11,14
14	14,3	89,66	7,95	12,93	98,26	6,54	11,93	8,07	11,39	14,7	11,2
15	20	89,97	7,99	12,99	97,65	7,53	11,99	8,03	12,03	14,99	10,93
16	19	94,44	8,48	13,68	98,41	6,55	13,68	8,32	12,04	17,68	10,99
17	18	92,63	8,25	13,35	98,47	7,6	12,35	8,1	12,46	16,04	12,68
18	17	90,76	7,93	12,89	96,44	7,43	11,89	7,93	12,14	14,68	11,35
19	16	92,63	8,25	13,35	100	6,48	12,35	8,23	11,96	16,04	10,89
20	15	87,71	7,71	12,71	98,04	7,22	11,41	7,72	12	13,56	10,41
21	18	87,59	7,7	12,69	97,3	8	11,39	8,5	11,78	13,51	10,96
22	17,8	91,04	8,02	13,03	99,8	7,06	12,03	8,02	12,1	15,04	11,03
23	19	90,13	7,87	12,82	97,92	7,37	11,82	7,87	12,21	14,6	10,82
24	22	91,22	8,03	13,04	99,8	7,03	12,04	8,33	11,86	15,08	11,1
25	21	91,48	8,07	13,1	98,33	7,46	12,46	7,96	12,29	15,2	11,04
26	18	91,25	8,03	13,04	98,42	7,05	12,14	8,48	12,32	15,04	10,41
27	19	91,8	8,32	13,46	97,9	7,37	11,96	8,25	11,75	16,46	10,38
28	22	90,48	8,1	13,14	97,98	7,43	12	7,93	11,85	15,07	10,93
29	24	89,64	7,93	12,96	101,92	7,75	11,78	8,25	11,98	14,84	10,77
30	18	90,79	8	13	99,5	7,32	12,1	7,71	11,99	14,23	10,98

Nota. Elaboración propia.

Tabla 3 Estadísticas para cada actividad (resumen productos)

# Actividad	Producto 1			Producto 2			Producto 3		
	Tiempo total	Promedio	Desviación estándar	Tiempo total	Promedio	Desviación estándar	Tiempo total	Promedio	Desviación estándar
1	524,1	17,47	2,37	579,8	19,33	2,57	432,44	14,41	0,90
2	2.734,43	91,15	1,73	1.481,39	49,38	3,46	1.930,53	64,35	9,06
3	239,27	7,98	0,25	137,61	4,59	0,75	201,91	6,73	1,42
4	388,74	12,96	0,44	192,36	6,41	0,54	185,82	6,19	0,82
5	2.935,18	97,84	1,56	1.490,52	49,68	2,62	243,94	8,13	2,24
6	224,46	7,48	0,48	195,11	6,50	0,81	226,88	7,566	0,72
7	361,52	12,05	0,54	124,79	4,16	0,46	-	-	-
8	241,66	8,06	0,22	196,67	6,56	0,84	-	-	-
9	330,76	11,03	0,84	135,02	4,50	0,53	-	-	-
10	452,79	15,09	0,89	159,09	5,30	0,73	-	-	-
11	326,02	10,87	0,43	234,61	7,82	0,68	-	-	-

Nota. Elaboración propia.

Tiempo total: suma de todos los tiempos de cada actividad; tiempo promedio: promedio de los tiempos de cada actividad; desviación estándar: medida de la variabilidad o dispersión de los tiempos de cada actividad.

Cantidades y volumen de trabajo:

Producto 1: el alto volumen de plegadizas (720) y blister (2.160) implica un mayor tiempo total en actividades de marcación y verificación, lo que también puede contribuir a una mayor variabilidad en los tiempos debido a la escala de

operación.

Producto 2: menor volumen comparado con producto 1, lo que puede resultar en tiempos de procesamiento más rápidos pero también menos oportunidades para optimizar y estandarizar dado el menor número de repeticiones.

Producto 3: el proceso implica menos variabilidad en los elementos pero mayor atención individual por tarro, lo que puede influir en la consistencia y eficiencia de las actividades de marcación y verificación.

Impacto en la eficiencia:

Las actividades que implican manipulación directa de más unidades (producto 1) pueden ser menos eficientes pero permiten más oportunidades para ajustes incrementales que podrían optimizar el proceso.

Los productos con menor cantidad por caja (producto 2 y 3) pueden requerir ajustes diferentes, posiblemente enfocándose más en la eficiencia de movimientos individuales y menos en la optimización a gran escala.

Estudio de tiempos y movimientos

Tabla 4 Estudio de tiempos y movimientos

#	Actividad	Medicines								Promedio (sg)	RF	Tiempo normal
		1	2	3	4	5	6	7	8			
1	Abrir corrugado de plegadizas y surtir mesa	19,8	24	26	14,5	17,5	18,9	22	17,5	20,03	80,00	16,02
2	Marcación de plegadizas	90,41	91,67	91,03	86,88	89,71	93,3	90,56	90,15	90,46	59,99	54,27
3	Verificación de plegadizas	7,72	8,23	7,87	8,33	8,21	7,96	8,11	7,96	8,05	69,95	5,63
4	Desestuchar los Blister	13,18	13,02	13,46	12,93	13,7	12,82	12,93	13,04	13,14	59,99	7,88
5	Marcar los Blister	99,5	95,41	98,06	96,44	98,04	97,92	99,8	97,89	97,88	79,99	78,3
6	Verificación de Blister	7,03	7,43	7,53	6,54	6,55	6,48	7,22	6,75	6,94	59,93	4,16
7	Estuchar los Blister	12,46	13,68	11,99	12,35	11,89	12,35	11,39	11,02	12,14	61,94	7,52
8	Verificación	8,25	7,93	7,71	8,03	7,93	8,23	7,72	8,5	8,04	77,88	6,26
9	Embalado, pegado ITF	11,82	11,93	13,68	12,35	11,89	11,41	11,39	12,14	12,08	54,98	6,64
10	Estibar caja	15,42	14,41	15,78	14,6	16,46	15,14	16,7	16,04	15,57	59,99	9,34
11	Almacenamiento de cajas	11	11,04	10,82	11,46	10,93	11,35	10,82	11,04	11,06	59,96	6,63

Nota. Elaboración propia.

Total tiempo normal: 257,49

RF: 87,61

Tiempo estándar = tiempo normal * (1 + RF/100) =

Tiempo estándar actividades producto 1 = 202,65 * (1 + 0,65) = 336,14 sg / 60 = 5,60 min.

Análisis del proceso de acondicionamiento secundario para el producto 1

Tiempo Normal Total: 202.65 segundos

Factor de Rendimiento (RF): 65%

Tiempo estándar total: 336.14 segundos o aproximadamente 5.60 minutos

El factor de rendimiento del 65% refleja el nivel de eficiencia en la ejecución del proceso bajo las condiciones actuales. Este valor indica que, aunque el proceso es relativamente eficiente, hay un margen significativo para mejorar y optimizar las operaciones.

Es fundamental identificar las causas específicas de las ineficiencias que reducen el rendimiento del proceso a este nivel. Estas podrían incluir demoras innecesarias, fallos en la ejecución de las actividades, o procedimientos que pueden ser más efectivos.

Duración del proceso: el tiempo estándar calculado de aproximadamente 5.60 minutos para realizar todas las actividades del proceso indica la duración que debería esperarse bajo condiciones normales ajustadas por el RF. Este tiempo estándar proporciona una base para la planificación y programación efectiva de las operaciones, permitiendo una mejor predicción y gestión de los ciclos de producción.

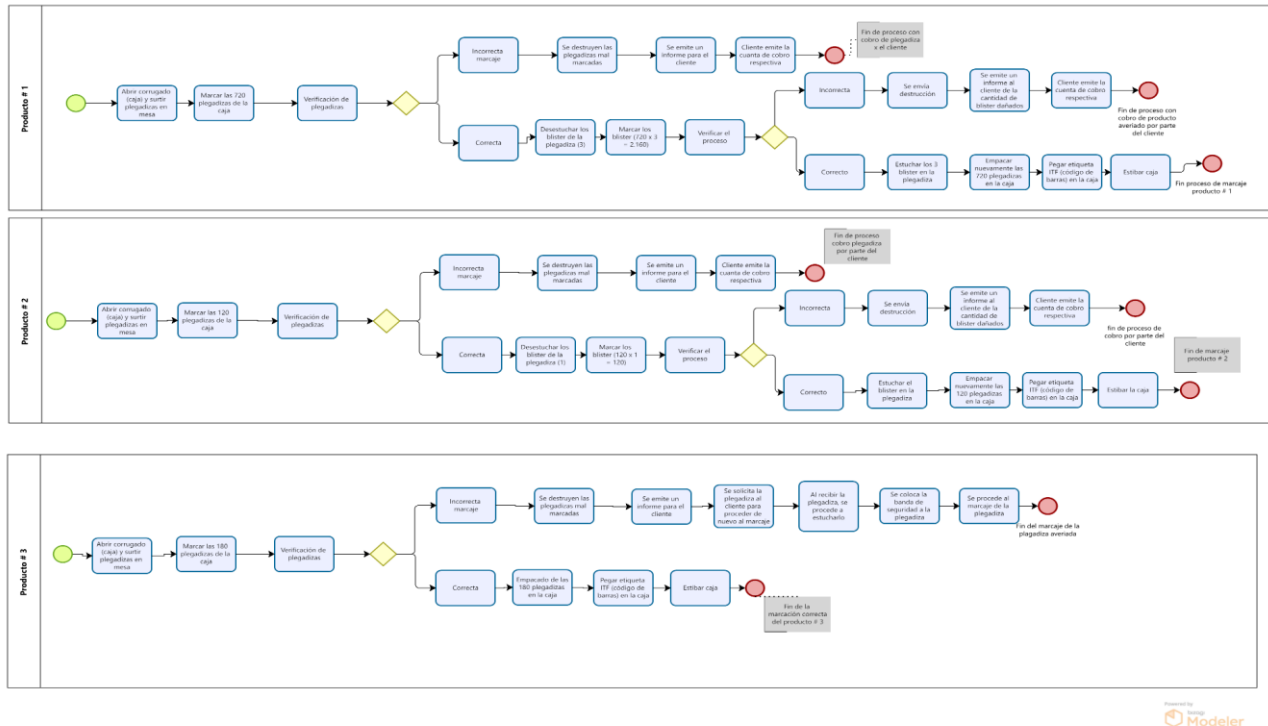
4.2 Diseño de un modelo conceptual del proceso de acondicionamiento secundario de la línea de marcaje del área de medicamentos, que servirá como base para la simulación posterior

El acondicionamiento secundario en la industria farmacéutica es un proceso fundamental que implica el empaque secundario de productos farmacéuticos, como el marcado de blíster, plegadizas y corrugadas o cajas con información relevante sobre el producto, como ya fue mencionado con anterioridad. Este paso no solo cumple con los requisitos reglamentarios, sino que también asegura la integridad del medicamento hasta que llega al consumidor. Dada la

importancia de este proceso, es esencial para la identificación de falencias y oportunidades de mejora, el diseñar un modelo conceptual que capture y simule estas operaciones.

Para el desarrollo de este proyecto fueron seleccionadas herramientas como Bizagi para la diagramación y FlexSim para la simulación, de forma tal que permita revisar, identificar y proponer estrategias para la optimización de las operaciones de marcaje y, por ende, aumentar la productividad general del proceso.

Figura 5 Diagramación del proceso actual de marcaje para los productos seleccionados (Bizagi)



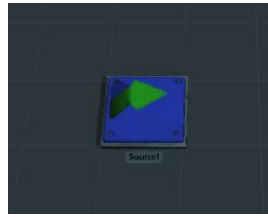
Nota. Elaboración propia.

Como se detalló en el primer objetivo, el diagrama anterior describe exactamente el paso a paso de todas y cada una de las actividades que se llevan a cabo en el proceso de acondicionamiento secundario de los tres productos seleccionados.

A continuación, se describe los pasos a seguir para la implementación del programa de simulación FlexSim para este proceso en particular que lleva a cabo el operador logístico que cumple esta función para el Laboratorio Farmacéutico ABC de Cali. En el software de simulación, se emplean objetos denominados flowitems que representan los elementos que transitan desde el inicio hasta el final del proceso. Cada uno de estos objetos tiene asignado un itemtype, que es una etiqueta que ayuda a definir su trayectoria a lo largo del proceso establecido.

Además, el concepto de puertos es fundamental, ya que facilitan la conexión entre diferentes objetos dentro del proceso. Existen tres tipos principales de puertos: puertos de entrada, puertos de salida y puertos centrales. Los dos primeros se encargan de gestionar el flujo del proceso, mientras que los puertos centrales permiten la interacción entre objetos mediante el uso de Task Executors. Para establecer conexiones, se selecciona el objeto inicial, por ejemplo, Source 1, y mientras se mantiene pulsada la tecla A, se arrastra una flecha hacia el objeto destino, como Processor 1. Esta acción facilita la creación de conexiones tanto para puertos de entrada como de salida.

Figura 6 Source



Nota. Elaboración propia.

Para conectar el Operator 1 al Processor 1, permitiendo que el primero traslade un objeto desde el Source1 al Sink1, se debe hacer clic en el operador y arrastrarlo hacia el procesador mientras se presiona la letra S.

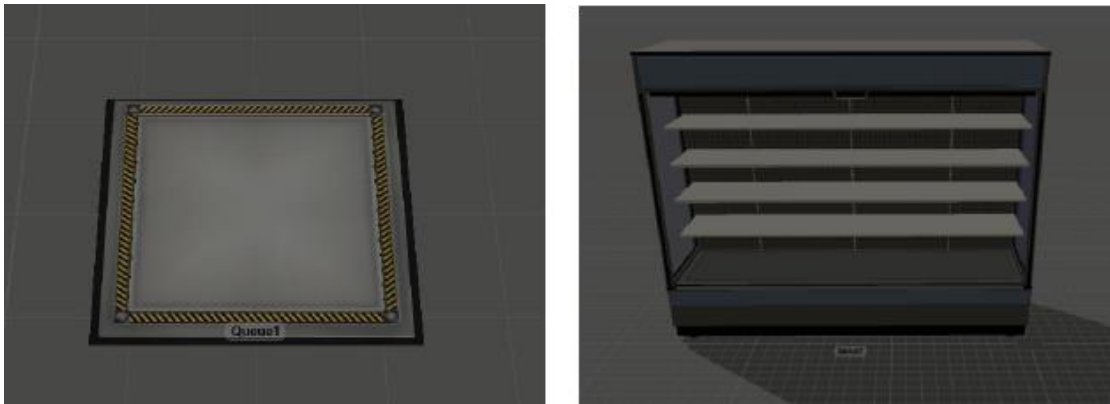
Los objetos utilizados a lo largo de la simulación, como los mencionados en la Ilustración 1, se encuentran disponibles en la sección de Library de la aplicación, donde se puede acceder a una descripción detallada según su agrupación dentro del software.

Recursos Fijos

El objeto Source es crucial ya que genera los flowitems. Permite modificar características como el tipo de objeto generado (cajas, pallets, etc.), la frecuencia de creación, y el valor y color de los objetos.

La Queue actúa como un almacén intermedio, donde los objetos pueden acumularse hasta un límite máximo establecido, permitiendo también la creación de lotes de objetos según lo desee el usuario.

Figura 7 Ejemplos de Queue



Nota. Elaboración propia.

El Processor se utiliza para el procesamiento de los objetos, permitiendo establecer tiempos de preparación y procesamiento, y modificar el número de objetos que se procesan simultáneamente.

El Combiner y el Separator son utilizados para agrupar y separar objetos, respectivamente. El Combiner combina dos tipos diferentes de objetos, mientras que el Separator los separa después de haber sido combinados.

El Sink finaliza el proceso de simulación al destruir todos los objetos que llegan a él, marcando el fin del proceso definido.

Ejecutores de tareas

Los Task Executors, como el Operator y el Robot, son esenciales para mover y gestionar los objetos a lo largo del proceso. El Operator espera a que se complete una acción para liberarse y continuar, mientras que el Robot es útil para mover objetos a corta distancia sin desplazarse.

El ASRS Vehicle y el Dispatcher son también fundamentales; el primero para operar con racks en almacenamiento vertical y horizontal, y el segundo para gestionar grupos de operarios o transportadores, optimizando las conexiones y la asignación de tareas.

Almacenamiento y otros objetos

El Rack y el Floor Storage son utilizados para almacenar objetos a largo plazo o de manera permanente, con diversas estrategias de almacenamiento disponibles. Los Conveyors facilitan el transporte automático de objetos dentro del almacén, y el Map proporciona visualizaciones geográficas que ayudan a planificar rutas y optimizar la logística.

Esta simulación integral permite analizar y optimizar el flujo de objetos, identificando cuellos de botella y mejorando la eficiencia del proceso logístico simulado.

4.3 Simulación del proceso de acondicionamiento secundario utilizando el modelo conceptual previamente desarrollado para identificar cuellos de botella y áreas de ineficiencia

El tercer objetivo de esta investigación se centra en la simulación del proceso de acondicionamiento secundario, empleando el modelo conceptual desarrollado previamente para revelar cuellos de botella y áreas de ineficiencia. Este análisis comenzó con la realización de pruebas de bondad y ajuste, aplicadas a 30 mediciones de todas las actividades identificadas en el proceso para cada uno de los productos. En particular, se examinaron 11 actividades para los productos 1 y 2, y 6 para el producto 3. Posteriormente, se procedió a alimentar el modelo con los datos y actividades recogidos, permitiendo una exploración detallada de las ineficiencias y cuellos de botella específicamente en el proceso del producto 1. Aunque el enfoque de esta fase se limita a un solo producto para ilustrar los métodos y hallazgos, los resultados obtenidos ofrecen una visión integral que se discute en los análisis y resúmenes correspondientes de la investigación.

4.3.1 Pruebas de bondad y ajuste

Producto 1

Análisis de pruebas de bondad y ajuste

Tabla 5 Resumen por actividad producto 1

#	Actividad	Relative Score	Distribución seleccionada	Parámetro 1	Parámetro 2	Parámetro 3
1	Generador (llegada)		Triangular	Min 60	Prom 80	Mx 120
2	Abrir corrugado de (destuchador) plegadizas y surtir mesa	87.90	Pearson Type V(E)	Location 4.73021	Scale 528.50799	Shape 36.66720
3	Marcación de plegadizas	82.00	Weibull(E)	Location 80.93625	Scale 9.89996	Shape 5.69416
3	Verificación de plegadizas	91.67	Beta	Upper endpoint 8.69	Shape #1 5.88	Shape #2 4.01
4	Desestuchar los Blister	93.00	Johnson SB	Lower end point 12.50661	Upper endpoint 14.59696	Shape #1 1.29855 Shape #2 1.35872
5	Marcas los Blister	100.00	Log-Laplace	Scale 98.23500	Shape 103.71557	
6	Verificación de Blister	96.77	Beta	Upper endpoint 8.12	Shape #1 3.12	Shape #2 2.42
7	Estuchar los Blister	97.50	Beta	Upper endpoint 12.89329	Shape #1 0.97845	Shape #2 0.98591
8	Verificación	87.96	Johnson SB	Upper endpoint 9.29147	Shape #1 0.21571	Shape #2 2.54199
9	Embalado, pegado ITF	99.17	Log-Logistic(E)	Location 10.02740	Scale 2.02807	Shape 11.07033
10	Estibar caja	100.00	Log-Logistic(E)	Location 14.03565	Scale 1.00435	Shape 2.05864
11	Almacenamiento de cajas	89.52	Log-Logistic(E)	Location 4.72112	Scale 6.33659	Shape 31.84674

Nota. Elaboración propia.

Producto 2

Tabla 6 Resumen por actividad producto 2

#	Actividad	Relative Score	Distribución seleccionada	Parámetro 1	Parámetro 2	Parámetro 3
1	Abrir corrugado de plegadizas y surtir mesa	87.90	Pearson Type V(E)	Location 4.73021	Scale 528.50799	Shape 36.66720
2	Marcación de plegadizas	98.39	Johnson SB	Lower end point 46.06099	Upper endpoint 58.20039	Shape #1 0.11983 Shape #2 0.66904

#	Actividad	Relative Score	Distribución seleccionada	Parámetro 1	Parámetro 2	Parámetro 3
3	Verificación de plegadizas	96.77	Johnson SB	Lower end point 3.85999	Upper endpoint 6.32014	Shape #1 0.68198 Shape #2 0.96964
4	Desestuchar los Blister	93.00	Weibull	Scale 7.20048	Shape 15.14706	
5	Marcar los Blister	97.58	Johnson SB	Lower end point 37.01075	Upper endpoint 54.72132	Shape #1 -1.52250 Shape #2 1.58648
6	Verificación de Blister	97.58	Johnson SB	Lower endpoint 2.92574	Shape #1 -2.50734	Shape #2 1.95817
7	Estuchar los Blister	97.50	Gamma(E)	Location 3.71022	Scale 0.14677	Shape 5.78075
8	Verificación	98.21	Beta	Upper endpoint 8.56930	Shape #1 0.78891	Shape #2 1.27384
9	Embalado, pegado ITF	89.52	Beta	Upper endpoint 6.26522	Shape #1 1.55604	Shape #2 3.15124
10	Estibar caja	100.00	Johnson SB	Lower end point 4.27389	Upper endpoint 6.89700	Shape #1 -0.06442 Shape #2 0.41247
11	Almacenamiento de cajas	98.39	Johnson SB	Lower end point 5.39432	Upper endpoint 9.22252	Shape #1 -0.73170 Shape #2 1.16534

Nota. Elaboración propia.

Producto 3

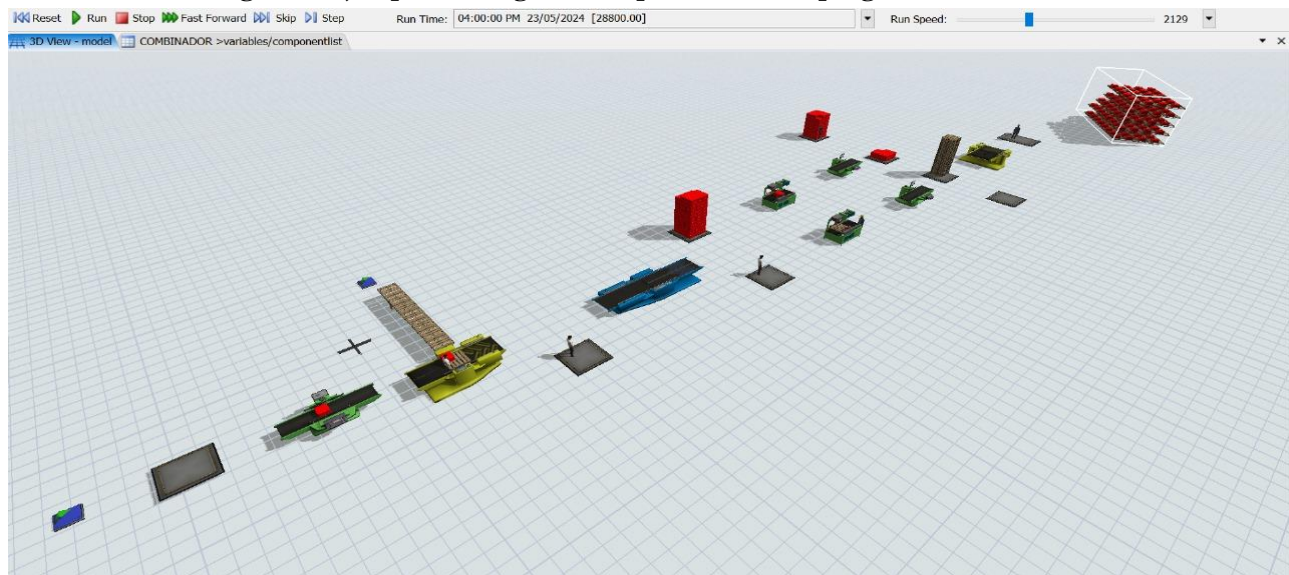
Tabla 7 Resumen por actividad producto 3

#	Actividad	Relative Score	Distribución seleccionada	Parámetro 1	Parámetro 2	Parámetro 3
1	Abrir corrugado y surtir mesa	93.55	Inverted Weibull(E)	Location 9.06165	Scale 5.13345	Shape 11.10055
2	Marcación de tarros	97.58	Beta	Upper endpoint 84.39193	Shape #1 1.09341	Shape #2 1.05084
3	Verificación de marcación	96.77	Weibull	Scale 8.05392	Shape 8.05219	
4	Embalado y etiquetado de corrugada (ITF)	99.19	Beta	Upper endpoint 7.79443	Shape #1 1.54115	Shape #2 0.92748
5	Estibar corrugada	97.50	Johnson SB	Lower end point 9.95540	Upper endpoint 12.73321	Shape #1 0.30473 Shape #2 0.45745
6	Almacenamiento de cajas o corrugadas	98.39	Johnson SB	Lower end point 5.39432	Upper endpoint 9.22252	Shape #1 -0.73170 Shape #2 1.16534

Nota. Elaboración propia.

4.3.2 Alimentación de las tareas en el modelo de simulación

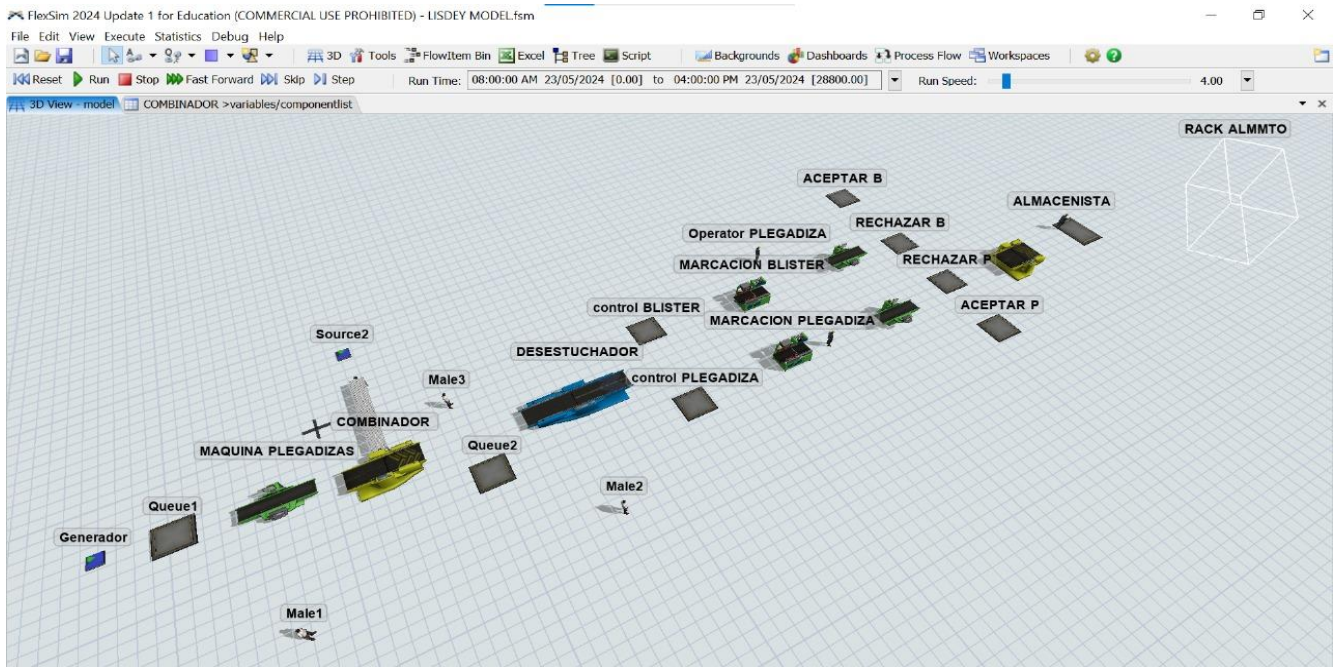
Figura 8 Ejemplo de diagrama de procesos en el programa FlexSim



Nota. Elaboración propia.

Explicación del modelo

Figura 9 Modelo completo

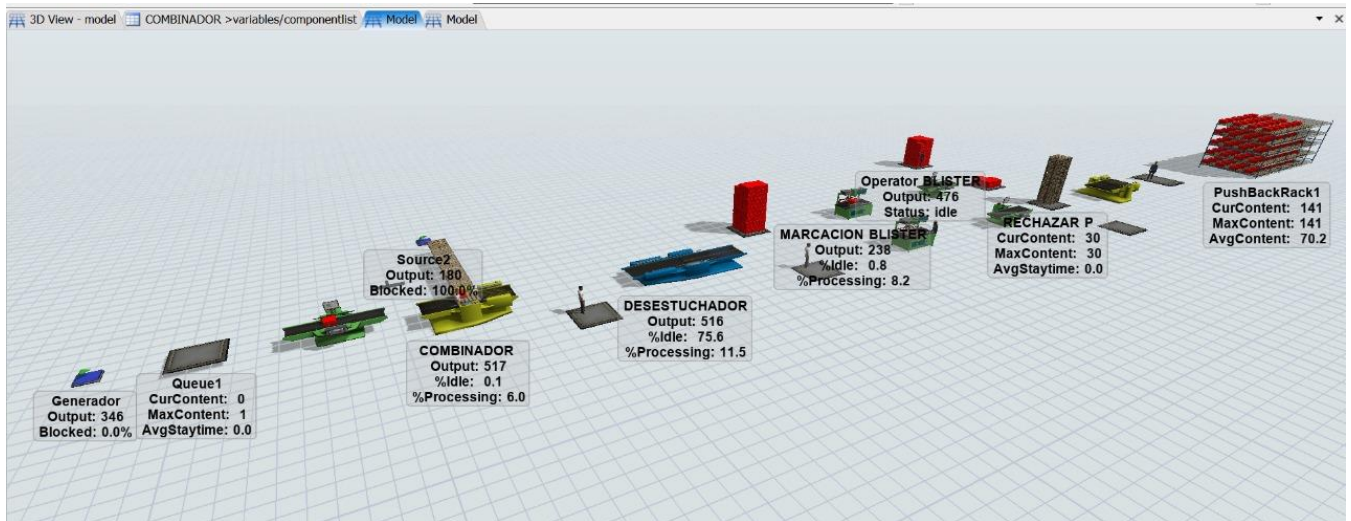


Nota. Elaboración propia.

Modelo en movimiento. Corrida inicial del modelo

Análisis inicial descriptivo (entradas y salidas, porcentaje de eficiencia)

Figura 10 Modelo con estadísticas



Nota. Elaboración propia.

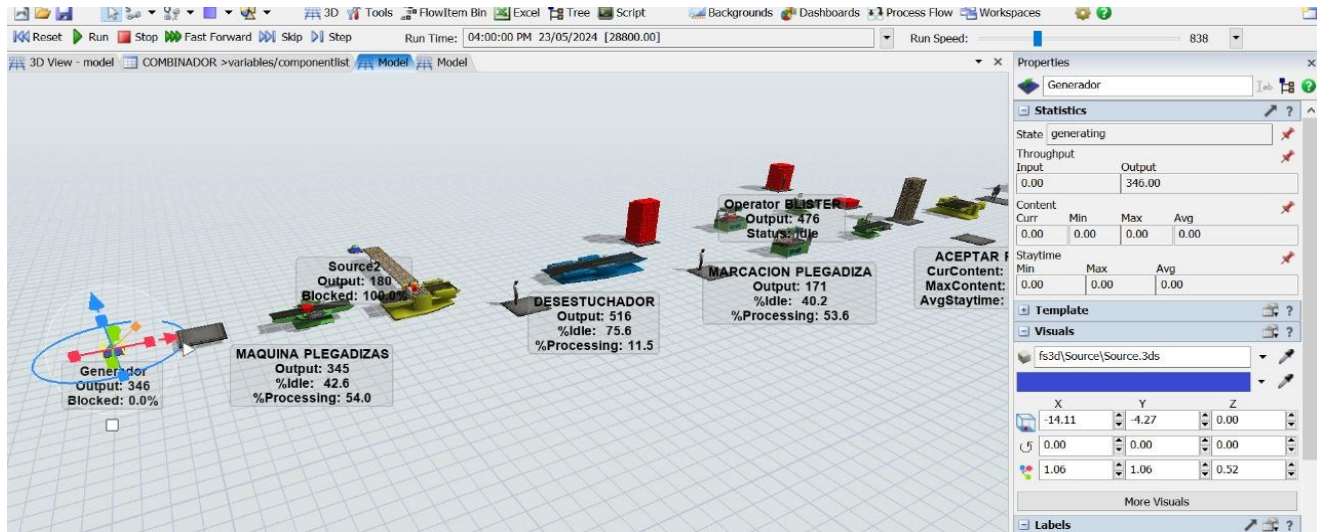
La simulación del proceso de acondicionamiento secundario en el contexto de la industria de productos reciclados en Cali proporciona bases para la comprensión de las operaciones mediante el uso de pruebas de bondad y ajuste junto con la alimentación de un modelo conceptual en FlexSim. Las pruebas realizadas permitieron seleccionar distribuciones de probabilidad específicas para cada actividad, reflejando con precisión la variabilidad y las particularidades operativas del proceso para el Producto 1. El uso del software FlexSim es esencial para visualizar de manera efectiva el flujo del proceso, facilitando la identificación preliminar de áreas potenciales de mejora antes de proceder a la identificación explícita de cuellos de botella. A través de este enfoque metódico, se establecen las bases para una exploración más profunda de ineficiencias y retrasos, preparando el escenario para intervenciones que puedan mejorar sustancialmente la eficiencia y la productividad del proceso.

4.3.3 Identificación de cuellos de botella y áreas de ineficiencia (descriptivo)

A continuación, se describe en primer lugar un ejemplo de los resultados de los diferentes dashboards operativos y de operarios del modelo de simulación que se diseñó.

Operaciones

Figura 11 Dashboards del generador (inicio del proceso) producto 1



Nota. Elaboración propia.

Tabla 8 Resumen resultados dashboards de las estaciones (operaciones) producto 1

Estación	Estado	Indicadores de rendimiento (KPIs)								
		Throughput			Contenido				Staytime	
		Input	Output	Curr	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
Generador	Generando	0.00	346.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Queue 1	Empty	346.00	346.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Maquina plegadizas	Processing	346.00	345.00	1.00	0.00	1.00	0.57	47.83	52.18	47.84
Combinador	Collecting	518.00	517.00	1.00	0.00	2.00	1.00	0.00	187.99	55.46
Queue 2	Empty	172.00	172.00	0.00	0.00	1.00	0.05	5.59	8.05	8.03
Desestuchador	Idle	516.00	516.00	0.00	0.00	3.00	0.36	5.58	50.55	20.00
Control blister	Releasing	344.00	239.00	105.00	0.00	106.00	52.81	0.00	8775.75	4431.06
Control plegadiza	Empty	172.00	172.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Marcación blister	Setup	239.00	238.00	1.00	0.00	1.00	0.99	113.72	125.51	119.88
Marcación plegadiza	Procesing	172.00	172.00	1.00	0.00	1.00	0.60	90.70	104.20	100.45
Verificación blister	Idle	238.00	238.00	0.00	0.00	1.00	0.07	4.16	11.60	8.31
Verificación plegadiza	Idle	171.00	171.00	0.00	0.00	1.00	0.05	5.10	11.46	8.36
Aceptar blister	Releasing	221.00	141.00	80.00	0.00	80.00	38.57	0.00	10102.53	5034.81
Rechazar blister	Releasing	17.00	0.00	17.00	0.00	17.00	8.65	0.00	0.00	0.00
Aceptar plegadiza	Empty	141.00	141.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Rechazar plegadiza	Releasing	30.00	0.00	30.00	0.00	30.00	14.65	0.00	0.00	0.00
Estuchado final	Idle	282.00	282.00	0.00	0.00	2.00	0.06	0.00	18.41	5.96
Queue 3	Empty	141.00	141.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Almacenamiento (Push Back Rack1)	Idle	141.00	0.00	141.00	0.00	141.00	70.25	0.00	0.00	0.00

Nota. Elaboración propia.

Análisis estaciones de trabajo (operaciones)

Para analizar los cuellos de botella y las áreas de ineficiencia en el proceso de acondicionamiento secundario utilizando los datos de los Dashboards de FlexSim, se inicia con la observación de algunos indicadores clave de rendimiento (KPIs) como el Throughput, el contenido actual (Curr), y los tiempos de estancia (Staytime). Aquí se proporciona un enfoque sistemático para identificar los posibles cuellos de botella y zonas de ineficiencia:

Análisis de estaciones y cuellos de botella

Generador (Generando):

Throughput: 346 unidades salen.

Staytime: No aplica, ya que solo genera.

Maquina plegadizas (Processing):

Throughput: 346 unidades entran, 345 salen.

Staytime promedio: 47.84 segundos.

Observación: prácticamente todas las unidades pasan por la máquina sin demora significativa, sugiriendo buena eficiencia.

Combinador (Collecting):

Throughput: 518 unidades entran, 517 salen.

Staytime promedio: 55.46 segundos.

Observación: aunque procesa muchas unidades, el staytime es moderado, lo cual es un indicativo de eficiencia aceptable.

Desestuchador (Idle):

Throughput: 516 entran y salen.

Staytime promedio: 20.00 segundos.

Observación: alta eficiencia, casi todas las unidades pasan rápidamente.

Control blister (Releasing):

Throughput: 344 unidades entran, 239 salen.

Curr: 105 unidades.

Staytime promedio: 4431.06 segundos.

Observación: este es un claro cuello de botella. La alta cantidad de unidades retenidas y el alto staytime promedio indican una importante ineficiencia.

Marcación blister (Setup):

Throughput: 239 unidades entran, 238 salen.

Staytime promedio: 119.88 segundos.

Observación: eficiencia razonable, pero cercana al límite.

Aceptar y Rechazar blister (Releasing):

Throughput (aceptar): 221 entran, 141 salen.

Curr (aceptar): 80 unidades.

Staytime promedio (aceptar): 5034.81 segundos.

Observación: otro cuello de botella significativo, con altos tiempos de espera y muchas unidades retenidas.

Almacenamiento (Push Back Rack1):

Throughput: 141 unidades entran.

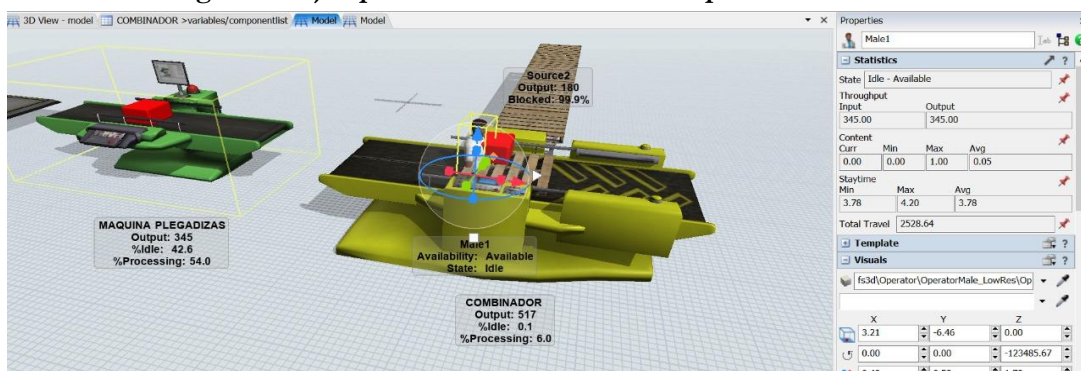
Curr: 141 unidades permanecen almacenadas.

Staytime promedio: 70.25 segundos.

Observación: como etapa final del proceso de acondicionamiento secundario, el almacenamiento retiene todas las unidades sin requerir salida, cumpliendo con su función de conservación de producto hasta la próxima etapa de distribución o uso.

Operadores

Figura 12 Ejemplo resultados dashboards operador Male 1



Nota. Elaboración propia.

Tabla 9 Resumen dashboards operadores producto 1

Operador	Estado	Indicadores de rendimiento (KPIs)								
		Throughput			Contenido			Staytime		
		Input	Output	Curr	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
Male 1	Idle - Available	345.00	345.00	0.00	0.00	1.00	0.05	3.78	4.20	3.78
Male 2	Idle - Available	688.00	688.00	0.00	0.00	1.00	0.09	2.86	4.61	3.63
Male 3	Idle - Available	172.00	172.00	0.00	0.00	1.00	0.02	3.88	4.11	3.88
Operador plegadiza	Utilize	342.00	342.00	0.00	0.00	1.00	0.05	4.30	4.78	4.53
Operador blister	Idle	476.00	476.00	0.00	0.00	1.00	0.08	3.17	6.52	5.10
Almacenista	Idle	141.00	141.00	0.00	0.00	1.00	0.03	5.24	5.24	5.24

Nota. Elaboración propia.

Análisis operadores (recurso humano)

Al analizar los dashboards de los operarios en el proceso de acondicionamiento secundario, se observan diferencias significativas en su desempeño y utilización. A continuación, se detallan las observaciones y conclusiones derivadas del análisis de los indicadores de rendimiento de cada operario:

Análisis de Operarios

Operadores Male 1, Male 2, Male 3 (Estado: Idle - Available):

Throughput: todos manejan un volumen significativo de operaciones, pero permanecen disponibles sin ocupación después de su tarea, lo que indica una eficiencia operativa en sus respectivas tareas pero también un posible exceso de capacidad.

Staytime promedio:

Male 1: 3.78 segundos.

Male 2: 3.63 segundos.

Male 3: 3.88 segundos.

Observación: estos operarios están subutilizados, lo cual sugiere que hay capacidad laboral que podría ser redirigida o ajustada para mejorar la eficiencia global del proceso.

Operador plegadiza (estado: Utilize):

Throughput: 342 unidades, todas procesadas eficazmente sin retrasos.

Staytime promedio: 4.53 segundos.

Observación: este operador está bien utilizado, con tiempos de estancia mínimos, indicando una alta eficiencia y adecuada asignación de carga de trabajo.

Operador blister (estado: Idle):

Throughput: 476 unidades, procesadas sin retención de producto.

Staytime promedio: 5.10 segundos.

Observación: aunque no hay retrasos significativos en el procesamiento, el estado "Idle" sugiere que hay períodos de inactividad que podrían optimizarse.

Almacenista (estado: Idle):

Throughput: 141 unidades, procesadas sin incidentes.

Staytime promedio: 5.24 segundos, sin variabilidad.

Observación: la constancia en el staytime y el estado de inactividad indican una posible sobrecapacidad o ineficiencia en la planificación del trabajo.

4.4 Desarrollo objetivo 4: Validación del modelo de simulación asegurando que refleje con precisión las operaciones reales y que sea capaz de predecir con eficacia el impacto de las mejoras

Según lo expuesto por García et al. (2006), la validación de un modelo implica ejecutar una serie de pruebas usando datos reales como entrada para evaluar su comportamiento y resultados, con el objetivo de reflejar y mejorar un proceso existente. Las pruebas deben realizarse bajo condiciones operativas actuales para garantizar que el modelo simule fielmente la realidad del proceso. En casos donde se diseñe un proceso nuevo, la validación puede ser más compleja y típicamente involucra la introducción de escenarios propuestos por el cliente para asegurar que el comportamiento del modelo se alinee con las expectativas previstas basadas en experiencias previas. Es crucial que el analista tenga un profundo entendimiento del modelo para poder explicar cualquier discrepancia entre los resultados simulados y las

expectativas de los expertos involucrados en su validación.

Con esto en mente, se tomó en cuenta la descripción de actividades de cada proceso para los productos 1, 2 y 3 que se llevó a cabo en el primer objetivo; además del DOP (figura 1) y los DAP para cada uno de los productos analizados (figuras 2, 3 y 4), de los cuales solo se tomó el producto 1, porque solo este fue seleccionado para el estudio de simulación con el software FlexSim, se tiene la validación del modelo que refleja la realidad en detalle de cada una de las actividades con la estación de trabajo correspondiente. Al mismo tiempo que se describen los recursos humanos utilizados para cada una de ellas. Todo lo cual fue cotejado en la primera corrida del modelo inicial, según figura 10 que es la prueba de esta validación, que indica que se representa la realidad de los procesos y puede predecir con exactitud el impacto de las mejoras que se presentan a continuación.

4.5 Propuesta de mejoras basadas en los resultados de la simulación para aumentar la capacidad instalada en la maquila de acondicionamiento secundario de medicamentos

De acuerdo con los resultados de la identificación de cuellos de botella y áreas de ineficiencia, se opta por las siguientes recomendaciones para aumentar la capacidad instalada en la maquila del proceso de acondicionamiento secundario de medicamentos (productos 1, 2 y 3).

Principales cuellos de botella: control blister, aceptar blister y almacenamiento (push back rack1) son los principales puntos de ineficiencia. Estas áreas requieren revisión inmediata para mejorar el flujo del proceso y reducir los tiempos de espera.

Mejora propuesta opción 1:

Revisar la capacidad de procesamiento y los métodos de operación en el control blister y aceptar blister ayudará a disminuir los altos tiempos de espera.

Así mismo, tener en cuenta la automatización en áreas críticas y realizar un análisis más profundo para optimizar los parámetros de las máquinas contribuirá significativamente a la mejora del proceso.

De igual manera, el establecer un sistema de monitoreo en tiempo real permitirá identificar rápidamente los cuellos de botella y ajustar los procesos según sea necesario.

Mejora propuesta opción 2:

Se debe tomar en cuenta la redistribución de tareas entre los operarios para balancear mejor la carga de trabajo y reducir la inactividad. Específicamente, los operarios Male 1, Male 2 y Male 3 podrían asumir más responsabilidades o apoyar en áreas con mayor carga como las operaciones con los blister. Lo cual conlleva el fomentar la capacitación cruzada entre los operarios para aumentar su versatilidad y permitir una distribución más flexible de las tareas según las necesidades del momento.

Así mismo, se propone analizar los procesos operativos para identificar mejoras que puedan reducir el tiempo de inactividad y aumentar la eficiencia operativa. Esto incluye la revisión de los flujos de trabajo y la posible automatización de tareas repetitivas (verificación de la marcación en cada puesto de trabajo). Finalmente, implementar un sistema de monitoreo en tiempo real para evaluar constantemente el desempeño de los operarios y ajustar la asignación de recursos de manera dinámica según las demandas del proceso de producción.

Propuesta operativo con layout diferente opción # 3

Capacidad instalada actual 141 elementos almacenados.

Con una productividad general del sistema del 40,75% (141 und finales / 346 und que ingresan al sistema)-.

Propuesta de mejora por estación de trabajo

Mejora en el operador de blister

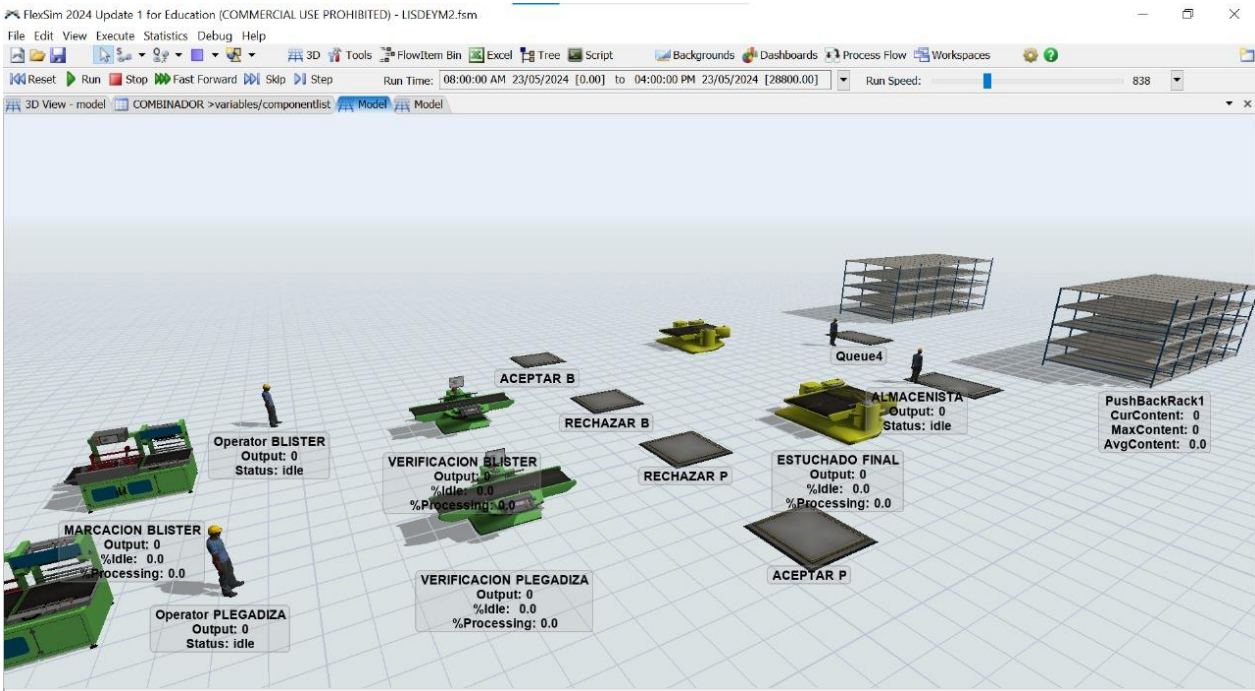
Abrir línea de estuchado final paralela con las mismas especificaciones

Ampliar la capacidad de almacenamiento (2) estuchado final 1 y 2 con probabilidad de llegada del 50% cada uno de ellos.

Lo que implica que con la misma llegada de unidades se tiene la capacidad instalada para 282 unidades almacenadas lo que significa una productividad del sistema del 81,5%, con un incremento de la productividad del 40,75%.

A continuación, se detalla el layout del nuevo modelo con los cambios incluidos. (Figura 13).

Figura 13 Mejoras propuestas



Nota. Elaboración propia.

Con base a los hallazgos identificados durante la evaluación del proceso de acondicionamiento secundario de medicamentos para los productos 1, 2 y 3, se han desarrollado propuestas concretas de mejora que abordan directamente los cuellos de botella y áreas de ineficiencia críticas, especialmente en el control de blister, la aceptación de blister y el almacenamiento en push back rack1. Estos puntos críticos, al ser optimizados, pueden mejorar sustancialmente el flujo del proceso y disminuir los tiempos de espera.

Una estrategia esencial para el incremento de la capacidad operativa incluye revisar y ajustar la capacidad de procesamiento y los métodos operativos en las estaciones de control y aceptación de blister. Implementar la automatización en estas áreas críticas y realizar un análisis profundo para optimizar los parámetros de las máquinas mejorará significativamente la eficiencia del proceso. Además, el establecimiento de un sistema de monitoreo en tiempo real permitirá la identificación y ajuste rápido de los cuellos de botella, facilitando intervenciones precisas y oportunas.

Alternativamente, la redistribución de tareas entre operarios para equilibrar la carga de trabajo y la capacitación cruzada son fundamentales para aumentar la flexibilidad operativa y mejorar la eficiencia general. La revisión de flujos de trabajo y la automatización de tareas repetitivas también son críticas para reducir tiempos muertos y aumentar la productividad. Un sistema de monitoreo continuo evaluará el desempeño de los operarios y ajustará la asignación de recursos dinámicamente para satisfacer las demandas de producción.

Finalmente, se propone un rediseño operativo que incluye la apertura de una línea de estuchado final paralela y la expansión de la capacidad de almacenamiento. Esto permitirá aumentar la capacidad instalada a 282 unidades, elevando la productividad del sistema al 81,5% y marcando un incremento significativo desde el 40,75% actual. Este enfoque integral no solo aborda las deficiencias actuales sino que también prepara el proceso para futuras expansiones y mejoras continuas.

Discusión

Esta investigación aporta un análisis detallado del acondicionamiento secundario en el contexto farmacéutico colombiano, haciendo énfasis en la optimización de procesos mediante la aplicación de técnicas de ingeniería industrial y simulación. Los resultados obtenidos identifican áreas críticas susceptibles de mejora, especialmente en las actividades de marcaje de blísteres y plegadizas, que representan cuellos de botella significativos. La validación del modelo de simulación demostró que este refleja con precisión las operaciones reales y puede predecir eficazmente el impacto de las mejoras sugeridas.

Comparando estos hallazgos con estudios mencionados en el estado del arte, se puede observar paralelismos y diferencias significativas. Para el estudio de Corrotea et al. (2024) sobre el uso de simulación en la gestión del

mantenimiento en una empresa portuaria resalta la transición de mantenimiento correctivo a preventivo, lo cual se alinea con la necesidad en este estudio de pasar de procesos reactivos a procesos más controlados y previsibles en la industria farmacéutica. Esto subraya la importancia y la aplicabilidad transversal de las técnicas de simulación para optimizar operaciones y prevenir problemas antes de que afecten la producción.

Por otro lado, el enfoque de De Faria et al. (2024) sobre la planificación logística sostenible mediante simulación-optimización, aunque en un contexto diferente, resalta la capacidad de la simulación para adaptarse a cambios dinámicos y gestionar incertidumbres, un aspecto crucial también en el sector farmacéutico. Los resultados del presente estudio enfatizan la simulación como una herramienta para mejorar la eficiencia operativa y la capacidad de respuesta, alineándose con la idea de De Faria de utilizar la simulación para manejar de manera eficiente y sostenible las operaciones logísticas.

En este orden de ideas, Ordu et al. (2023) discuten el uso de la simulación en la gestión hospitalaria para balancear demanda y capacidad, destacando cómo la simulación puede facilitar decisiones informadas y eficientes. Esta idea se complementa con los hallazgos de esta investigación, donde la simulación permitió identificar cuellos de botella y prevenir el impacto de las mejoras propuestas en la eficiencia y en la reducción de tiempos de espera.

Finalmente, Wuennenberg et al. (2023) exploran la combinación de minería de datos con simulación para superar la falta de datos de alta calidad, lo que se considera un aporte valioso para futuras investigaciones en este entorno empresarial, donde los datos precisos son fundamentales para la simulación efectiva y las decisiones basadas en evidencia.

Por lo tanto, esta discusión no solo valida la utilización de simulaciones en el acondicionamiento secundario de medicamentos, sino que también pone de relieve cómo estas técnicas pueden ser adaptadas y aplicadas en diversos contextos industriales para mejorar significativamente la eficiencia operativa y la toma de decisiones estratégicas. Los paralelismos con estudios anteriores refuerzan la relevancia de esta investigación y su contribución a la literatura existente en el campo de la ingeniería industrial y la logística.

5. CONCLUSIONES

Los resultados del análisis detallado del proceso de acondicionamiento secundario mediante la toma de tiempos y movimientos para cada código de producto, proporcionó una visión detallada de las operaciones críticas dentro de la cadena de suministro farmacéutica. Las actividades implicadas, que incluyen el reempaquetado, etiquetado y preparación final de los productos para su distribución, representan fases fundamentales en las que se identificaron múltiples oportunidades para la optimización del rendimiento y la reducción de tiempos operativos.

A través del uso de herramientas de ingeniería industrial, este estudio ha permitido cuantificar y evaluar meticulosamente la duración y eficiencia de las tareas específicas asociadas a los productos 1, 2 y 3, destacando la diversidad en la complejidad y demandas de cada línea de producto. Los análisis revelaron que, aunque las operaciones son efectivas hasta cierto punto, existen ineficiencias y cuellos de botella significativos que afectan negativamente tanto la productividad como la calidad del proceso. Estas áreas críticas, particularmente en las etapas de marcación y verificación, son susceptibles de mejora mediante la introducción de tecnologías avanzadas y la reevaluación de los flujos de trabajo para agilizar el proceso sin comprometer los estándares de calidad.

Además, el estudio proporcionó datos que fundamentan la necesidad de intervenciones dirigidas a optimizar el uso de recursos y la capacidad operativa. La implementación de soluciones de automatización y la revisión del diseño del proceso pueden conducir a mejoras tangibles, reflejadas en la reducción de tiempos de espera y una mayor eficiencia general. Estas modificaciones no solo mejoran la capacidad de respuesta y flexibilidad del sistema de acondicionamiento secundario, sino que también establecen una base sólida para la mejora continua, asegurando que el operador logístico mantenga y mejore su competitividad en el mercado.

En cuanto al diseño de un modelo conceptual para el proceso de acondicionamiento secundario en la industria farmacéutica, un paso crucial que abarca desde el marcado de blísteres hasta el empaque secundario de los productos. Este modelo no solo se alinea con los requisitos reglamentarios sino que también garantiza la integridad del producto hasta su llegada al consumidor. Utilizando herramientas avanzadas como Bizagi para la diagramación y FlexSim para la simulación, se logró crear una representación precisa y funcional del proceso, permitiendo una exploración detallada de cada paso y la identificación de oportunidades para optimizar la productividad.

La simulación del proceso de acondicionamiento secundario que se llevó a cabo, utilizando el modelo conceptual diseñado previamente, fue determinante para identificar cuellos de botella y áreas de ineficiencia dentro del proceso, lo que se logra mediante pruebas de bondad y ajuste de 30 mediciones de todas las actividades relevantes para cada uno de

los productos. Fue seleccionado el producto 1, el cual proporciona un ejemplo detallado de cómo se pueden abordar y analizar los métodos y hallazgos de la simulación a través de la descripción de todas y cada una de las actividades.

El proceso comenzó con la validación estadística de los datos, seleccionando distribuciones de probabilidad adecuadas para cada actividad basadas en las pruebas de bondad y ajuste realizadas. Estas distribuciones ayudan a reflejar la variabilidad y las especificidades operativas reales del proceso, lo que es esencial para una simulación precisa. Con los datos ajustados, se alimentó el modelo conceptual en FlexSim, un software avanzado de simulación, para visualizar y analizar el flujo del proceso.

La simulación permitió una exploración detallada del proceso, destacando áreas donde los flujos no eran óptimos y donde los recursos podrían estar subutilizados o sobrecargados. Se identificaron estaciones específicas dentro del proceso que mostraban tiempos de espera prolongados o altas tasas de ocupación, indicando posibles cuellos de botella. Estos hallazgos fueron fundamentales para proponer ajustes y mejoras en la maquila de acondicionamiento secundario de productos médicos para el Laboratorio Farmacéutico ABC en Cali.

La validación del modelo de simulación desarrollado, se realizó tomando en cuenta lo necesario para asegurar que reflejara con precisión las operaciones reales y que sea capaz de predecir eficazmente el impacto de las mejoras propuestas. Este paso es crucial para garantizar la fiabilidad y aplicabilidad del modelo en la planificación y optimización de procesos en la industria farmacéutica.

Este proceso de validación se centró en la contrastación de los resultados obtenidos mediante el uso de diagramas operativos y de análisis de procesos (DOP y DAP) para los productos estudiados, con especial énfasis en el Producto 1, dado su nivel de complejidad y volumen de insumos. Esta etapa de validación implicó una comparativa directa entre los tiempos y movimientos reales observados y aquellos generados por el modelo de simulación.

A través de esta metodología, se identificó que el modelo replicaba adecuadamente la realidad operativa del proceso de acondicionamiento secundario, reflejando con precisión los tiempos de operación y las tasas de producción. Particularmente, los indicadores de acumulación de elementos en puntos críticos como el deestuchador y el operador de blister, evidenciaron la presencia de cuellos de botella que el modelo pudo simular efectivamente, coincidiendo con una efectividad general del proceso del 65%.

Estos hallazgos confirmaron que el modelo no solo es una representación fidedigna del proceso actual, sino que también posee la capacidad de prever las repercusiones de posibles intervenciones para la mejora del rendimiento operativo. Esto establece una base sólida para futuras acciones de optimización, permitiendo ajustes informados y dirigidos a superar las deficiencias identificadas. Así, el modelo se valida no solo por su precisión técnica sino también por su relevancia práctica, ofreciendo un recurso valioso para la planificación estratégica y la mejora continua dentro de la industria farmacéutica.

En respuesta a los cuellos de botella y áreas de ineficiencia identificados durante la simulación del proceso de acondicionamiento secundario de medicamentos, se presentan tres estrategias principales. Estas estrategias, que constituyen el quinto objetivo de este estudio, buscan aumentar la capacidad instalada y mejorar la eficiencia operativa.

Primera, se sugiere optimizar las estaciones críticas de control y aceptación de blísteres mediante la revisión de métodos operativos y la automatización de procesos. Esta intervención se enfoca en la disminución de los tiempos de espera prolongados que afectan la productividad. Además, se recomienda la implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real para detectar y ajustar rápidamente cualquier ineficiencia que surja durante la operación.

Las recomendaciones de optimizar las estaciones críticas de control y aceptación de blísteres y de implementar un sistema de monitoreo en tiempo real surgieron directamente de los resultados obtenidos en las simulaciones del modelo. Durante estos experimentos, se identificaron tiempos de espera prolongados como uno de los principales factores que afectan la productividad. Al ajustar y monitorear estas estaciones específicas en el modelo, se observó una mejora significativa en la eficiencia operativa. Por lo tanto, estas recomendaciones están fundamentadas en evidencias empíricas proporcionadas por el modelo de simulación, validando su efectividad en mejorar los procesos reales de acondicionamiento secundario.

Segunda, es importante redistribuir las tareas y fomentar la capacitación cruzada entre los operarios para equilibrar la carga de trabajo y aumentar el nivel de utilización del recurso. Esto permitirá una asignación más efectiva de las tareas según las demandas operativas del sistema.

Tercera, se propone ampliar la capacidad de almacenamiento, introduciendo una línea paralela de estuchado final que podría incrementar significativamente la productividad del sistema del 40,75% actual a un 81,5%.

La estrategia propuesta de ampliar la capacidad de almacenamiento e introducir una línea paralela de estuchado final proviene directamente de los experimentos realizados con el modelo de simulación. Durante las pruebas del modelo, se exploraron varios escenarios donde se ajustaron la capacidad de almacenamiento y la configuración de las líneas de producción. Al introducir una línea paralela en el modelo y simular su funcionamiento junto con ajustes en la capacidad de almacenamiento, se observó un incremento potencial en la productividad del sistema del 40,75% actual a un 81,5%. Estos resultados proporcionan una base sólida para considerar esta estrategia como una solución viable y efectiva para mejorar la eficiencia operativa en el proceso de acondicionamiento secundario de medicamentos.

Estas mejoras están diseñadas para optimizar el flujo del proceso, reducir los tiempos de espera, y aumentar la eficiencia general, incrementando la capacidad instalada de la maquila de acondicionamiento secundario para que manejar un mayor volumen de producción sin comprometer la calidad del servicio.

REFERENCIAS

- Aguezoul, A. (2014). Third-party logistics services providers: an overview. *The International Journal of Logistics Management*.
- Ballou, R. H. (2004). *Logística. Administración de la cadena de suministro*. Pearson Educacion.
- Banks, J. (1984). *Discrete-event system simulation*. Prentice Hall.
- Beaverstock, M., Greenwood, A., & Nordgren, W. (2010). *Applied Simulation: Modeling and Analysis using FlexSim*. FlexSim Software Products, Inc.
- Caucali García, V. S. (2022). Análisis de toma de tiempo del proceso de acondicionamiento de una maquila en un operador logístico. Universidad Militar Nueva Granada.
- Christopher, M. (2011). *Logistics & Supply Chain Management*. Financial Times Prentice Hall.
- Corrotea, H., Portales, H., Amigo, L., Gatica, G., Troncoso-Palacios, A., Mondragón, D., & Ramos, M. (2024). Maintenance Process Analysis in a Port Cargo Company. *Procedia Computer Science* (231), 415-420.
- Duran, C., Cetindere, A., Emre Aksu, Y. (2015). Productivity Improvement by Work and Time Study Technique for Earth Energy-glass Manufacturing Company. *Procedia Economics and Finance* 26, pp. 109 – 113
- F. de Faria, C., Almeida, J., & Pinto, L. (2024). Simulation–optimisation approach for sustainable planning of intermodal. *Decision Analytics Journal* (10). <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.8083648>
- Fajardo González, H. M. (2017). Análisis del sector de operadores logísticos en Colombia, para la creación de un modelo de selección de servicios logísticos. Universidad Nacional de Colombia.
- Fonseca Casas, P. (2000). *Introducción a la simulación*. Universitat Oberta de Catalunya.
- García Dunna, E., García Reyes, H. y Cárdenas Barrón, L. E. (2006). *Simulación y análisis de sistemas con ProModel*. Pearson Educación.
- Hsiang-Hsi Huang a, Wen Pei b, Horng-Huei Wu b, Ming-Der May. (2013). Research on problems of mixed-line production and the re-scheduling. *Robotic and Computer- Integrated Manufacturing* 29(3), pp. 64-72.
- Huang, H-H., Pei, W., & Wu, H-H. (2021). *Simulation Optimization for Production Planning Using FlexSim*. Springer.
- Isaza Ramírez, C. E. y Osorio Bolíva, Ch. A. (2018). Impacto en el mejoramiento de los estándares de producción en el área de acondicionamiento secundario, con base en la información suministrada por el software especializado en la compañía ABC. Universidad Autónoma de Occidente.
- Kaczmar, I. (2019). Komputerowe modelowanie i symulacje procesów logistycznych w środowisku FlexSim (Miękka)
- Law, A.M., & Kelton, W.D. (2000). *Simulation modeling and analysis*. McGraw-Hill International Series.
- Tikas, L.G., McCulloch, R.I., Pentiah, S.D., Baxter, R.F. (2012). Simulation Tools to Complement Cast House Design and Daily Operation. In: Suarez, C.E. (eds) *Light Metals 2012*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48179-1_173
- Marwala, T. (2013). *Rational Decision Making*. Cambridge University Press.
- Merkuryev, Y., Merkuryeva, G., Piera, M. A., & Guasch, A. (2009). *Simulation-Based Case Studies in Logistics*. Springer.

- Ordu, M., Demir, E., Tofallis, C., & Gunal, M. (2023). A comprehensive and integrated hospital decision support system for efficient and effective healthcare services delivery using discrete event simulation. *Healthcare Analytics* 4. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.health.2023.100248>
- Pedrielli, G., Tolio, T., Terkaj, W., & Sacco, M. (2012). *Distributed Modeling of Discrete Event Systems*. IntechOpen.
- Solano Betancourt, J. (8 de mayo de 2023). El sector farmacéutico se expandirá más de 2% este año liderado por Tecnoquímicas. *La República*. <https://www.larepublica.co/empresas/el-sector-farmaceutico-se-expandira-mas-de-2-este-ano-liderado-por-tecnoquimicas-3609969>
- Tokgöz, E. (2021). Industrial Engineering and Simulation Experience Using FlexSim Software. *Computers in Education Journal*.
- Wuennenberg, M., Wegericha, B., & Fottner, J. (2023). Towards Data Management and Data Science for Internal Logistics Systems using Process Mining and Discrete-Event Simulation. *Procedia CIRP* (120), 852-857.
- Zona logística. (2016). ¿Qué es un operador logístico? http://www.zonalogistica.com/articulos-especializados/que-es-un-operador-logistico/#_ftn1