



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

REDISEÑO DE UNA PLANTA DE SACRIFICIO DE POLLO PARA LA INSTALACIÓN DE NUEVOS
EQUIPOS DE MAYOR CAPACIDAD EN EL ÁREA DE DESPRESE

Programa de Maestría en Ingeniería Industrial

Presentado por:

Orlando Rivera González

Dirigido por:

Francisco Muñoz Prado

PhD. Ingeniería Industrial

Pontificia Universidad Javeriana Cali

Facultad de Ingeniería y Ciencias

Mayo de 2024

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
Figura 1. Proceso de producción de pollo.....	1
2. POSIBLE TÍTULO DE TRABAJO DE GRADO.....	3
3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	4
3.1 Planteamiento del problema	4
Figura 2. Consumo per cápita nacional.....	4
Figura 3. Crecimiento producción últimos 6 años	6
Figura 4. Capacidad actual Línea Despese 2024.....	6
3.2 Pregunta de investigación.....	7
3.3 Alcance del trabajo de grado	7
4. OBJETIVOS DEL PROYECTO	8
4.1 Objetivo general	8
4.2 Objetivos específicos	8
4.3 Resultados esperados	8
5. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO.....	9
6. MARCO DE REFERENCIA.....	11
6.1 Simulación de eventos discretos en la redistribución de plantas.....	11
7. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	14
7.1 Caracterización del proceso.....	14
7.1.1 Definir los límites del proceso.....	14
7.1.2 Mapear el flujo del proceso	14
7.1.3 Descomponer el proceso	14
7.1.4 Identificar las actividades clave	14
7.2 Análisis de entrada.....	14
7.2.1 Registrar el tiempo en cada etapa	14
7.2.2 Identificar actividades críticas.....	14
7.2.3 Analizar las causas de los retrasos	15
7.2.4 Recopilación de datos	15
7.2.5 Análisis descriptivo	15
7.2.6 Modelado probabilístico	15

7.2.7 Interpretación de resultados	15
7.3 Desarrollo del modelo de simulación y validación	16
7.3.1 Diseño del modelo	16
7.3.2 Asignación de parámetros	16
7.3.3 Validación del modelo	16
7.3.4 Ajuste del modelo	16
7.3.5 Verificación del modelo	16
7.4 Propuesta y simulación de escenarios hipotéticos	17
7.4.1 Simular escenarios, validando:	17
7.4.1.1 Nuevo método en la operación de desprese	17
7.4.1.2 Cumplimiento de la programación de producción.....	17
7.4.1.3 Análisis del Throghput	17
7.4.1.4 Análisis de los resultados	17
7.5.1 Resumen de resultados.....	17
7.5.2 Análisis de tendencias.....	17
7.5.3 Mejoramiento del sistema	18
7.5.4 Documentación y presentación	18
7.5.5 Resumen metodología de la investigación.....	19
8. DESARROLLO METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
8.1 Caracterización del proceso	20
8.1.1 Definir los límites del proceso	20
Figura 5. Se muestra diseño del sistema Rapid Meyn utilizado en la planta de procesamiento (Meyn, 2023).....	20
8.1.2 Mapear el flujo del proceso.....	20
8.1.3 Diseño de planta de proceso (antes)	21
Figura 6. Distribución de planta antes de la ampliación. Elaboración propia	21
8.1.4 Diseño de planta de proceso (después).....	22
Figura 7. Distribución de planta propuesta final de la ampliación. Elaboración propia.....	22
8.1.5 Descomponer el proceso.....	22
8.1.5.1 Recepción del pollo	22
8.1.5.2 Despiece.....	22
8.1.5.3 Tipo de corte	22
8.1.5.3.1 Componentes que debe incluir.....	22

8.1.5.3.2 Componentes que debe excluir	23
8.1.5.4 Requisitos técnicos antes de alimentación en máquina.....	23
8.1.5.4.1 Temperatura del producto	23
8.1.5.4.2 Presentación del corte.....	23
8.1.5.4.3 Condición de la piel	23
8.1.5.4.4 Alimentación en la máquina Rápid MEYN	23
8.1.5.4.5 Inspección de calidad: (operario maquina)	24
Tabla 1. Se muestra criterios de calidad. Elaboración propia	24
8.1.5.4.6 Estación de repaso – post rápid.....	24
Tabla 2. Se muestra criterios de rechazo. Elaboración propia	25
Tabla 3. Se muestra controles de área de proceso. Elaboración propia	25
8.1.5.4.7 Identificar las actividades clave	25
8.2 DESARROLLO ANÁLISIS DE ENTRADA.....	26
8.2.1 Desglosar el proceso	26
Tabla 4. Se muestra análisis estadístico de tiempos de procesos por operación de corte en la situación actual. Elaboración propia.....	26
8.2.2 Actividades críticas identificadas	26
8.2.3 Análisis de causas de retrasos.....	27
8.2.3.1 Operadores nuevos en corte (Op2, Op3 y Op6).....	27
8.2.3.2 Inspección, limpieza y almacenamiento (Op1–Op4).....	27
8.2.3.3 Diferencias significativas entre operadores de corte	27
8.2.3.4 Acumulación de trabajo en inspección	27
8.2.4 Recopilación de datos	28
Figura 8. Tiempo de proceso y coeficiente de variabilidad por operación. Elaboración propia	28
8.2.5 Análisis Descriptivo	28
8.2.5.1 Productividad en la Etapa de Corte.....	28
8.2.5.2 Productividad en la Etapa de Inspección, Limpieza y Almacenamiento.....	29
8.2.6 Modelado Probabilístico	29
8.2.6.1 Estación de Op. Máquina e Inspección	30
8.2.6.2 Operarios de Corte.....	30
8.2.6.3 Operarios Antiguos (Op 1, 4, 5, 7, 8, 9)	30
8.2.6.4 Operarios Nuevos (Op 2, 3, 6).....	30
8.2.6.5 Etapa de Inspección y Almacenamiento (Op 1 – Op 4)	30

8.2.6.6 Interpretaciones Global	31
8.3 MODELO DE SIMULACIÓN EN SOFTWARE FLEXSIM - SITUACIÓN ACTUAL	31
Figura 9. Representación en Flexsim – Situación actual del proceso de corte. Elaboración propia.....	31
Figura 10. Representación en Flexsim – Situación actual del proceso de inspección, Limpieza y almacenamiento. Elaboración propia.	31
8.3.1 Parámetros estadísticos modelo situación actual – SOFTWARE FLEXSIM.....	32
Figura 11. Se muestran los parámetros estadísticos obtenidos para las distintas operaciones de la línea de proceso en la situación actual, modeladas en el software FlexSim. En cada caso se muestra la distribución de probabilidad ajustada (gamma) junto con los valores de forma, escala y ubicación empleados para representar el comportamiento del tiempo de proceso.	34
Figura 12. Representación en Flexsim – Simulación del flujo productivo total y localización cuellos de botella. Elaboración propia.....	34
8.3.2 Resultados estadísticos modelo situación actual – SOFTWARE FLEXSIM.....	36
Figura 13. Indicadores globales de desempeño del proceso productivo en la situación actual. Elaboración propia con base en simulación realizada en el software FlexSim.....	36
8.4 MODELO DE SIMULACIÓN EN SOFTWARE FLEXSIM - MODELO 1	37
Tabla 5. Se muestra análisis estadístico de tiempos de procesos por operación de corte en el modelo 1. Elaboración propia	37
Figura 14. se presenta la disposición de los equipos y estaciones consideradas en el modelo 1.	37
Figura 15. se presenta la inclusión de un nuevo operario para el modelo 1.....	38
8.4.1 Resultados Modelo de simulación en SOFTWARE FLEXSIM - Modelo 1.....	39
Figura 16. Indicadores globales de desempeño del proceso productivo en el modelo 1. Elaboración propia con base en simulación realizada en el software FlexSim.	39
8.4.2 MODELO DE SIMULACIÓN EN SOFTWARE FLEXSIM – MODELO 2.....	40
Tabla 6. Se muestra análisis estadístico de tiempos de procesos por operación de corte en el modelo 2. Elaboración propia	40
Figura 17. se presenta la disposición de los equipos y estaciones consideradas en el modelo 2.	40
Figura 18. se presenta la inclusión de un nuevo operario para el modelo 2.....	41
8.4.3 Resultados Modelo de simulación en SOFTWARE FLEXSIM - Modelo 2.....	42
Figura 19. Indicadores globales de desempeño del proceso productivo en el modelo 2. Elaboración propia con base en simulación realizada en el software FlexSim.	42
8.4.4 MODELO DE SIMULACIÓN EN SOFTWARE FLEXSIM – MODELO 3.....	43
Tabla 7. Se muestra análisis estadístico de tiempos de procesos por operación de corte en el modelo 3. Elaboración propia	43
Figura 20. Se presenta la disposición de los equipos y estaciones consideradas en el modelo 3.	43

Figura 21. Se presenta la inclusión de 1 operario con experiencia en el área de corte para el modelo 3	44
8.4.5. Resultados Modelo de simulación en SOFTWARE FLEXSIM - Modelo 3.....	45
Figura 22. Indicadores globales de desempeño del proceso productivo en el modelo 3. Elaboración propia con base en simulación realizada en el software FlexSim.	45
Figura 23. Comparación visual entre la situación actual y los tres modelos propuestos, destacando los cuellos de botella en cada escenario (marcados en rojo).	46
8.5 ANALISIS FINANCIERO	47
8.5.1 Peso canal pollo beneficiado.....	47
Tabla 8. Tabla de datos peso canal pollo beneficiado. Elaboración propia	47
8.5.2 Costo promedio beneficio.....	47
Tabla 9. Datos costo promedio beneficio. Elaboración propia	47
8.5.3 Costo kg en canal	47
8.5.4 Costo promedio de pollo en canal	48
Costo promedio de pollo asignado por partes.....	48
Tabla 10. Datos costo promedio de pollo asignado por partes. Elaboración propia	48
8.5.5 Costo mano de obra por horas	49
Tabla 11. Datos costo mano de obra por horas. Elaboración propia	49
8.5.6 Análisis financiero del proceso filete porcionado	50
Tabla 12. Datos costo proceso filete porcionado. Elaboración propia.....	50
8.5.7 Producción kg/hora.....	50
8.5.8 Costo de mano de obra del proceso de porcionado	51
8.5.9 Costo de mano de obra por kg/hora	51
8.5.10 Costo total de máquinas por hora	51
8.5.11 Costo del proceso de porcionado	52
8.6 RESUMEN SITUACIÓN FINANCIERA	53
8.6.1 Eficiencia productiva.....	53
8.6.2 Costo total	53
8.6.3 Rentabilidad bruta	53
9. CONCLUSIÓN	54
10. RECOMENDACIÓN TÉCNICA	56
11. RECURSOS A EMPLEAR	57
11.1 Humanos.....	57
11.1.1 Director	57

11.2 Físicos	57
11.3 Tecnológicos	57
11.4 Bibliográficos	57
12. REFERENCIA	58
13. CRONOGRAMA DE TRABAJO	59

RESUMEN

La empresa S.A, empresa del sector alimentario con sede en Guadalajara de Buga, se dedica a la comercialización de carne de pollo. Su proceso productivo inicia en la planta de beneficio, donde se aplican estrictos parámetros y certificaciones de calidad. El proceso consta de seis operaciones principales: sacrificio, escaldado, evisceración, desprese, empaque y distribución. Este estudio presenta la aplicación de simulación para mejorar el rendimiento de la planta en el área de desprese, mediante el análisis de escenarios y parámetros operativos. Avidesa de Occidente S.A adopta estrategias de ingeniería industrial para optimizar sus procesos, aumentando la eficiencia y reduciendo costos. La simulación dinámica les permite validar múltiples opciones rápidamente, una ventaja competitiva crucial en el mercado actual. La toma de decisiones, fundamental para el éxito de los procesos productivos, se beneficia de herramientas como la simulación computacional, que permite experimentar y ajustar procesos sin intervenir físicamente en la producción.

ABSTRACT

The company S.A., a company in the food sector based in Guadalajara de Buga, is dedicated to the commercialization of chicken meat. Its production process begins at the processing plant, where strict parameters and quality certifications are applied. The process consists of six main operations: slaughtering, blanching, evisceration, depressing, packing, and distribution. This study presents the application of simulation to improve the performance of the plant in the deprese area, through the analysis of scenarios and operating parameters. Avidesa de Occidente S.A. adopts industrial engineering strategies to optimize its processes, increasing efficiency and reducing costs. Dynamic simulation allows them to validate multiple options quickly, a crucial competitive advantage in today's market. Decision-making, which is essential for the success of production processes, benefits from tools such as computer simulation, which allows processes to be experimented with and adjusted without physically intervening in production.

1. INTRODUCCIÓN

La **empresa S.A** es una empresa del sector alimentario con sede en la ciudad de Guadalajara de buga dedicada a la utilización de carne de pollo para su comercialización.

El proceso productivo inicia en la planta de beneficio donde son sacrificadas bajo estrictos parámetros y certificaciones de **ISO 9001**, **HACCP** (*Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control*), e **Invima** para finalmente hacer llegar el producto a los mayoristas o al consumidor final a través de sus centros de distribución.

La planta de beneficio de **Avidesa de Occidente S.A** es un sistema de manufactura que consiste en de seis operaciones (ver Figura 1).



Figura 1. Proceso de producción de pollo

Los conceptos a tener en cuenta para el desarrollo del proyecto son los siguientes:

Sacrificio: Proceso mediante el cual matan el ave por el método degüello y consiste en cortar de manera rápida y precisa la arteria carótida y la vena yugular del ave. Esto provoca una pérdida rápida de sangre y, en consecuencia, la muerte del animal. Es importante mencionar que este método debe ser realizado por personas con experiencia para evitar sufrimiento innecesario al animal

Escaldado: Proceso de extracción de plumas. Los pollos se sumergen en agua caliente (Se sumerge al agua con una temperatura de 50° y 60° grados) agitada intensamente, transfiriendo el calor a los folículos de las plumas. Posteriormente este proceso permite extraer las plumas mecánicamente a través de las desplumadoras

Evisceración: Proceso donde se abren las canales con un corte en la piel del abdomen, y se extraen las vísceras y los intestinos de la cavidad abdominal. Cualquier desviación o desalineación de los equipos puede provocar roturas y generar contaminación y pérdidas

Desprese: Proceso mediante el cual las aves sacrificadas son fraccionadas en diferentes cortes.

Empaque: Proceso de manipulación y cargue del producto, hasta su envoltura y paletizado final.

Distribución: Proceso de cargue y despacho hasta su cliente final

Esta investigación presenta un estudio que utiliza la simulación para mejorar el rendimiento de la planta de producción procesadora de pollo del área de desprese mediante escenarios de diseños y ciertos parámetros operativos.

La empresa S.A está adoptando una estrategia sólida al aplicar métodos de ingeniería industrial para optimizar sus procesos de manufactura y logística. Al mapear detalladamente cada proceso, realizar análisis de tiempos e identificar cuellos de botella, consiguiendo aumentar la eficiencia y reducir costos para mantenerse competitivos. El uso de simulación dinámica les brinda la capacidad de responder rápidamente a las demandas del mercado al validar múltiples opciones en poco tiempo, lo que puede ser una ventaja significativa en un entorno empresarial competitivo.

“En la práctica industrial moderna, a menudo se proponen soluciones innovadoras para mejorar los procesos o los sistemas completos de producción o logística. La mejora del proceso de producción incluye varias áreas que deben abordarse. Como por ejemplo Tiempo de ocupación, Tiempo de inactividad, Distancias que recorren los operarios en cuanto a la relación Hombre – Máquina, Identificación de puntos críticos” (Vanessa et al., 2020)

“En la actualidad, se requiere ser cada día más competitivos mediante la optimización de los procesos, esto implica mejorar la utilización y asignación de los recursos que intervienen en la producción. Para muchas empresas la competitividad se define de distintas formas, pero en este caso se caracteriza como la capacidad de una empresa para producir sus productos, usando los recursos eficientemente, de tal forma que permita ser más competitivos; ya que al optimizar la capacidad de producción se puede hacer más, empleando los mismos recursos”.(Vanessa et al., 2020)

Es claro que para **la empresa S.A**, la toma de decisiones es crucial para el éxito de los procesos productivos. la inclusión de herramientas para la toma de decisiones, como la simulación computacional, puede ser invaluable.

Esta herramienta nos estaría permitiendo realizar experimentos y ajustes en sus procesos sin necesidad de intervenir físicamente en la producción, lo que puede ser especialmente beneficioso para la empresa poder controlar sus recursos productivos.

2. POSIBLE TÍTULO DE TRABAJO DE GRADO

Rediseño de una planta de sacrificio de pollo para la instalación de nuevos equipos de mayor capacidad en el área de desprese.

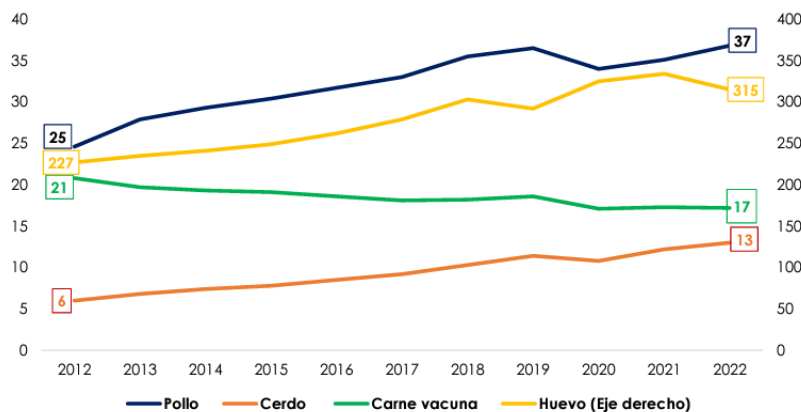
3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

3.1 Planteamiento del problema

La producción avícola colombiana se destina principalmente al consumo interno, y, a la vez, la balanza comercial con el exterior es deficitaria. En especial, se destacan las importaciones de carne de pollo, las cuales representan cerca del 80% del valor de las importaciones del sector avícola del país, y en 2021 alcanzaron los US\$100.7 millones, superando en más de tres veces la cifra registrada en 2015.

A nivel local, la carne de pollo es una proteína fundamental en la alimentación de los colombianos, y su producción está orientada principalmente hacia el mercado interno. A pesar de que el sector avícola debe competir con productos importados, el consumo ha sido atendido en promedio en un 96% por la producción nacional, evidenciando la versatilidad del sector avícola para cubrir la demanda local.

Así mismo, el consumo per cápita de los colombianos de productos avícolas también ha presentado un crecimiento sostenido en los últimos diez años, al pasar de 25 kilogramos de carne de pollo por persona en 2012, a 37 kilogramos por persona en 2021. Es decir, se evidenció un crecimiento en la carne de pollo del 49.6% en ese periodo (ver Figura 2).



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de FENAVI (2023)

Figura 2. Consumo per cápita nacional

Así mismo, los precios de la carne de pollo tampoco fueron ajenos a los efectos de la coyuntura nacional e internacional: entre 2019 y 2022 el precio promedio del pollo aumentó un 69.6%. Con respecto a los cortes del pollo, es posible identificar que la pechuga ha sido el corte de mayor precio y volatilidad, debido principalmente a que es el corte de mayor demanda en Colombia. Sin embargo, el corte que experimentó la mayor variación en el precio entre 2019 y 2022 fueron las alas (82.2%).

En los últimos años el sector avícola ha logrado evidenciar un destacado crecimiento y convertirse en uno de los más relevantes, debido a que ha hecho uso de tecnología altamente tecnificada, y con ello se han logrado crear procesos más eficientes y ofrecer precios relativamente más bajos dentro de las actividades pecuarias. Adicionalmente, dentro de la actividad avícola de pollos y gallinas se pueden distinguir dos conceptos: la avicultura tradicional o familiar y la avicultura industrial o industria avícola. La avicultura tradicional o familiar se caracteriza por la cría de aves sin un plan de negocio definido o de gran complejidad a diferencia de las empresas dedicadas a la avicultura industrial. Por otro lado, la avicultura industrial se caracteriza por explotar comercialmente el pollo como alimento. Esta industria se puede dividir en dos: la producción de carne de pollo y la producción de huevos. Cabe resaltar que esta clasificación no sólo divide la industria en dos mercados distintos, sino también da origen a tipos de organizaciones cuyo diseño organizacional y estructura de modelo de negocio son diferentes (Velandia, 2016).

La empresa S.A tiene como objetivo concreto llevar a cabo una expansión de su planta, incrementando la capacidad de producción en la línea de despiece a través de la adquisición de máquinas de alto rendimiento. Esta estrategia se orienta a reducir la falta de producto por el incremento de la demanda, paros en la línea por fallas en el equipo de producción.

La investigación se enfoca en presentar un nuevo rediseño de distribución en planta para mejorar el proceso de despiece incorporando máquinas de mayor capacidad, destacando la planificación y uso eficiente de los recursos productivos (maquinaria y mano de obra) dispuestos en el área de trabajo.

Actualmente **la empresa S.A** ha tenido un crecimiento año a año considerablemente pasando a ser la empresa la más grande a nivel nacional en el sector de procesamiento del pollo, su

crecimiento ha sido tan progresivo y rápido que vio la necesidad de crecer en infraestructura y equipos para poder satisfacer las necesidades del mercado actual (ver Figura 3).

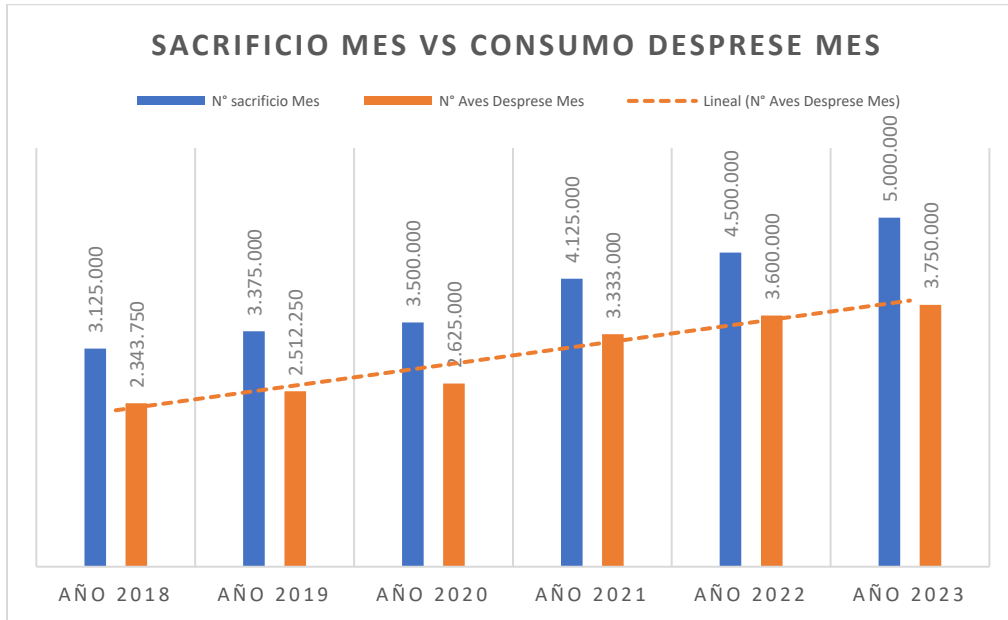


Figura 3. Crecimiento producción últimos 6 años

Actualmente la empresa está operando a su máximo volumen de producción en el área de desprese debido al incremento de la demanda lo que conlleva a realizar turnos adicionales para cumplir con la proyección sus pedidos mes a mes (ver Figura 4).

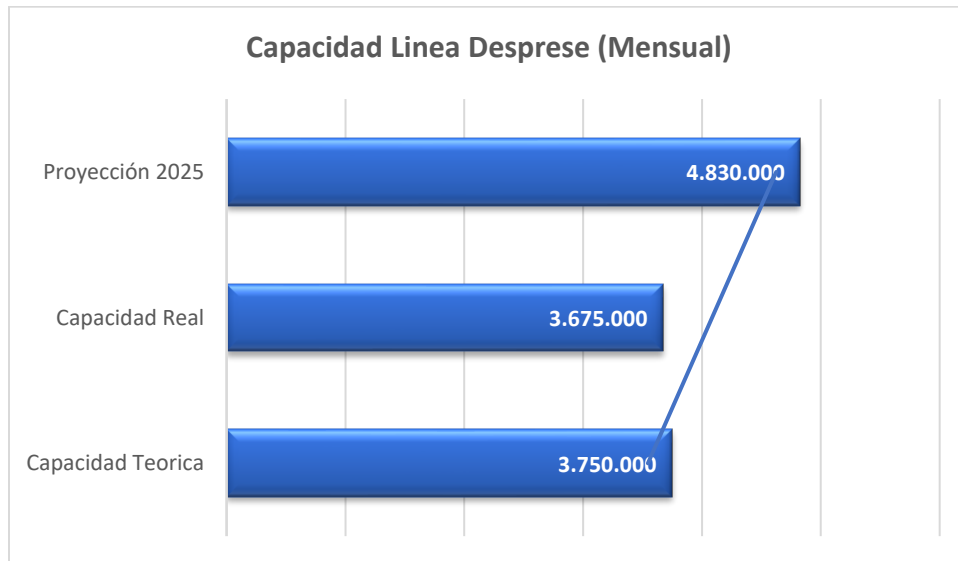


Figura 4. Capacidad actual Línea Desprese 2024

La investigación y formulación del problema se sustentan en la necesidad apremiante de satisfacer la demanda de centros de distribución y clientes específicos. Se ha identificado la complejidad en la determinación de los niveles de producción requeridos, así como la carencia de una planificación eficiente en las combinaciones de obtención de productos para responder de manera efectiva a dicha demanda.

Para dar solución a lo planteado, se propone realizar un modelo mediante el uso de programas de cómputo especializado, el cual se enfatizará en evaluar el comportamiento de cada una de los componentes que intervienen en el proceso de desprese de pollo como los son las siguientes variables:

- ✚ Tiempo de ocupación
- ✚ Tiempo de inactividad
- ✚ Distancias que recorren los operarios en cuanto a la relación Hombre – Máquina
- ✚ Identificación de puntos críticos

Finalmente, la investigación va a proponer un rediseño de distribución en planta que mejora significativamente las distancias recorridas por los operarios, reduce los porcentajes de inactividad de máquinas y trabajadores, anticipando una disminución de cuellos de botella.

3.2 Pregunta de investigación

¿Cómo rediseñar la planta para instalar los nuevos equipos de desprese haciendo que el flujo de producto sea eficiente?

3.3 Alcance del trabajo de grado

Este proyecto de profundización se enfocará en aplicar la metodología de diseño de sistemas de manufactura mediante el uso de programas de cómputo especializado. Logrando integrar equipos de mayor capacidad y mejorar el flujo de productos, con el fin de aprovechar de manera eficiente los recursos productivos disponibles.

4. OBJETIVOS DEL PROYECTO

4.1 Objetivo general

Rediseñar el sistema de manufactura incorporando equipos de mayor capacidad; asegurando un flujo eficiente del producto en toda la línea de producción.

4.2 Objetivos específicos

- Caracterizar el sistema de manufactura actual mediante técnicas de análisis de procesos, análisis estadístico de datos de tiempos de proceso, mapeo de recursos, y análisis de la tasa de flujo, para facilitar la comprensión y el rediseño de la planta.
- Generar diferentes alternativas de diseño de planta que incluyan la integración de nuevos equipos mediante el uso de técnicas cuantitativas y cualitativas para mejorar el impacto en la eficiencia operacional
- Evaluar las alternativas de diseño utilizando herramientas de simulación y de análisis de distribución de planta con el fin de llegar a una recomendación final a la empresa.

4.3 Resultados esperados

- Diagnóstico del estado actual de los procesos del área de desprese y fileteo de la planta de post proceso identificando improductividad y fallas del proceso.
- Identificación de los puntos críticos del proceso del área de desprese con su respectiva propuesta de mejora.
- Un modelo de simulación de eventos discretos en el área de desprese para entender, analizar y mejorar líneas de producción de manera virtual antes de implementar cambios en el entorno real.

5. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO

Teniendo en cuenta el planteamiento del problema descrito anteriormente, **La empresa S.A** tiene como objetivo concreto llevar a cabo una expansión de su planta, incrementando la capacidad de producción en la línea de desprese a través de la adquisición de máquinas de alto rendimiento. Esta estrategia se orienta a reducir la falta de producto por el incremento de la demanda, paros en la línea por fallas en el equipo de producción.

La investigación se enfoca en presentar un nuevo rediseño de distribución en planta para mejorar el proceso de desprese incorporando máquinas de mayor capacidad, destacando la planificación y uso eficiente de los recursos productivos (maquinaria y mano de obra) dispuestos en el área de trabajo, el cual traerá para la empresa varios beneficios, tales como:

- Al departamento financiero se reflejará el incremento en los ingresos, pues a medida que se produce más, la empresa tiene la oportunidad de vender más productos, lo que puede llevar a un aumento en los ingresos.
- Al departamento de producción va a mejorar la eficiencia operativa y productiva, debido a que se va a mejorar cada etapa del proceso, lo que puede resultar en una empresa más ágil y competitiva.
- Al departamento de mercadeo y ventas se reflejará una mayor participación en el mercado, pues al aumentar la producción y la disponibilidad de productos, la empresa puede ganar una mayor participación en el mercado y competir de manera más efectiva con sus rivales.
- La imagen corporativa, si la empresa puede satisfacer la demanda del mercado de manera más efectiva al aumentar la producción fortalece su marca. Sin embargo, es importante tener en cuenta que aumentar la producción también trae nuevos desafíos, como la necesidad de inversiones adicionales en infraestructura, recursos humanos, equipos de producción y la cadena de suministro para manejar el aumento de la producción de manera eficiente y efectiva.

Este nuevo desafío le permite a **la empresa S.A** la utilización de nuevas herramientas de cómputo especializado que nos permitan visualizar y probar el proceso de fabricación con parámetros dinámicos y enfrentando situaciones complejas de manera más realista que los algoritmos matemáticos estáticos. Al simular diferentes escenarios, la empresa puede identificar una buena solución que maximice el rendimiento y minimice los costos antes de implementar cambios en la fábrica o línea de producción

Al aplicar la simulación antes de construir o transformar una fábrica puede evitar costosos ajustes posteriores y garantizar una implementación más eficiente de los cambios. Por consiguiente, la decisión de representar la línea de producción mediante un modelo de simulación es acertada, ya que esta metodología permite comprender mejor el funcionamiento del sistema sin intervenir directamente en el área de producción, lo que resulta en un bajo costo. Utilizar el uso de programas de cómputo especializado es especialmente beneficioso, ya que permite validar toda la información recopilada y generar resultados que son valiosos para mejorar la producción, sin necesidad de realizar cambios físicos en el área de producción.

6. MARCO DE REFERENCIA

6.1 Simulación de eventos discretos en la redistribución de plantas

El uso de modelos de simulación de eventos discretos en sistemas productivos de manufactura juega un papel fundamental al permitir un análisis detallado de cada etapa del proceso de producción. Estos modelos son valiosos para identificar demoras y congestiones en el flujo de trabajo, lo que permite a las empresas priorizar recursos y realizar cambios para optimizar la eficiencia del proceso. Al minimizar los costos asociados con el tiempo de inactividad y los retrabajos, la simulación contribuye significativamente a la rentabilidad y eficacia de las operaciones de fabricación.

El artículo "Simulation and optimization of the assembly line production process" de Schindlerova et al. (2023) ejemplifica este enfoque al desarrollar un modelo de simulación de eventos discretos para analizar y mejorar el flujo de trabajo en una línea de ensamblaje. Utilizando datos reales de una planta de fabricación, los autores validan el modelo y exploran diferentes escenarios para optimizar la eficiencia y la productividad, demostrando así el potencial de la simulación para mejorar la planificación y el diseño de líneas de ensamblaje.

Por otro lado, el artículo "Decision support simulation method for process improvement of intermittent production systems" de Péter Tamás propone un método para mejorar sistemas de producción intermitente. Tamás combina técnicas de simulación con métodos de apoyo a la toma de decisiones para identificar áreas de mejora en estos sistemas, ofreciendo una metodología para optimizar la eficiencia y productividad en este contexto.

Además, el estudio "Modeling and simulation of production systems to evaluate the effect of worker turnover on productivity" de Hibino et al. (2021) resalta cómo la rotación de personal puede impactar negativamente la productividad y eficiencia en sistemas de producción. Los costos adicionales de entrenamiento, las interrupciones en la producción y la disminución en la calidad del producto son algunas de las consecuencias de la rotación frecuente de personal.

El artículo "Optimization and simulation of production line layout based on plant simulation" de Jiang et al. (2022) resalta la relevancia de utilizar la optimización y la simulación para diseñar

eficientemente el layout de líneas de producción en diversas industrias. Esto permite mejorar la eficiencia y la productividad operativa. La importancia radica en su capacidad para reducir costos, optimizar el flujo de trabajo y mejorar el rendimiento general de la planta. Además, proporciona una visión detallada de cómo estas técnicas pueden aplicarse en diferentes sectores industriales, lo que destaca su relevancia para la toma de decisiones estratégicas y la mejora continua en entornos industriales competitivos.

Finalmente, "Simulation modeling and optimization using promodel" de Price y Harrell (1999) explora cómo ProModel mejora la eficiencia y productividad en diversos procesos industriales, resaltando su utilidad en la toma de decisiones estratégicas y optimización del rendimiento operativo.

En la revisión de literatura en cual consulte en diferentes fuentes como lo son: scopus, web of science, springer y journal, destaco el artículo "Optimizing production capacity in a food company using discrete event simulation" de Lina Vanessa Peña Ariza y Heriberto Alexander Felizzola Jimenez, el cual destaca la aplicación de la simulación de eventos discretos para mejorar la capacidad de producción en empresas de alimentos. En este estudio, se detalla el desarrollo e implementación de un modelo de simulación del proceso de producción, desde la recepción de materias primas hasta el empaquetado y envío de productos terminados. Los resultados obtenidos resaltan áreas de mejora y estrategias propuestas para optimizar la capacidad de producción, así como los beneficios observados, como una mayor eficiencia del proceso, reducción de costos operativos y mejora en la calidad del producto. Este artículo proporciona una visión detallada y práctica sobre cómo la simulación de eventos discretos puede ser una herramienta efectiva en la optimización de la capacidad de producción en empresas de alimentos, ofreciendo recomendaciones prácticas para mejorar el proceso.

Para nuestro proyecto de rediseño de planta, la metodología de Peña Ariza y Felizzola Jimenez fue adaptada para el rediseño de una planta de sacrificio de pollo, específicamente para la instalación de nuevos equipos de mayor capacidad en el área de desprese.

Esta revisión de literatura me ha permitido descubrir que esta herramienta se está aplicando en diversas áreas del conocimiento, como la industria automotriz, los hidrocarburos, la energía, los

componentes eléctricos, entre otros. Sin embargo, todas comparten un objetivo común: mejorar la eficiencia y la productividad. Esta herramienta es poderosa porque nos permite validar varios escenarios, planificar y generar diferentes estrategias para tomar decisiones acertadas basadas en datos estadísticos.

7. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

7.1 Caracterización del proceso

Para identificar las operaciones de proceso del despiece del pollo, puedes seguir estos pasos:

7.1.1 Definir los límites del proceso

Establecer claramente donde comienza y termina el proceso de despiece del pollo identificando todas las partes del proceso que tenga incidencia en esta área

7.1.2 Mapear el flujo del proceso

Visualizar el flujo de actividades desde la llegada del pollo hasta su salida del proceso. Esto puede incluir etapas como cuellos de botella, inspección, transporte

7.1.3 Descomponer el proceso

Dividir el proceso de despiece del pollo en etapas de operaciones pequeñas y específicas. Con el fin de identificar mejoras en el proceso productivo.

7.1.4 Identificar las actividades clave

Identificar las actividades clave para cada etapa del proceso es esencial. Por ejemplo, en la etapa de despiece de pollo, una actividad crucial es la programación del plan de producción.

7.2 Análisis de entrada

El análisis del tiempo de un proceso implica examinar la duración de cada etapa del proceso, así como el tiempo total que lleva completar el proceso en su conjunto. puedes seguir estos pasos:

7.2.1 Registrar el tiempo en cada etapa

Registrar el tiempo que lleva completar cada etapa del proceso. Esto puede implicar el uso de herramientas de seguimiento del tiempo, como cronómetros o software especializado.

7.2.2 Identificar actividades críticas

Identificar las actividades que consumen la mayor parte del tiempo o que son críticas para el flujo general del proceso. Estas pueden ser áreas donde se puedan implementar mejoras para reducir el tiempo necesario para completar el proceso.

7.2.3 Analizar las causas de los retrasos

Examinar las posibles razones detrás de cualquier retraso o tiempo adicional necesario para completar una etapa del proceso. Puede haber factores como la falta de recursos, problemas de calidad, o ineficiencias en los flujos de trabajo que contribuyan a estos retrasos.

Posteriormente se realizará un análisis estadístico que determine las probabilidades de operaciones requeridas en un proceso, puedes seguir estos pasos:

7.2.4 Recopilación de datos

Recolectar datos sobre las operaciones realizadas en el proceso durante un período de tiempo específico. Esto puede incluir el número de veces que se realiza cada operación y el tiempo que lleva completarla.

7.2.5 Análisis descriptivo

Realizar un análisis descriptivo de los datos recopilados para comprender la distribución y la variabilidad de las operaciones en el proceso. Esto puede incluir calcular medidas de tendencia central (como la media y la mediana) y medidas de dispersión (como la desviación estándar y el rango).

7.2.6 Modelado probabilístico

Utilizar técnicas estadísticas para modelar la distribución de las operaciones requeridas en el proceso. Esto puede implicar el uso de distribuciones de probabilidad, como la distribución normal, la distribución de Poisson o la distribución binomial, dependiendo de la naturaleza de los datos.

7.2.7 Interpretación de resultados

Interpretar los resultados del análisis estadístico para entender las probabilidades de operaciones requeridas en el proceso y cómo pueden influir en la planificación y la gestión del mismo.

Al seguir estos pasos, podrás realizar un análisis efectivo para determinar las probabilidades de operaciones requeridas en un proceso, lo que permitirá tomar decisiones informadas y optimizar la eficiencia del proceso.

7.3 Desarrollo del modelo de simulación y validación

El desarrollo de un modelo de simulación en Flexsim implica varios pasos que se detallan a continuación:

7.3.1 Diseño del modelo

Utilizar Flexsim para diseñar el modelo de simulación. Esto implica crear una representación visual del proceso utilizando cada locación como una etapa del proceso productivo.

7.3.2 Asignación de parámetros

Definir los parámetros del modelo, como tiempos de procesamiento, capacidades de los recursos. Estos parámetros se basarán en los datos recopilados y en el conocimiento del proceso.

7.3.3 Validación del modelo

Una vez que se ha desarrollado el modelo, es importante validar su precisión y confiabilidad. Esto se puede hacer comparando los resultados de la simulación con datos reales del proceso o con resultados esperados basados en el conocimiento del mismo.

7.3.4 Ajuste del modelo

Si es necesario, realizar ajustes en el modelo para mejorar su precisión y confiabilidad. Esto puede implicar modificar parámetros, ajustar la lógica de simulación o agregar detalles adicionales al modelo.

7.3.5 Verificación del modelo

Una vez que se ha ajustado el modelo, verificar su precisión y confiabilidad nuevamente para asegurarte de que esté listo para su uso.

Al seguir estos pasos, podrás desarrollar un modelo de simulación efectivo en ProModel y validar su precisión y confiabilidad antes de utilizarlo para analizar y optimizar procesos en el mundo real.

7.4 Propuesta y simulación de escenarios hipotéticos

7.4.1 Simular escenarios, validando:

7.4.1.1 Nuevo método en la operación de desprese

Una vez que tengas el modelo base configurado, implementar el nuevo método dentro del modelo de simulación. Esto puede implicar ajustar parámetros, cambiar la lógica de procesamiento o agregar nuevas funcionalidades según sea necesario para reflejar el nuevo método.

7.4.1.2 Cumplimiento de la programación de producción

Utilizar los datos y el análisis de la simulación para realizar ajustes en el programa de producción con el fin de mejorar su cumplimiento. Esto puede implicar redistribuir recursos, cambiar la programación de órdenes de producción, o realizar otras modificaciones para optimizar el proceso.

7.4.1.3 Análisis del Throghput

El análisis del throughput en simulación con Flexsim implica evaluar la cantidad de trabajo completado por unidad de tiempo en un sistema, lo que puede proporcionar información crucial sobre la eficiencia y la capacidad del sistema.

7.4.1.4 Análisis de los resultados

Después de realizar una simulación en Flexsim, es crucial analizar los resultados para obtener información valiosa sobre el rendimiento del sistema simulado. puedes seguir estos pasos:

7.5.1 Resumen de resultados

Resumir los resultados principales de la simulación. Esto incluye métricas como el tiempo promedio de procesamiento, el tiempo total de ejecución de la simulación, el número de productos terminados, la utilización de recursos, entre otros.

7.5.2 Análisis de tendencias

Analizar cualquier tendencia notable en los datos de salida de la simulación a lo largo del tiempo. Esto puede revelar patrones de comportamiento o fluctuaciones en el rendimiento del sistema que podrían ser importantes.

7.5.3 Mejoramiento del sistema

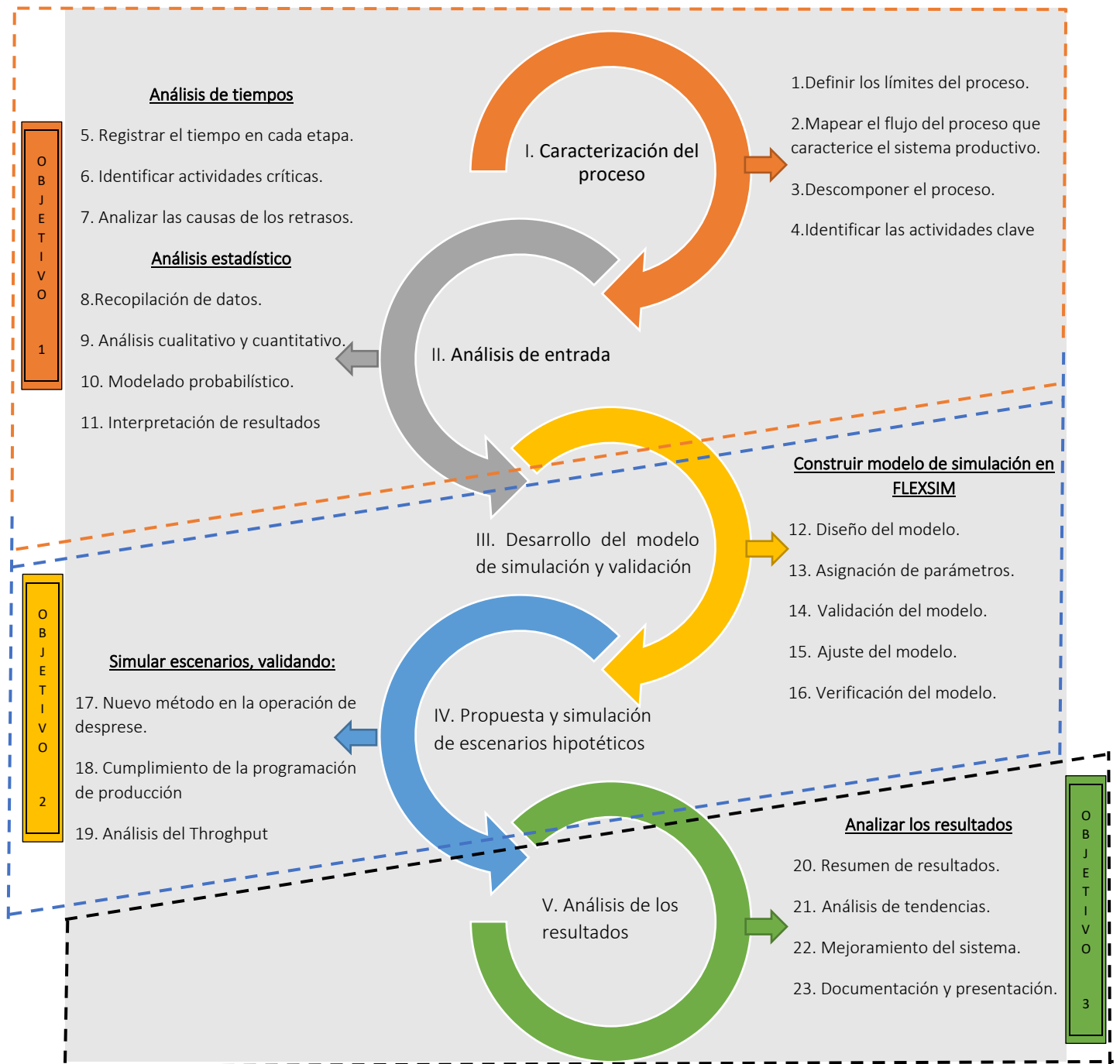
Utilizar los datos de la simulación para identificar oportunidades de mejora en el sistema. Esto puede implicar ajustar parámetros, redistribuir recursos, cambiar procesos de trabajo o realizar otras modificaciones para aumentar la eficiencia y el rendimiento del sistema.

7.5.4 Documentación y presentación

Documentar todos los resultados y análisis de la simulación de manera clara y concisa. Presenta los hallazgos a todas las partes interesadas pertinentes en un formato fácil de entender, destacando las conclusiones clave y las recomendaciones para la mejora del sistema.

Al seguir estos pasos, podrás realizar un análisis exhaustivo de los resultados de la simulación en Flexsim y utilizar esa información para tomar decisiones informadas sobre la optimización y mejora del sistema simulado.

7.5.5 Resumen metodología de la investigación



8. DESARROLLO METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

8.1 Caracterización del proceso

8.1.1 Definir los límites del proceso

Producto: Pechuga con piel y hueso clavicular

Inicio: Alimentar la máquina deshuesadora de pechuga automática tipo RÁPID MEYN, Este tipo de maquinaria generalmente trabaja con pechuga entera aún adherida parcialmente al esqueleto

Fin: Almacenamiento de los filetes marinados en canastillas de 20 kg manteniendo la calidad, inocuidad y rendimiento deseado.

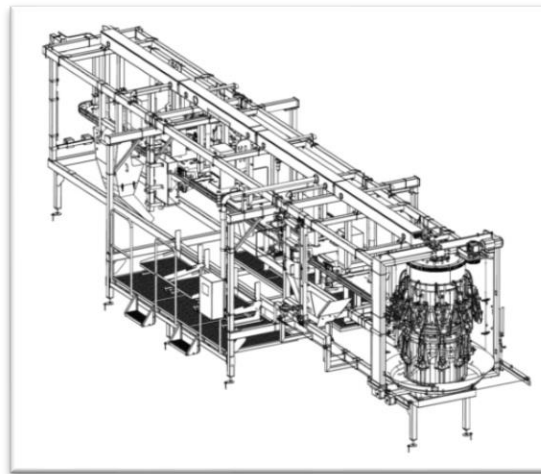


Figura 5. Se muestra diseño del sistema Rapid Meyn utilizado en la planta de procesamiento
(Meyn, 2023)

8.1.2 Mapear el flujo del proceso

Se identificaron las siguientes etapas principales y se midió el tiempo para cada una en las 10 muestras:

1. Recepción del pollo - Pechuga con piel y hueso clavicular.
2. Despiece - la máquina deshuesadora de pechuga automática tipo RÁPID MEYN.
3. Inspección de calidad.
4. Estación de repaso
5. Marinado de filete
6. Embalaje y almacenamiento.

8.1.3 Diseño de planta de proceso (antes)

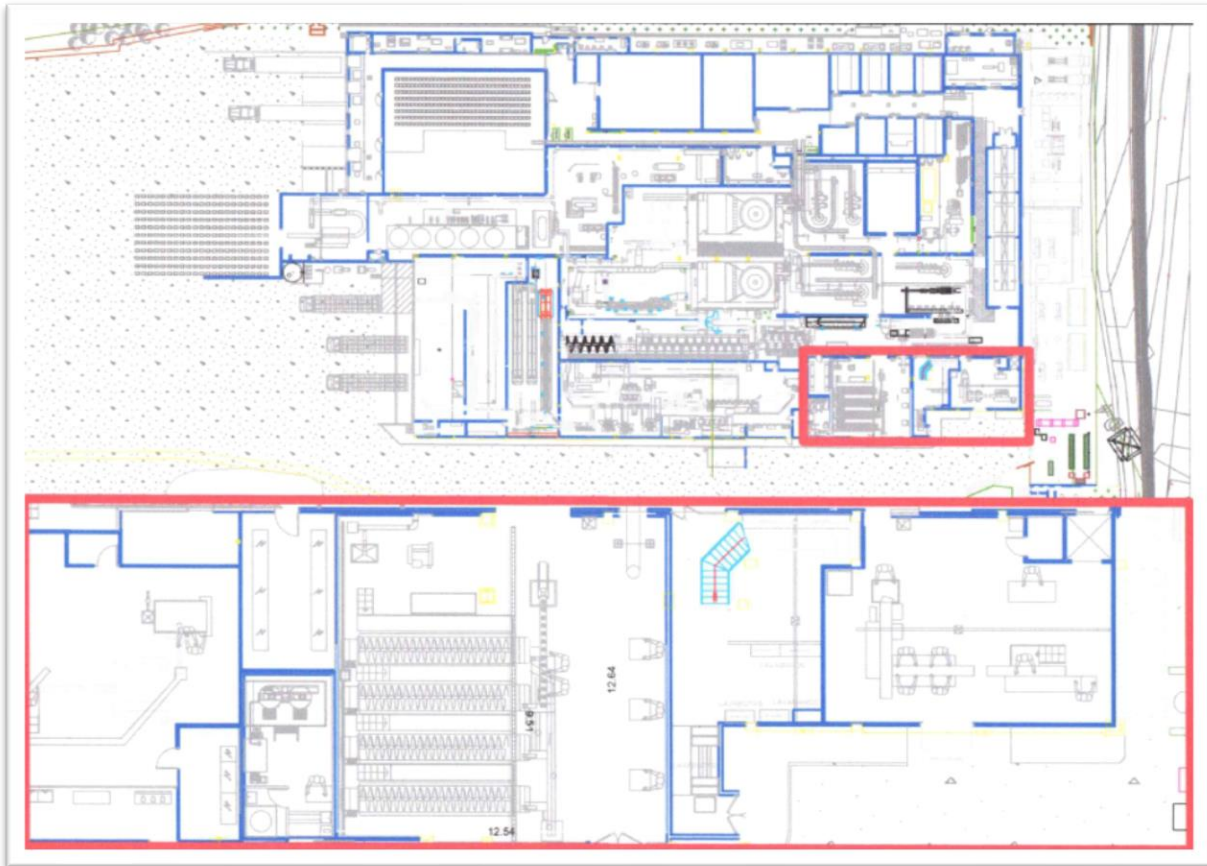


Figura 6. Distribución de planta antes de la ampliación. Elaboración propia

8.1.4 Diseño de planta de proceso (después)

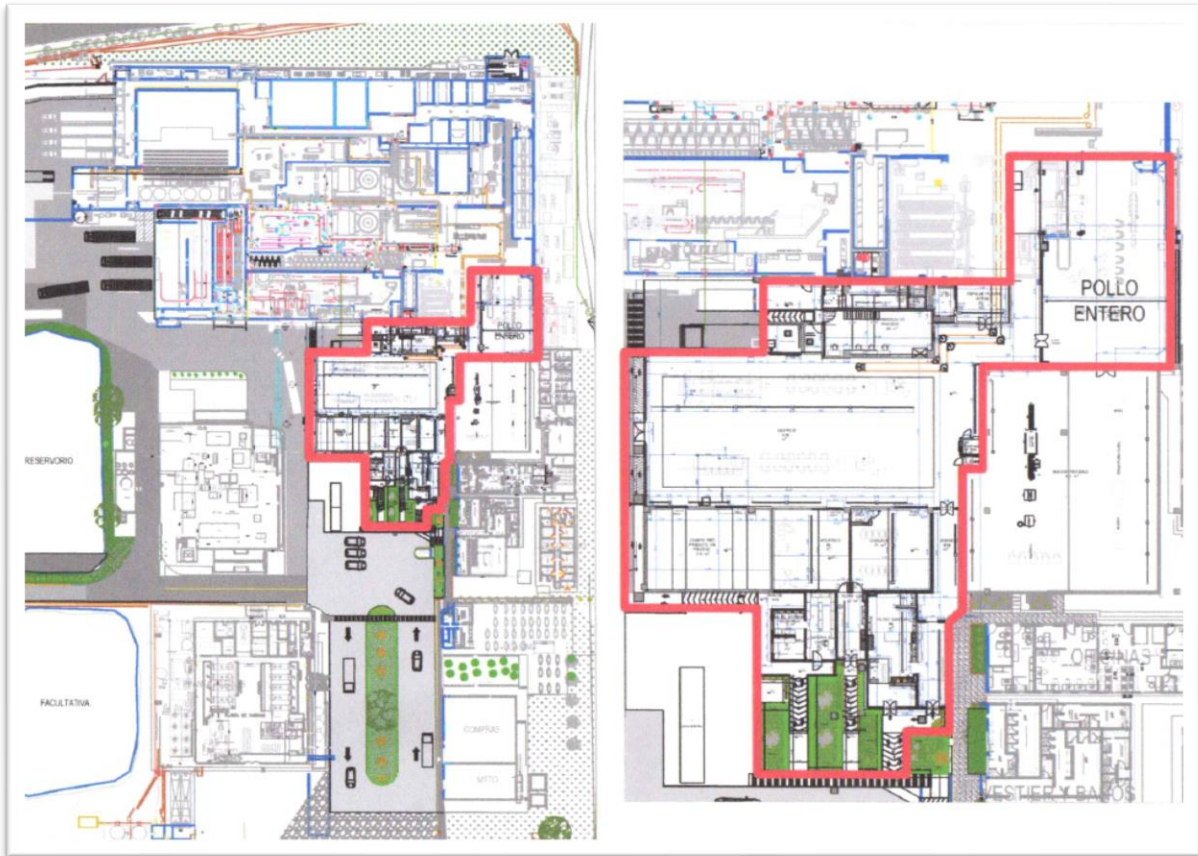


Figura 7. Distribución de planta propuesta final de la ampliación. Elaboración propia

8.1.5 Descomponer el proceso

8.1.5.1 Recepción del pollo

Pechuga con piel y hueso clavicular en canastillas de 20 kg

8.1.5.2 Despiece

la máquina deshuesadora de pechuga automática tipo RÁPID MEYN

8.1.5.3 Tipo de corte

Pechuga entera (ambas mitades unidas) o pechuga individual con piel, hueso clavicular adherido y sin esternón ni costillas.

8.1.5.3.1 Componentes que debe incluir

- Músculo pectoral mayor y menor.
- Piel adherida completamente.
- Hueso clavicular completo.

8.1.5.3.2 Componentes que debe excluir

- Esternón completamente removido.
- Costillas y cartílagos adyacentes.
- tejidos grasos.
- Fragmentos de hueso sueltos o rotos.

8.1.5.4 Requisitos técnicos antes de alimentación en máquina

8.1.5.4.1 Temperatura del producto

Entre 0°C y 4°C. No debe estar congelado ni parcialmente congelado. Temperaturas más altas pueden causar mala alineación o contaminación.

8.1.5.4.2 Presentación del corte

- El corte debe ser limpio, sin rebabas.
- Preferiblemente simétrico para que calce en el molde de la máquina.
- El hueso clavicular debe estar expuesto sin restos de carne en su extremo superior.

8.1.5.4.3 Condición de la piel

- Sin desgarros grandes
- Piel completamente entera y sin pedazos de carne

8.1.5.4.4 Alimentación en la máquina Rápid MEYN

Colocación: La pechuga se coloca con el hueso clavicular hacia arriba y el músculo mayor hacia abajo (posición anatómica). El operario debe alinear el hueso clavicular en el punto de referencia de la bandeja guía o molde.

Proceso: La máquina sujeta la pieza, corta a lo largo del hueso clavicular, separa el pectoral mayor y menor mediante presión y guías.

Rendimiento esperado:

- Carne útil (filetes): 55-68% dependiendo de precisión.
- Merma (hueso, piel): 32-45%.

8.1.5.4.5 Inspección de calidad: (operario maquina)

Punto de Control	Criterio de Aceptación	Criterio de Rechazo
1. Integridad del filete	Pectoral mayor y menor completos, sin cortes anómalos	Filete rasgado, incompleto o con forma irregular
2. Ausencia de hueso	Sin restos de clavícula, cartílago o astillas	Cualquier presencia de hueso o fragmento duro
3. Desprendimiento limpio	Línea de corte limpia y precisa, sin residuos de piel	Exceso de grasa, piel, o cartílago adherido
4. Simetría	Filete uniforme, con espesor y forma consistente	Filete desviado, con asimetrías evidentes
5. Color y apariencia	Color rosa claro, sin hematomas ni zonas oscuras	Hematomas, manchas verdosas, signos de oxidación

Tabla 1. Se muestra criterios de calidad. Elaboración propia

Frecuencia de inspección:

- Inicio de turno: 100% durante los primeros 10 minutos.
- Durante operación: 1 cada 10 unidades o según plan de muestreo estadístico.
- Cambio de lote o tamaño de pechuga: Validar ajustes de la máquina y revisar 10 unidades consecutivas.

Acciones ante hallazgos:

- Hueso o cartílago presente: frecuencia repetitiva durante el plan de muestreo
- Múltiples fallos consecutivos: Detener la línea y verificar alineación, calibración o afilado de cuchillas.
- Desgaste o daño frecuente en filetes: Revisar presión de guías o alimentación incorrecta.

Si se llegara a presentar estos hallazgos debe reportar al supervisor de línea y al área de mantenimiento.

8.1.5.4.6 Estación de repaso – post rápid

Eliminar manualmente residuos no deseados en los filetes deshuesados, garantizando un producto limpio, seguro y estéticamente aceptable antes de marinar.

Ubicación del puesto:

Después de la salida de la máquina deshuesadora Rápido, en una banda transportadora y mesa de inspección se ubican 12 operarios para realizar las siguientes actividades:

Tarea	Descripción
1. <i>Revisión visual del filete</i>	Detectar restos visibles de cartílago, grasa, hematomas.
2. <i>Recortes de excesos</i>	Utilizar cuchillos afilados para retirar cartílago clavicular, grasa excesiva.
3. <i>Pulido de bordes</i>	Emparejar el filete para mejorar la presentación.
4. <i>Clasificación</i>	Separar filetes que no cumplan con el estándar para reproceso manual.
5. <i>Descarte de contaminaciones</i>	Identificar filetes con presencia de hematomas severos y colocarlos en bandeja de descarte.

Tabla 2. Se muestra criterios de rechazo. Elaboración propia

Herramientas requeridas:

- Cuchillo afilado de fileteo (tipo Victorinox)
- Guante anticorte en mano no dominante
- Delantal plástico y guantes sanitarios
- Mesa de acero inoxidable o cinta transportadora con sistema de recolección de residuos

Controles de área de proceso:

Control	Frecuencia
1. <i>Afilado de cuchillos</i>	Cada 2 horas o cuando se note pérdida de filo
2. <i>Higiene de superficie y herramienta</i>	Cada cambio de turno y cuando sea necesario
3. <i>Revisión de cumplimiento</i>	Cada 30 min con muestreo aleatorio

Tabla 3. Se muestra controles de área de proceso. Elaboración propia

8.1.5.4.7 Identificar las actividades clave

- Clave en corte de pechuga: Precisión en el corte del cartílago, con el fin de evitar trozos de carne para desperdicio.
- Clave en inspección: Verificar la ausencia de huesos pequeños en cada pieza.

8.2 DESARROLLO ANÁLISIS DE ENTRADA

8.2.1 Desglosar el proceso

Descripción	Muestras - (Tiempo de proceso en UND/MIN)																Tiempo de proceso Seg/Filete	Desviación estandar Filete/Min	Promedio Tasa Pn Filete/Min	Coeficiente de variabilidad %	Shape Alfa α	Scale Beta β	Ciclo	7
	10	15	13	16	17	21	19	18	17	20	21	19	20	18	17									
	11	13	15	10	16	12	13	13	17	15	15	16	16	15	14									
Op_Maq E Insp	10	15	13	16	17	21	19	18	17	20	21	19	20	18	17	3,4483	3,019	17,400	72%	1,909	1,806	91%		
Corte 1 - op1	11	13	15	10	16	12	13	13	17	15	15	16	16	15	14	4,2654	2,017	14,067	54%	3,459	1,233	88%		
Corte 1 - op2 (Nuevo)	7	9	9	9	7	9	6	6	6	8	7	9	8	8	9	7,6923	1,207	7,800	43%	5,353	1,437	47%		
Corte 1 - op3 (Nuevo)	9	9	9	10	8	10	9	9	10	5	9	3	7	6	7	7,5000	2,035	8,000	72%	1,931	3,884	56%		
Corte 1 - op4	11	10	11	15	10	11	9	14	12	11	14	11	11	12	10	5,2326	1,685	11,467	50%	4,040	1,295	78%		
Corte 1 - op5	14	10	12	15	10	11	10	14	13	12	14	12	12	12	10	4,9724	1,668	12,067	48%	4,339	1,146	82%		
Corte 1 - op6 (Nuevo)	7	9	9	9	7	9	9	9	7	8	6	6	8	8	9	7,5000	1,134	8,000	40%	6,222	1,205	49%		
Corte 1 - op7	12	9	10	16	10	11	10	13	15	12	14	12	12	12	14	4,9451	1,995	12,133	57%	3,048	1,622	80%		
Corte 1 - op8	10	13	7	11	16	13	12	12	15	14	15	12	16	15	14	4,6154	2,449	13,000	68%	2,167	2,130	81%		
Corte 1 - op9	15	11	12	14	12	15	11	15	13	12	13	12	12	12	13	4,6875	1,373	12,800	38%	6,788	0,691	89%		
Inspeccionar_ Limpiar y almacenar Op1	16	25	23	19	20	17	14	19	19	18	14	22	21	20	22	3,1142	3,150	19,267	72%	1,941	1,604	94%		
Inspeccionar_ Limpiar y almacenar Op2	15	19	21	20	16	16	12	18	19	23	20	22	23	25	28	3,0303	4,127	19,800	93%	1,163	2,606	91%		
Inspeccionar_ Limpiar y almacenar Op3	16	13	16	13	20	16	20	19	18	15	17	11	15	20	16	3,6735	2,743	16,333	68%	2,171	1,692	90%		
Inspeccionar_ Limpiar y almacenar Op4	13	9	16	15	13	20	18	25	13	20	19	18	25	12	20	3,5156	4,652	17,067	113%	0,789	4,457	85%		

Tabla 4. Se muestra análisis estadístico de tiempos de procesos por operación de corte en la situación actual. Elaboración propia

8.2.2 Actividades críticas identificadas

1. Corte 1 – Op2 (Nuevo)

- Tiempo de proceso alto (7,5 seg/filete).
- Alta variabilidad (CV = 43%).

2. Corte 1 – Op3 (Nuevo)

- Tiempo de proceso alto (7,5 seg/filete).
- Variabilidad más elevada de todas las estaciones (CV = 72%).

3. Corte 1 – Op6 (Nuevo)

- Tiempo de proceso alto (7,5 seg/filete).
- Variabilidad considerable (CV = 40%).

4. Inspección, limpieza y almacenamiento (Op1 a Op4)

- Tiempos de proceso mucho más altos que en corte ($\approx 18-20$ seg/filete).
- Desviaciones estándar y coeficientes de variación elevados (hasta 113%).

- Representan el principal cuello de botella del sistema.

8.2.3 Análisis de causas de retrasos

8.2.3.1 Operadores nuevos en corte (Op2, Op3 y Op6)

- Tiempos de proceso más altos (7,5 seg/filete) frente al promedio de otros operadores ($\approx 4,2-5,2$ seg/filete).
- Alta variabilidad (CV 38–72%), lo que genera lotes irregulares y llegada desbalanceada a la inspección.
- Causa raíz: curva de aprendizaje, falta de estandarización del método de corte, diferencias en habilidad y técnica.

8.2.3.2 Inspección, limpieza y almacenamiento (Op1–Op4)

- Tiempos muy superiores (18–20 seg/filete), casi 3 a 4 veces más que el corte.
- Altísima variabilidad (CV hasta 113%), que causa inestabilidad y acumulación de inventario en proceso (WIP).
- Causa raíz: combinación de varias tareas en una sola estación (inspección + limpieza + almacenamiento), manipulación excesiva de producto, limitaciones ergonómicas y falta de balanceo de carga.

8.2.3.3 Diferencias significativas entre operadores de corte

- Algunos (Op1, Op4, Op5, Op7, Op8, Op9) mantienen productividad estable ($\approx 11-13$ filetes/min), mientras que los nuevos bajan a 8 filetes/min.
- Causa raíz: desbalance en capacitación y experiencia, lo que genera cuellos de botella internos y tiempos muertos en la línea.

8.2.3.4 Acumulación de trabajo en inspección

- El corte libera producto más rápido de lo que inspección puede procesar.
- Causa raíz: no hay control de flujo/WIP entre ambas etapas, generando esperas y sobrecarga al final de la línea.

8.2.4 Recopilación de datos

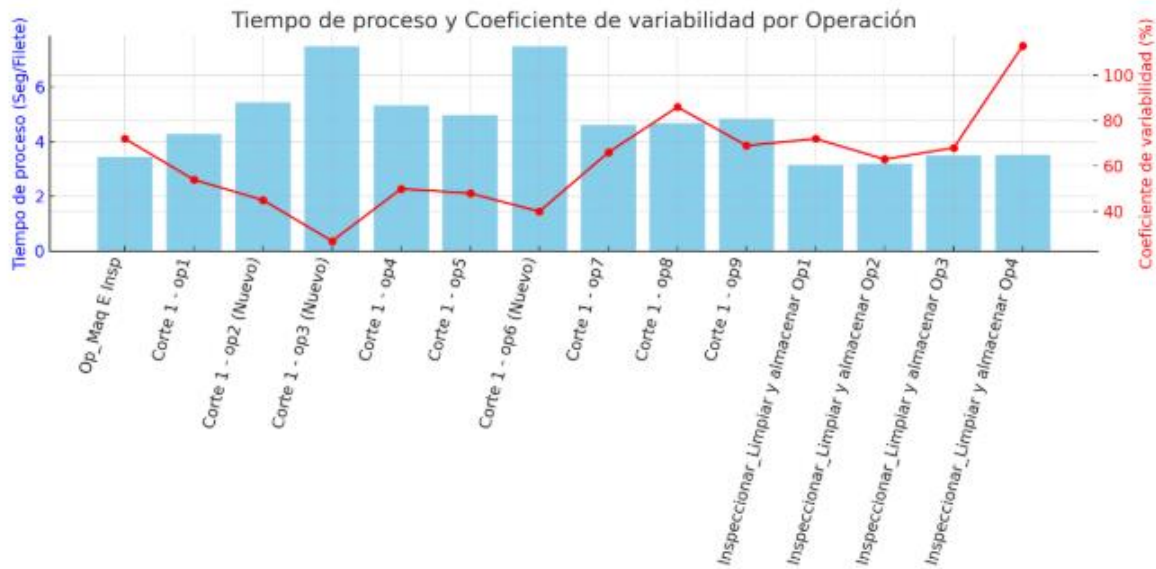


Figura 8. Tiempo de proceso y coeficiente de variabilidad por operación. Elaboración propia

- Barras azules → representan el tiempo de proceso (seg/filete) de cada operación.
- Línea roja con puntos → representa el coeficiente de variabilidad (%).

Los mayores tiempos de proceso se presentan en Corte 1 – op2, op3 y op6 (Nuevo) (7,5 seg/filete).

El mayor coeficiente de variabilidad está en Inspeccionar, limpiar y almacenar Op4 (113%), lo que indica gran inestabilidad en el desempeño.

8.2.5 Análisis Descriptivo

El análisis de productividad se ha realizado considerando el tiempo de proceso por filete (seg/filete) y la tasa de producción (filetes/min), tanto para los operarios de corte como para los responsables de inspección, limpieza y almacenamiento. Adicionalmente, se comparó el rendimiento con el operario de inspección.

8.2.5.1 Productividad en la Etapa de Corte

En la etapa de corte participaron nueve operarios (Op1–Op9), entre los cuales se identificaron diferencias significativas en cuanto a velocidad y estabilidad del proceso.

- Op1: 4,26 seg/filete = 14,07 filetes/min.
- Op2 (Nuevo): 5,43 seg/filete = 7,8 filetes/min.
- Op3 (Nuevo): 7,50 seg/filete = 8,00 filetes/min.
- Op4: 5,32 seg/filete = 11,47 filetes/min.
- Op5: 4,97 seg/filete = 12,06 filetes/min.
- Op6 (Nuevo): 7,50 seg/filete = 8,00 filetes/min.
- Op7: 6,00 seg/filete = 12,13 filetes/min.
- Op8: 4,61 seg/filete = 13,00 filetes/min.
- Op9: 5,33 seg/filete = 12,8 filetes/min.

Hallazgos relevantes:

- Los operarios más productivos en corte fueron Op1 y Op8, con tasas superiores a 13 filetes/min, lo que refleja un mejor dominio de la actividad.
- Los operarios nuevos (Op2, Op3 y Op6) mostraron los valores más bajos (<9 filetes/min), lo que sugiere que la curva de aprendizaje y la falta de experiencia influyen directamente en el rendimiento.
- Los demás operarios se ubicaron en un rango intermedio (10–12 filetes/min), lo que puede considerarse un desempeño aceptable pero mejorable.

8.2.5.2 Productividad en la Etapa de Inspección, Limpieza y Almacenamiento

En esta etapa participaron cuatro operarios, cuyos resultados fueron los siguientes:

- Op1: 3,12 seg/filete = 19,26 filetes/min.
- Op2: 3,83 seg/filete = 19,80 filetes/min.
- Op3: 3,54 seg/filete = 16,33 filetes/min.
- Op4: 3,52 seg/filete = 17,06 filetes/min.

Hallazgos relevantes:

- La etapa de inspección, limpieza y almacenamiento presenta niveles de productividad más altos que la etapa de corte, con tasas superiores a 16 filetes/min en todos los casos.
- Se evidencia una mayor homogeneidad en el rendimiento entre los operarios de esta área, a diferencia del corte, donde se observaron grandes diferencias según la experiencia.

8.2.6 Modelado Probabilístico

El modelado probabilístico realizado en FlexSim permitió identificar la distribución estadística que mejor representa el comportamiento de los tiempos de proceso de cada estación y operario de la línea de producción avícola. En todos los casos, el software ajustó los datos a una distribución Gamma, la cual resulta adecuada para describir procesos manuales y semiautomáticos que presentan variabilidad, efectos de aprendizaje y diferencias en la destreza operativa.

8.2.6.1 Estación de Op. Máquina e Inspección

- Distribución: Gamma($\alpha=1.69$, $\beta=2.06$)
- Media: 3,48 seg/unidad
- Comportamiento: tiempos bajos y estables, confirmando que el operario maquina mantiene un desempeño constante con menor variabilidad relativa.

8.2.6.2 Operarios de Corte

Se identificaron dos grupos de desempeño:

8.2.6.3 Operarios Antiguos (Op 1, 4, 5, 7, 8, 9)

- Distribuciones Gamma con medias entre 4,2 – 5,3 seg/unidad.
- Coeficiente de variación: 45–60%.
- Productividad: entre 11–14 filetes/min.
- Comportamiento: mayor velocidad de corte, pero con dispersión asociada a diferencias en la técnica, fatiga y estilo personal de trabajo.

Ejemplo:

- **Op 1:** 4,26 seg/filete (14,07 filetes/min), de los más rápidos de la línea.
- **Op 8:** 4,61 seg/filete (13,00 filetes/min), alto desempeño y regularidad.

8.2.6.4 Operarios Nuevos (Op 2, 3, 6)

- **Distribuciones Gamma** con medias entre 7,3 – 7,5 seg/unidad.
- **Coeficiente de variación:** 40–55%.
- **Productividad:** entre 7–8 filetes/min.
- **Comportamiento:** tiempos más largos pero con mayor estabilidad relativa, evidenciando que aún se encuentran en **fase de aprendizaje**.

Ejemplo:

- **Op 2:** 7,35 seg/filete (8,16 filetes/min).
- **Op 6:** 7,5 seg/filete (8,0 filetes/min).

8.2.6.5 Etapa de Inspección y Almacenamiento (Op 1 – Op 4)

- **Distribuciones Gamma** con medias entre 3,1 – 3,5 seg/unidad.
- **Coeficiente de variación:** muy alto (70–113%).
- **Productividad:** entre 17–19 filetes/min.

- **Comportamiento:** aunque el proceso es rápido, presenta gran variabilidad, lo cual puede explicarse por:
 - ❖ Diferencias en los criterios de inspección.
 - ❖ Ritmos de manipulación distintos.
 - ❖ Efectos de fatiga acumulada.

8.2.6.6 Interpretaciones Global

- **Curva de aprendizaje:** los operarios nuevos son más estables pero menos productivos, mientras que los antiguos trabajan más rápido pero con mayor dispersión en los tiempos.
- **Posibles cuellos de botella:** los operarios nuevos (Op 2, 3 y 6) representan el principal riesgo de retrasos en la línea.
- **Variabilidad excesiva en inspección:** puede afectar el flujo final y comprometer la homogeneidad del proceso.

8.3 MODELO DE SIMULACIÓN EN SOFTWARE FLEXSIM - SITUACIÓN ACTUAL

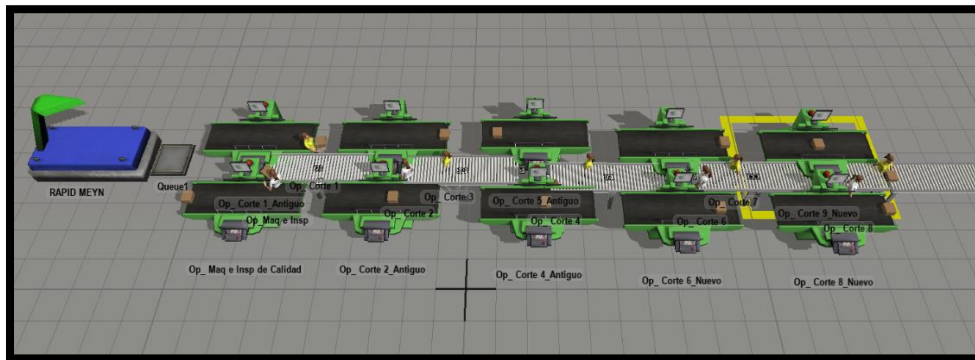


Figura 9. Representación en Flexsim – Situación actual del proceso de corte. Elaboración propia

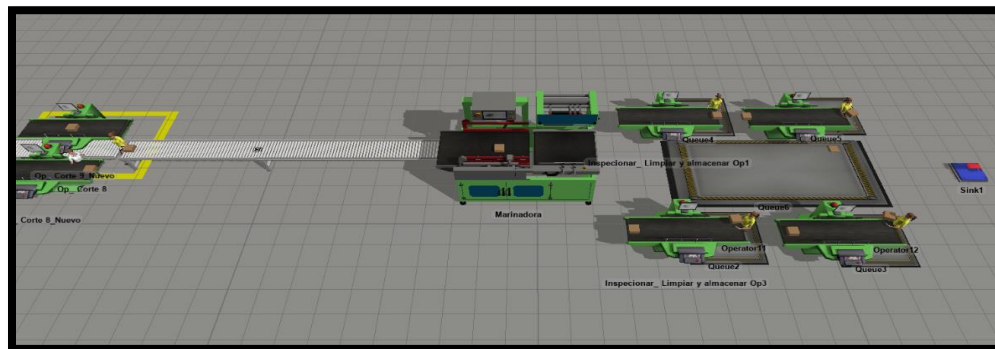
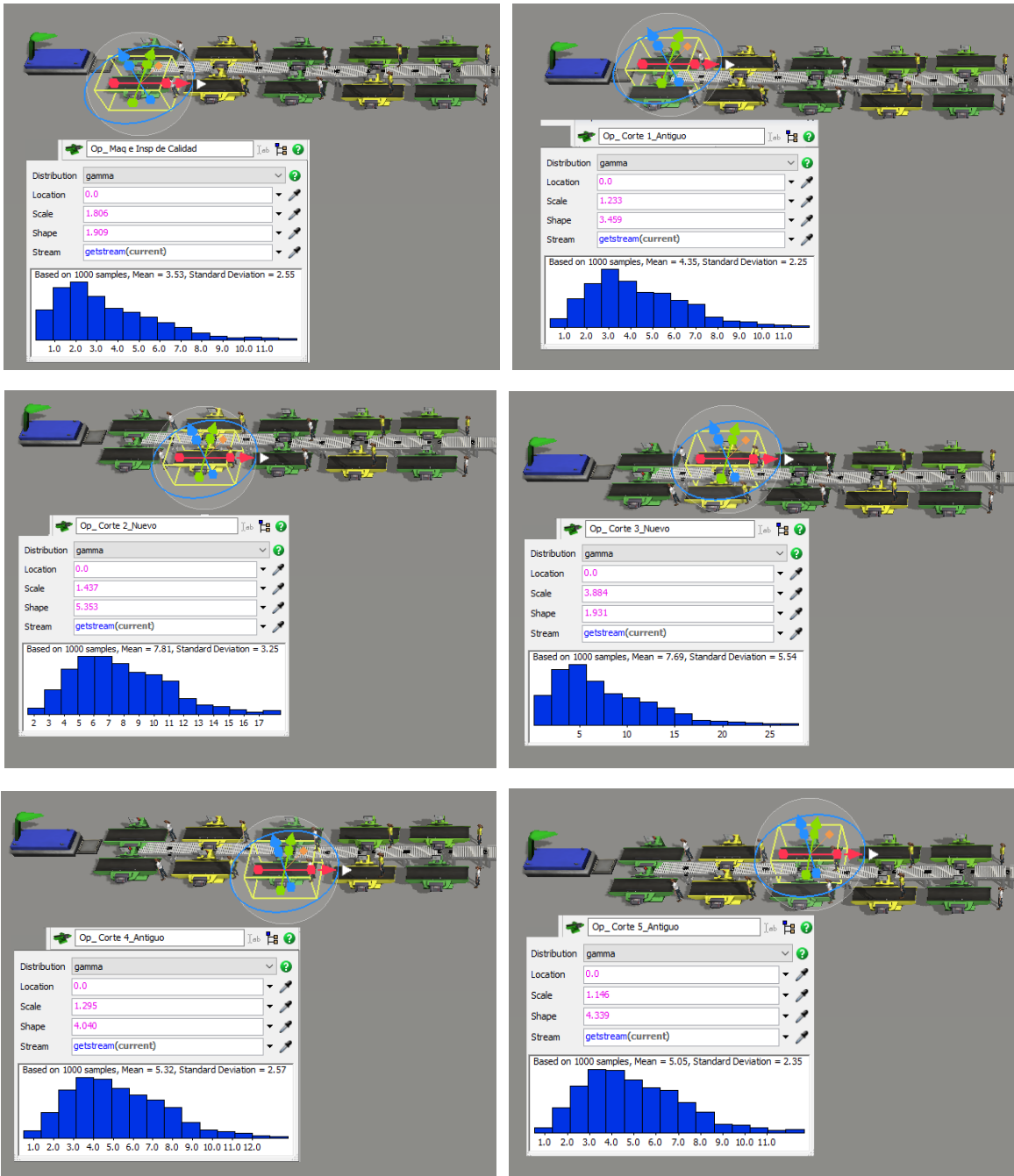
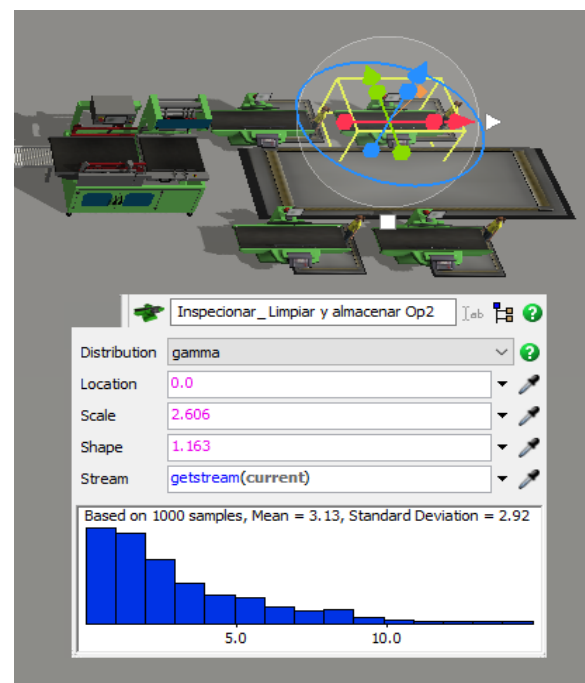
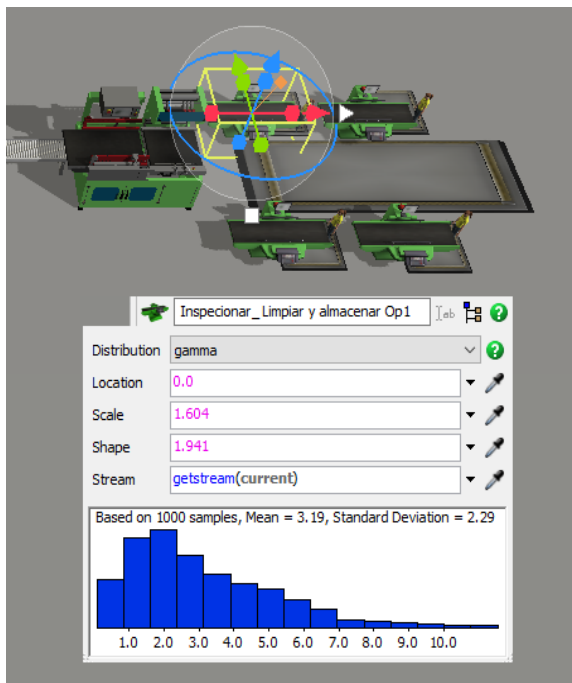
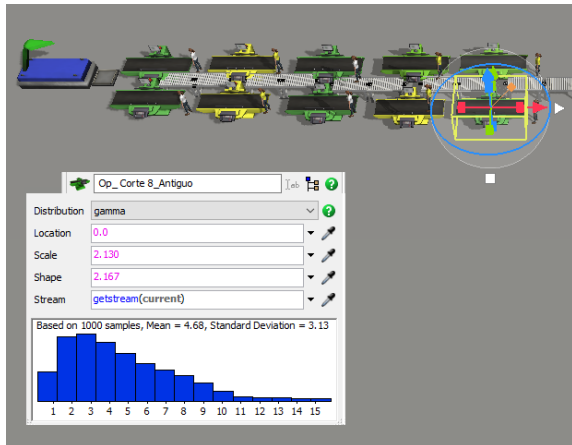
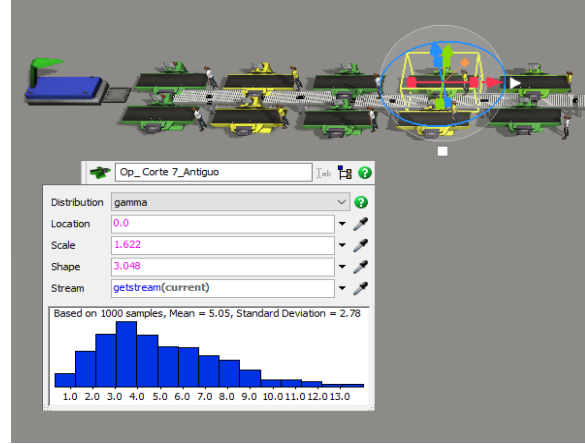
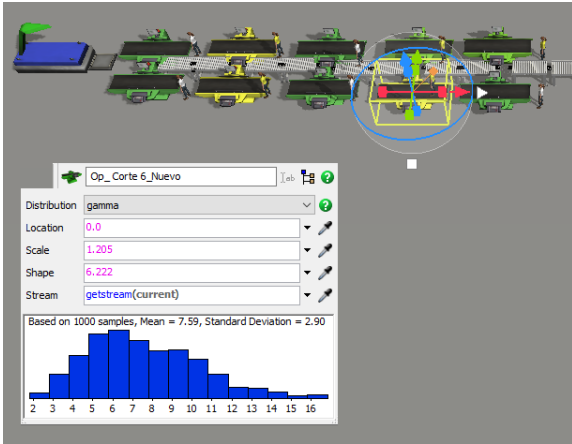


Figura 10. Representación en Flexsim – Situación actual del proceso de inspección, Limpieza y almacenamiento. Elaboración propia.

8.3.1 Parámetros estadísticos modelo situación actual – SOFTWARE FLEXSIM





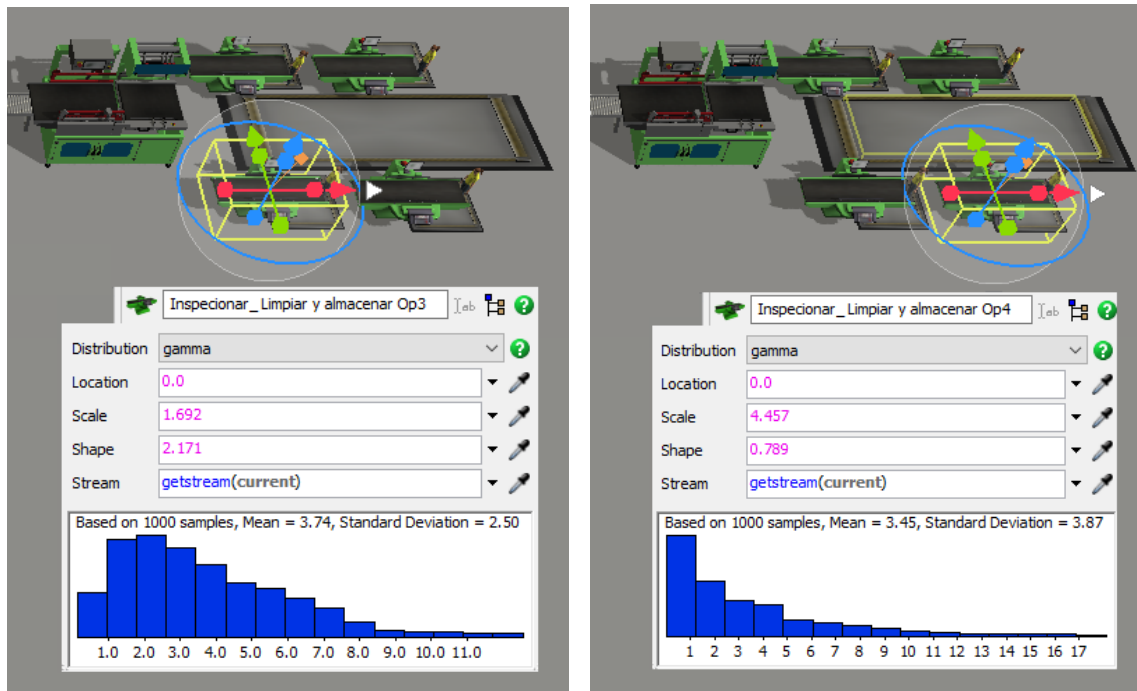


Figura 11. Se muestran los parámetros estadísticos obtenidos para las distintas operaciones de la línea de proceso en la situación actual, modeladas en el software FlexSim. En cada caso se muestra la distribución de probabilidad ajustada (gamma) junto con los valores de forma, escala y ubicación empleados para representar el comportamiento del tiempo de proceso.

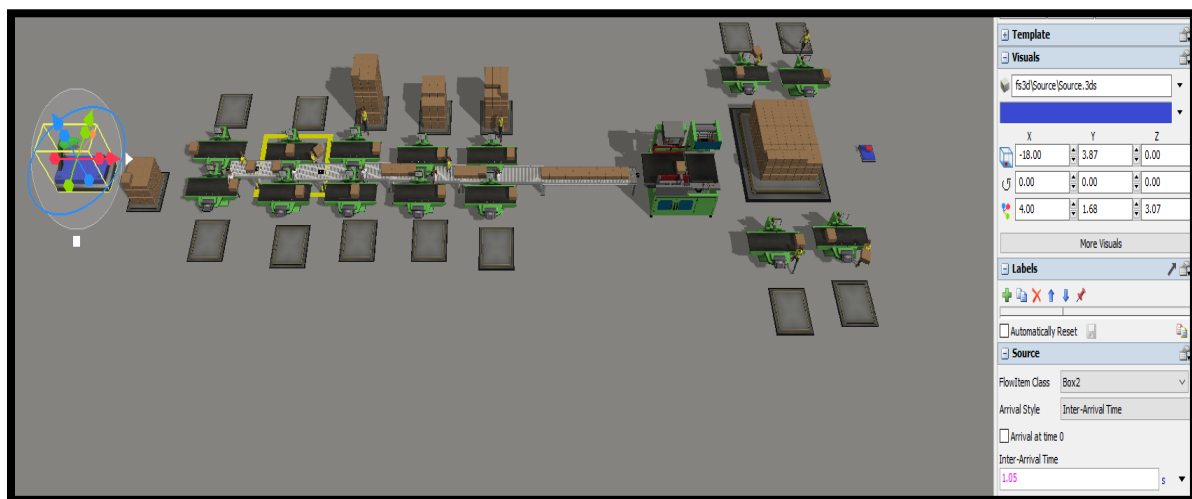


Figura 12. Representación en Flexsim – Simulación del flujo productivo total y localización cuellos de botella. Elaboración propia.

- **Modelado con Gamma:** la distribución Gamma ajustada es una representación confiable de la variabilidad natural en procesos manuales.
- **Aplicaciones en simulación:**
 - Evaluar escenarios con mayor capacitación para los nuevos operarios.
 - Redistribuir operarios experimentados en paralelo con los menos productivos.
 - Probar rotación en inspección para reducir variabilidad.
 - Analizar el impacto de balancear la línea en la productividad global.

El modelo probabilístico permitió capturar con precisión el comportamiento diferenciado de cada operario y estación de trabajo, resaltando la importancia de la experiencia, la estandarización de métodos y la capacitación como factores críticos para mejorar la eficiencia y reducir la variabilidad de la línea de producción.

8.3.2 Resultados estadísticos modelo situación actual – SOFTWARE FLEXSIM

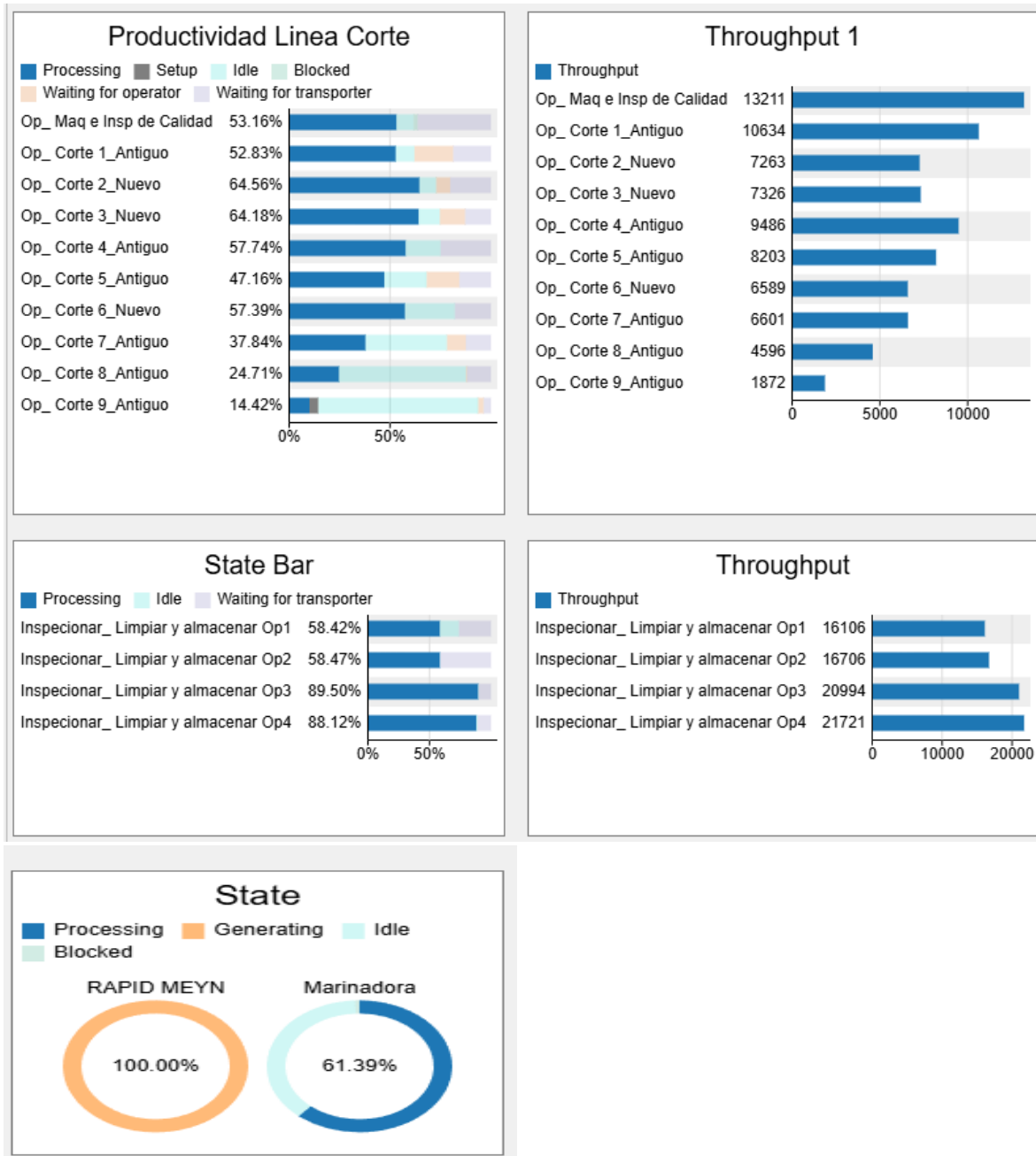


Figura 13. Indicadores globales de desempeño del proceso productivo en la situación actual.
Elaboración propia con base en simulación realizada en el software FlexSim.

8.4 MODELO DE SIMULACIÓN EN SOFTWARE FLEXSIM - MODELO 1

Para la evaluación del desempeño de la línea de proceso avícola, se desarrolló un modelo de simulación discreta en el software FlexSim, el cual reproduce de manera detallada el flujo de producto y el comportamiento de los operarios y equipos durante el proceso de fileteado y empaque.

El modelo fue configurado con los parámetros reales obtenidos en planta, incluyendo tiempos de proceso, tasas de producción, número de operarios y capacidad de cada estación de trabajo. En la figura 14. se presenta la disposición de los equipos y estaciones consideradas en el modelo y la figura 15. se presenta la inclusión de un nuevo operario

Descripción	Muestras - (Tiempo de proceso en UND/MIN)																Tiempo de proceso Seg/Filete	Desviación estandar Filete/Min	Promedio Tasa Pn Filete/Min	Coeficiente de variabilidad %	Shape Alfa α	Scale Beta β	Ciclo
	10	15	13	16	17	21	19	18	17	20	21	19	20	18	17								
Op_Maq E Insp	10	15	13	16	17	21	19	18	17	20	21	19	20	18	17	3,4483	3,019	17,400	72%	1,909	1,806	91%	
Corte 1 - op1	11	13	15	10	16	12	13	13	17	15	15	16	16	15	14	4,2654	2,017	14,067	54%	3,459	1,233	88%	
Corte 1 - op2 (Nuevo)	7	9	9	9	7	9	6	6	6	8	7	9	8	8	9	7,6923	1,207	7,800	43%	5,353	1,437	47%	
Corte 1 - op3 (Nuevo)	9	9	9	10	8	10	9	9	10	5	9	3	7	6	7	7,5000	2,035	8,000	72%	1,931	3,884	56%	
Corte 1 - op4	11	10	11	15	10	11	9	14	12	11	14	11	11	12	10	5,2326	1,685	11,467	50%	4,040	1,295	78%	
Corte 1 - op5	14	10	12	15	10	11	10	14	13	12	14	12	12	12	10	4,9724	1,668	12,067	48%	4,339	1,146	82%	
Corte 1 - op6 (Nuevo)	7	9	9	9	7	9	9	9	7	8	6	6	8	8	9	7,5000	1,134	8,000	40%	6,222	1,205	49%	
Corte 1 - op7	12	9	10	16	10	11	10	13	15	12	14	12	12	12	14	4,9451	1,995	12,133	57%	3,048	1,622	80%	
Corte 1 - op8	10	13	7	11	16	13	12	12	15	14	15	12	16	15	14	4,6154	2,449	13,000	68%	2,167	2,130	81%	
Corte 1 - op9	15	11	12	14	12	15	11	15	13	12	13	12	12	12	13	4,6875	1,373	12,800	38%	6,788	0,691	89%	
Inspeccionar_Limpiar y almacenar Op1	16	25	23	19	20	17	14	19	19	18	14	22	21	20	22	3,1142	3,150	19,267	72%	1,941	1,604	94%	
Inspeccionar_Limpiar y almacenar Op2	15	19	21	20	16	16	12	18	19	23	20	22	23	25	28	3,0303	4,127	19,800	93%	1,163	2,606	91%	
Inspeccionar_Limpiar y almacenar Op3	16	13	16	13	20	16	20	19	18	15	17	11	15	20	16	3,6735	2,743	16,333	68%	2,171	1,692	90%	
Inspeccionar_Limpiar y almacenar Op4	13	9	16	15	13	20	18	25	13	20	19	18	25	12	20	3,5156	4,652	17,067	113%	0,789	4,457	85%	
Inspeccionar_Limpiar y almacenar Op5 (Nuevo)	10	9	9	10	9	9	10	12	12	12	13	15	12	12	15	5,3254	2,052	11,267	61%	2,676	1,990	75%	

Tabla 5. Se muestra análisis estadístico de tiempos de procesos por operación de corte en el modelo 1. Elaboración propia

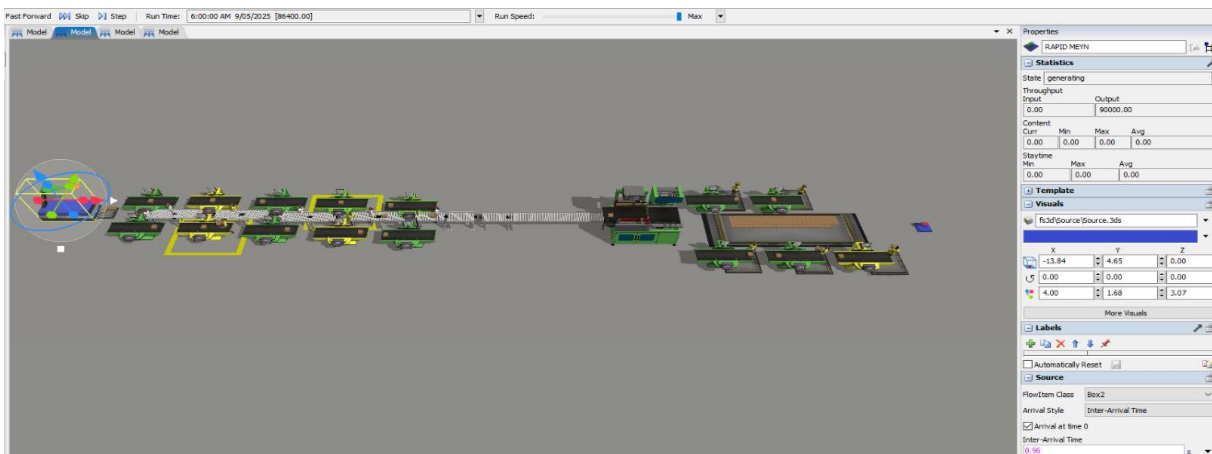


Figura 14. se presenta la disposición de los equipos y estaciones consideradas en el modelo 1.

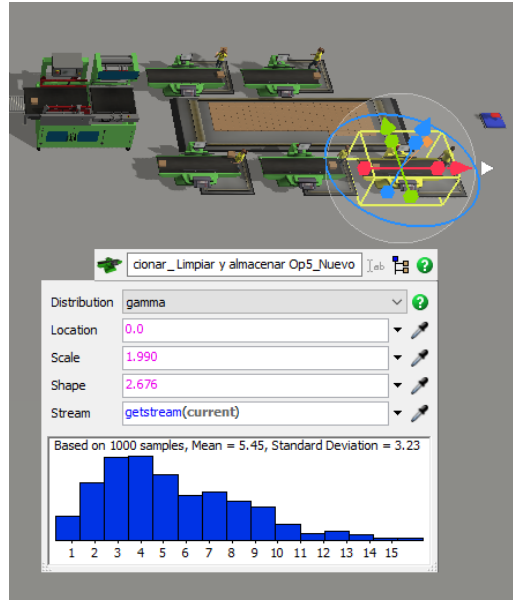


Figura 15. se presenta la inclusión de un nuevo operario para el modelo 1

8.4.1 Resultados Modelo de simulación en SOFTWARE FLEXSIM - Modelo 1

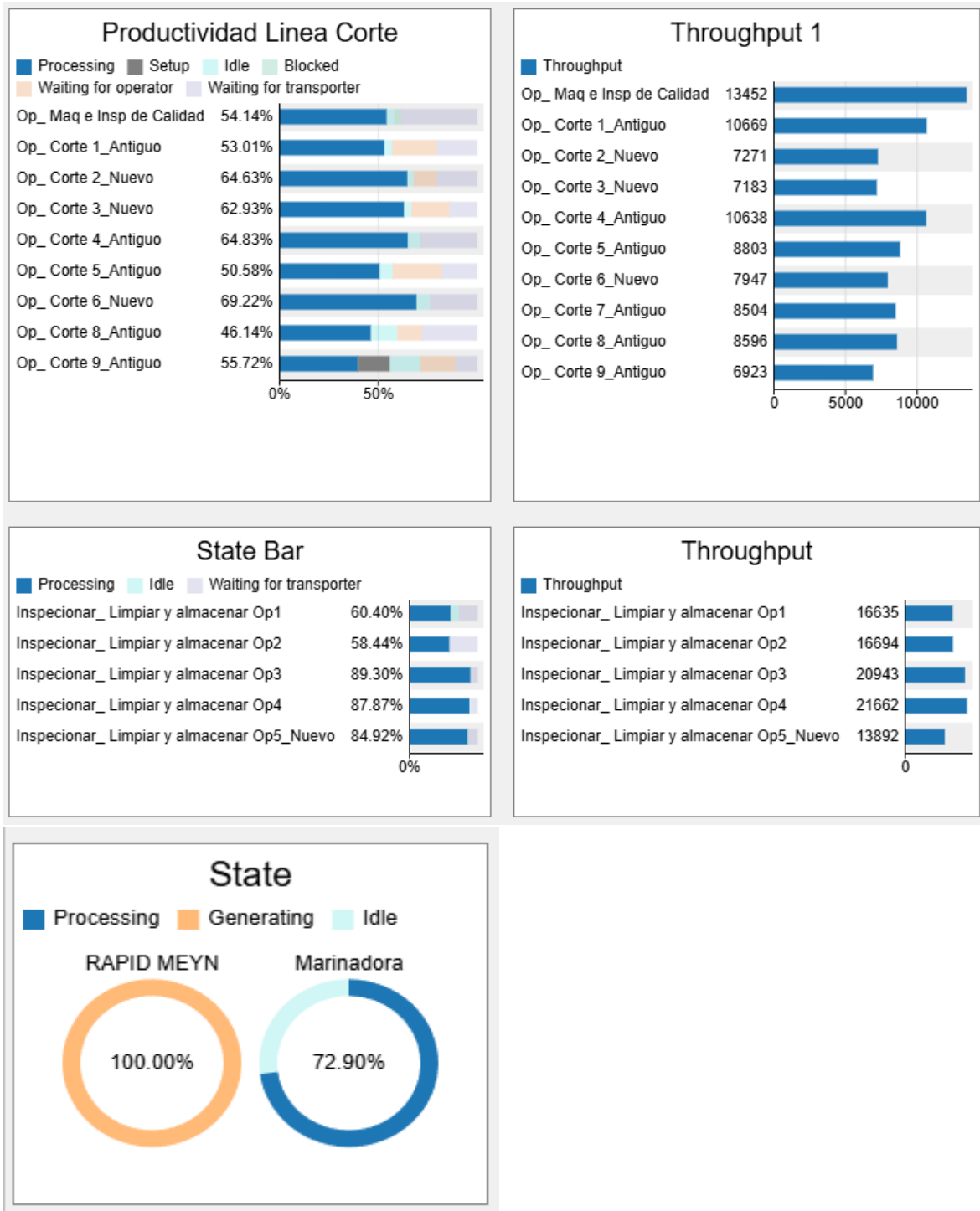


Figura 16. Indicadores globales de desempeño del proceso productivo en el modelo 1.

Elaboración propia con base en simulación realizada en el software FlexSim.

8.4.2 MODELO DE SIMULACIÓN EN SOFTWARE FLEXSIM – MODELO 2

Descripción	Muestras - (Tiempo de proceso en UND/MIN)															Tiempo de proceso	Desviación estandar	Promedio Tasa Pn	Coefficiente de variabilidad	Shape Alfa	Scale Beta	Ciclo
																Seg/Filete	Filete/Min	Filete/Min	%	α	β	
Op_Maq E Insp	10	15	13	16	17	21	19	18	17	20	21	19	20	18	17	3,4483	3,019	17,400	72%	1,909	1,806	91%
Corte 1 - op1	11	13	15	10	16	12	13	13	17	15	15	16	16	15	14	4,2654	2,017	14,067	54%	3,459	1,233	88%
Corte 1 - op2 (Nuevo)	7	9	9	9	7	9	6	6	6	8	7	9	8	8	9	7,6923	1,207	7,800	43%	5,353	1,437	47%
Corte 1 - op3 (Nuevo)	9	9	9	10	8	10	9	9	10	5	9	3	7	6	7	7,5000	2,035	8,000	72%	1,991	3,884	56%
Corte 1 - op4	11	10	11	15	10	11	9	14	12	11	14	11	11	12	10	5,2326	1,685	11,467	50%	4,040	1,295	78%
Corte 1 - op5	14	10	12	15	10	11	10	14	13	12	14	12	12	12	10	4,9724	1,668	12,067	48%	4,339	1,146	82%
Corte 1 - op6 (Nuevo)	7	9	9	9	7	9	9	9	7	8	6	6	3	3	9	7,5000	1,134	8,000	40%	6,222	1,205	49%
Corte 1 - op7	12	9	10	16	10	11	10	13	15	12	14	12	12	12	14	4,9451	1,995	12,133	57%	3,048	1,622	80%
Corte 1 - op8	10	13	7	11	16	13	12	12	15	14	15	12	16	15	14	4,6154	2,449	13,000	68%	2,167	2,130	81%
Corte 1 - op9	15	11	12	14	12	15	11	15	13	12	13	12	12	12	13	4,6875	1,373	12,800	38%	6,788	0,691	89%
Inspeccionar_ Limpiar y almacenar Op1	16	25	23	19	20	17	14	19	19	18	14	22	21	20	22	3,1142	3,150	19,267	72%	1,941	1,604	94%
Inspeccionar_ Limpiar y almacenar Op2	15	19	21	20	16	16	12	18	19	23	20	22	23	25	28	3,0303	4,127	19,800	93%	1,163	2,606	91%
Inspeccionar_ Limpiar y almacenar Op3	16	13	16	13	20	16	20	19	18	15	17	11	15	20	16	3,6735	2,743	16,333	68%	2,171	1,692	90%
Inspeccionar_ Limpiar y almacenar Op4	13	9	16	15	13	20	18	25	13	20	19	18	25	12	20	3,5156	4,652	17,067	113%	0,789	4,457	85%
Inspeccionar_ Limpiar y almacenar Op5 (Nuevo)	10	9	9	10	9	9	10	12	12	12	13	15	12	12	15	5,3254	2,052	11,267	61%	2,676	1,990	75%
Inspeccionar_ Limpiar y almacenar (Teórico)	15	19	21	20	16	16	12	18	19	23	20	22	23	25	28	3,0303	4,127	19,800	93%	1,163	2,606	91%

Tabla 6. Se muestra análisis estadístico de tiempos de procesos por operación de corte en el modelo 2. Elaboración propia

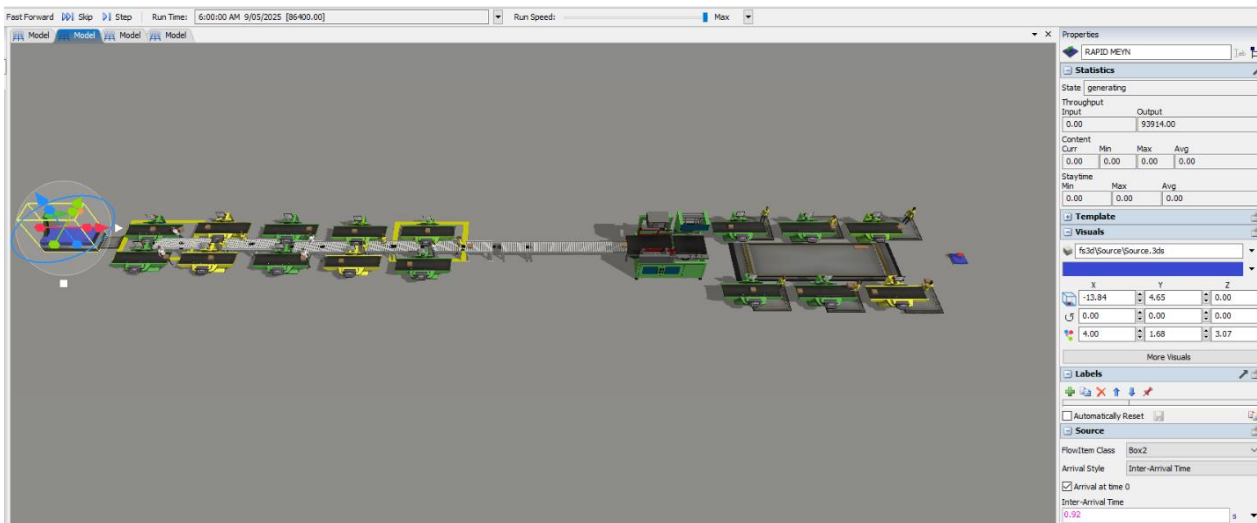


Figura 17. se presenta la disposición de los equipos y estaciones consideradas en el modelo 2.

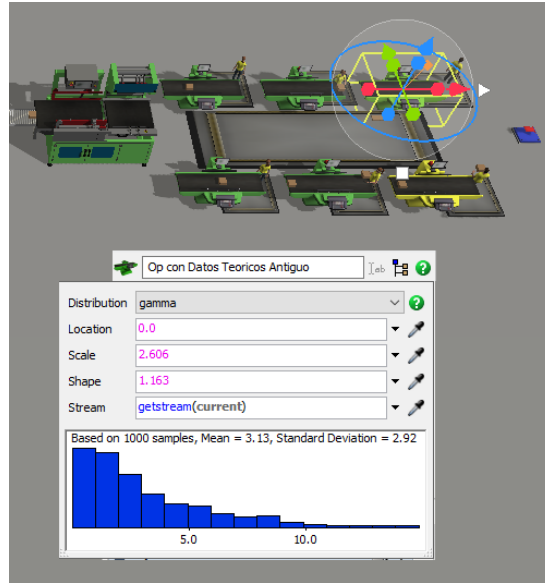


Figura 18. se presenta la inclusión de un nuevo operario para el modelo 2

8.4.3 Resultados Modelo de simulación en SOFTWARE FLEXSIM - Modelo 2

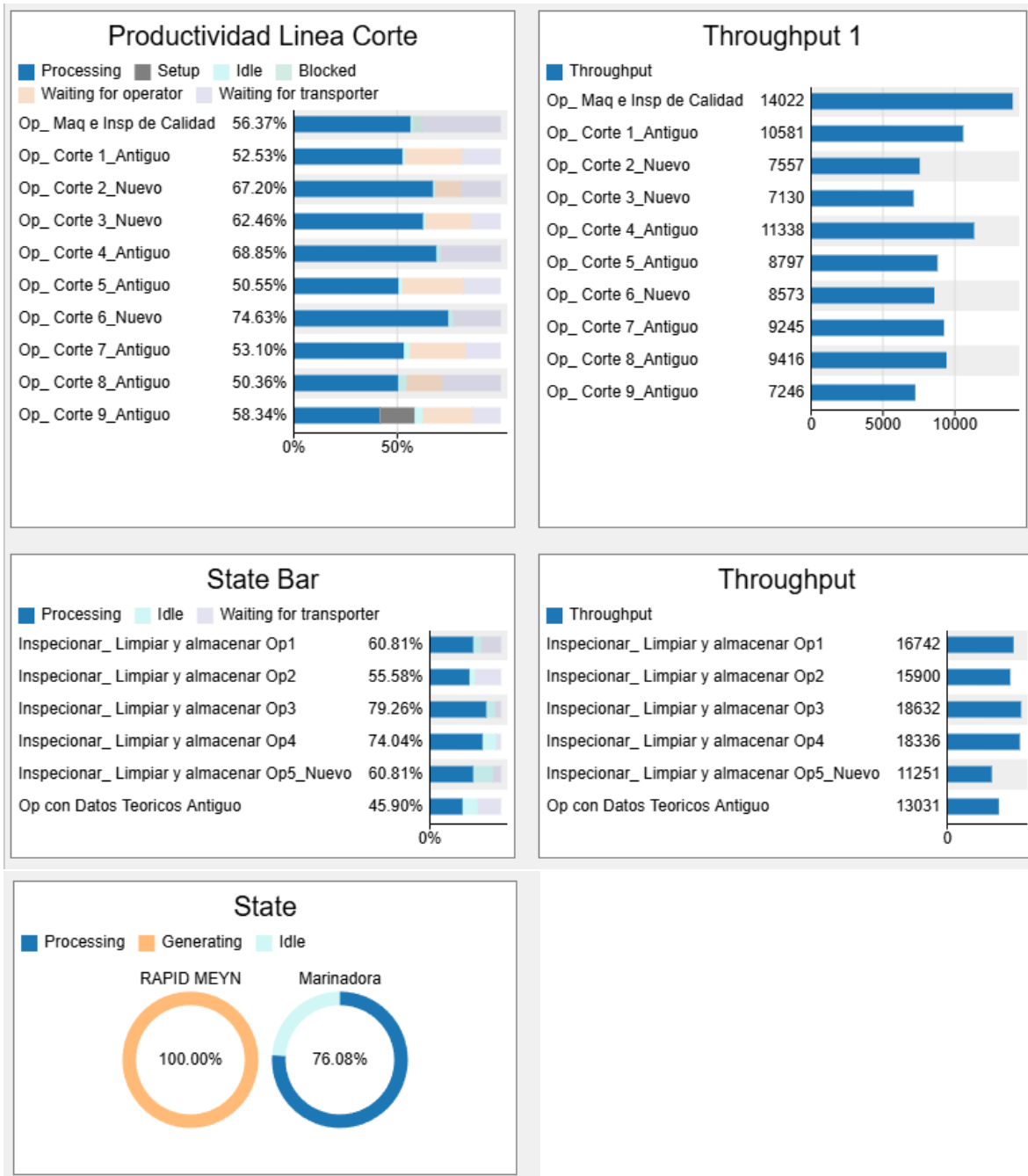


Figura 19. Indicadores globales de desempeño del proceso productivo en el modelo 2.

Elaboración propia con base en simulación realizada en el software FlexSim.

8.4.4 MODELO DE SIMULACIÓN EN SOFTWARE FLEXSIM – MODELO 3

Descripción	Muestras - (Tiempo de proceso en UND/MIN)														Tiempo de proceso Seg/Filete	Desviación estandar Filete/Min	Promedio Tasa Pn Filete/Min	Coeficiente de variabilidad %	Shape Alfa α	Scale Beta β	Ciclo	
	10	15	13	16	17	21	19	18	17	20	21	19	20	18								17
Op_Maq E Insp	10	15	13	16	17	21	19	18	17	20	21	19	20	18	17	3,4483	3,019	17,400	72%	1,909	1,806	91%
Corte 1 - op1	11	13	15	10	16	12	13	13	17	15	15	16	16	15	14	4,2654	2,017	14,067	54%	3,459	1,233	88%
Corte 1 - op2 (Nuevo)	7	9	9	9	7	9	6	6	6	8	7	9	8	8	9	7,6923	1,207	7,800	43%	5,353	1,437	47%
Corte 1 - op3 (Nuevo)	9	9	9	10	8	10	9	9	10	5	9	3	7	6	7	7,5000	2,035	8,000	72%	1,931	3,884	56%
Corte 1 - op4	11	10	11	15	10	11	9	14	12	11	14	11	11	12	10	5,2326	1,685	11,467	50%	4,040	1,295	78%
Corte 1 - op5	14	10	12	15	10	11	10	14	13	12	14	12	12	12	10	4,9724	1,668	12,067	48%	4,339	1,146	82%
Corte 1 - op6 (Nuevo)	7	9	9	9	7	9	9	9	7	8	6	6	8	8	9	7,5000	1,134	8,000	40%	6,222	1,205	49%
Corte 1 - op7	12	9	10	16	10	11	10	13	15	12	14	12	12	12	14	4,9451	1,995	12,133	57%	3,048	1,622	80%
Corte 1 - op8	10	13	7	11	16	13	12	12	15	14	15	12	16	15	14	4,6154	2,449	13,000	68%	2,167	2,130	81%
Corte 1 - op9	15	11	12	14	12	15	11	15	13	12	13	12	12	12	13	4,6875	1,373	12,800	38%	6,788	0,691	89%
Op Línea Datos Teóricos Antiguo	12	9	10	16	10	11	10	13	15	12	14	12	12	12	14	4,9451	1,995	12,133	57%	3,048	1,622	80%
Inspeccionar_Limpiar y almacenar Op1	16	25	23	19	20	17	14	19	19	18	14	22	21	20	22	3,1142	3,150	19,267	72%	1,941	1,604	94%
Inspeccionar_Limpiar y almacenar Op2	15	19	21	20	16	16	12	18	19	23	20	22	23	25	28	3,0303	4,127	19,800	93%	1,163	2,606	91%
Inspeccionar_Limpiar y almacenar Op3	16	13	16	13	20	16	20	19	18	15	17	11	15	20	16	3,6735	2,743	16,333	68%	2,171	1,692	90%
Inspeccionar_Limpiar y almacenar Op4	13	9	16	15	13	20	18	25	13	20	19	18	25	12	20	3,5156	4,652	17,067	113%	0,789	4,457	85%
Inspeccionar_Limpiar y almacenar Op5 (Nuevo)	10	9	9	10	9	9	10	12	12	12	13	15	12	12	13	5,3254	2,052	11,267	61%	2,676	1,990	75%
Inspeccionar_Limpiar y almacenar (Teórico)	16	13	16	13	20	16	20	19	18	15	17	11	15	20	16	3,6735	2,743	16,333	68%	2,171	1,692	90%

Tabla 7. Se muestra análisis estadístico de tiempos de procesos por operación de corte en el modelo 3. Elaboración propia

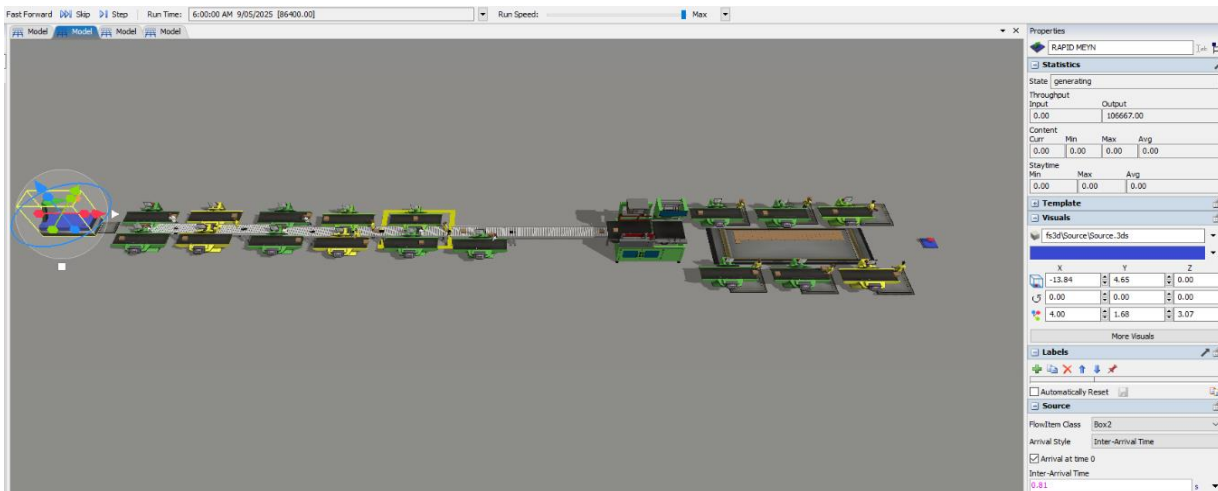


Figura 20. Se presenta la disposición de los equipos y estaciones consideradas en el modelo 3.

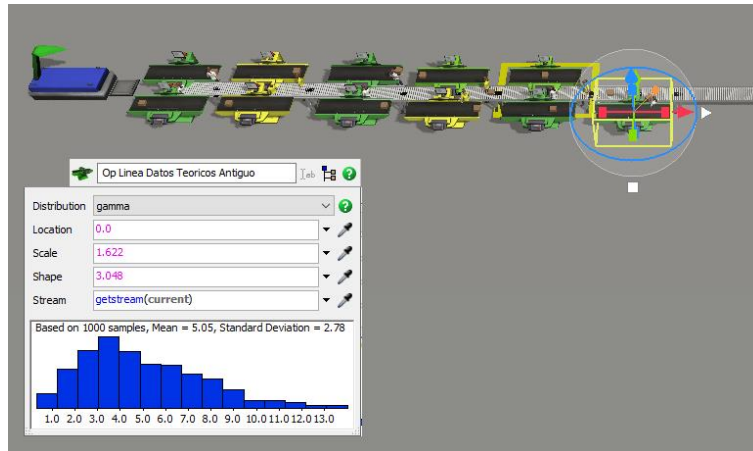


Figura 21. Se presenta la inclusión de 1 operario con experiencia en el área de corte para el modelo 3

8.4.5. Resultados Modelo de simulación en SOFTWARE FLEXSIM - Modelo 3

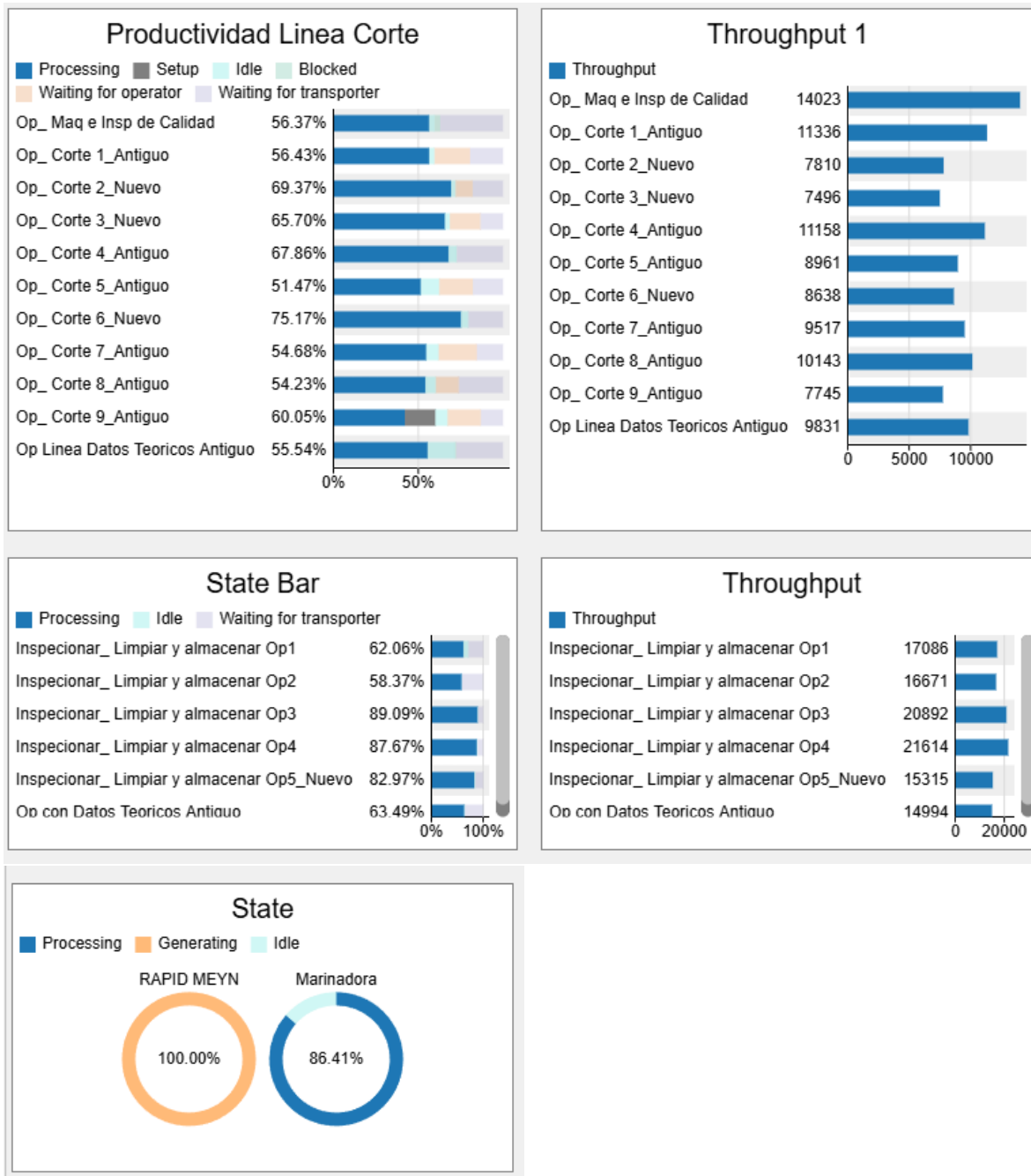


Figura 22. Indicadores globales de desempeño del proceso productivo en el modelo 3.

Elaboración propia con base en simulación realizada en el software FlexSim.

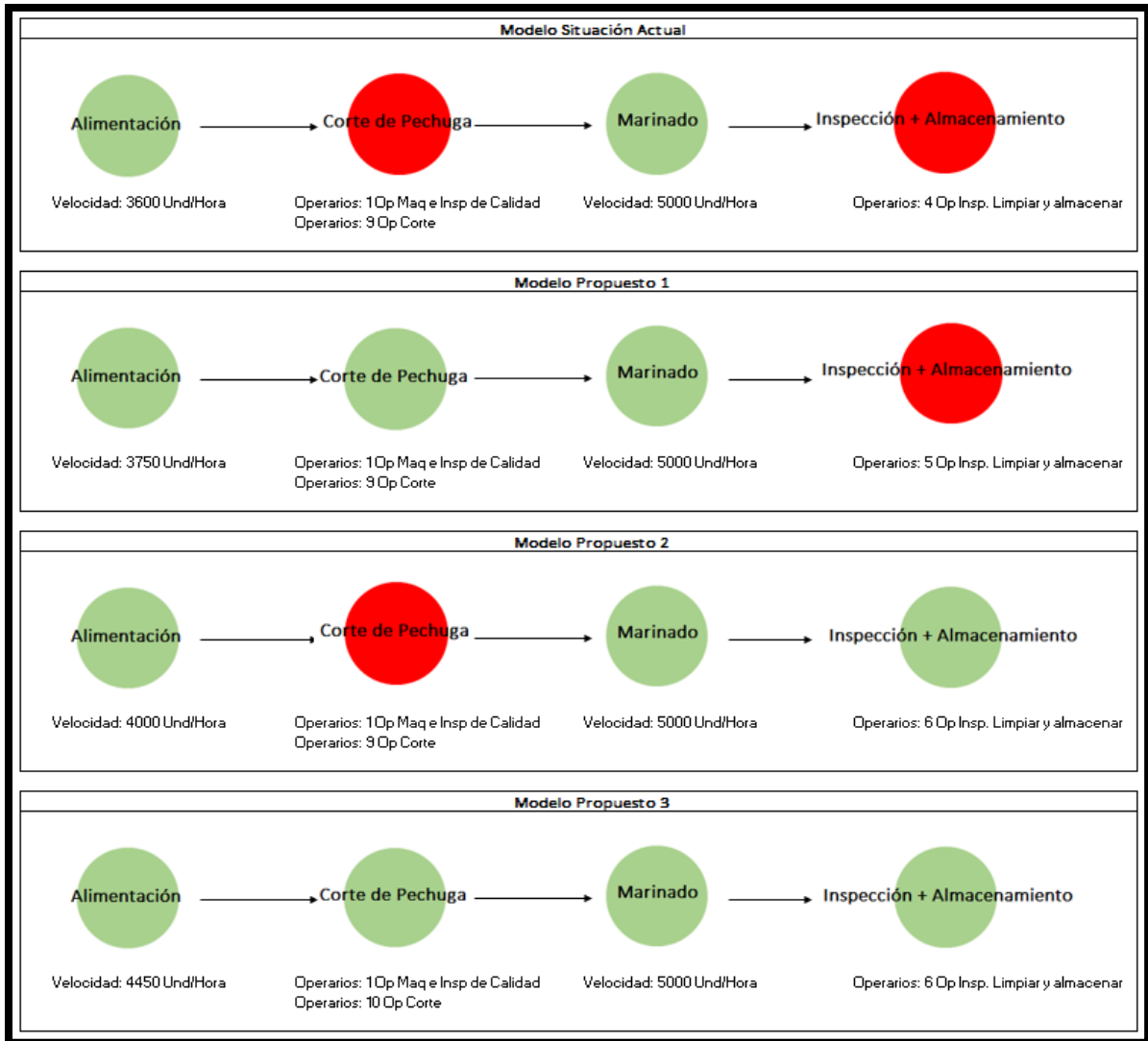


Figura 23. Comparación visual entre la situación actual y los tres modelos propuestos, destacando los cuellos de botella en cada escenario (marcados en rojo).

8.5 ANALISIS FINANCIERO

8.5.1 Peso canal pollo beneficiado.

El siguiente análisis detalla los costos asociados al proceso de beneficio del pollo, considerando el costo en pie, rendimiento en canal y distribución de costos por parte.

CONCEPTO	VALOR POR KG
Costo pollo en pie (vivo)	\$ 6.000
Peso promedio del pollo	2,5
Costo total del pollo vivo	\$ 15.000
Rendimiento en canal	73% a 75%
Peso canal (pollo beneficiado)	1,825
Costo promedio por kilo (beneficiado)	\$ 8.219

Tabla 8. Tabla de datos peso canal pollo beneficiado. Elaboración propia

8.5.2 Costo promedio beneficio

El proceso de beneficio del pollo genera diversos costos operativos asociados a la mano de obra, consumo de recursos, materiales y transporte.

CONCEPTO	UNIDAD	COSTO BENEFICIO	% DEL COSTO TOTAL BENEFICIO
Mano de obra (Escaldado, Eviscerado, Chiller)	por pollo	\$ 369	37%
Agua y energía eléctrica	por pollo	\$ 65	6%
Hielo o refrigeración	por pollo	\$ 163	16%
Materiales y empaque (bolsas, bandejas, cinta, etiquetas)	por pollo	\$ 179	18%
Transporte (planta → distribuidoras)	por pollo	\$ 125	12%
Mermas y limpieza / desechos	por pollo	\$ 102	10%
TOTAL COSTO BENEFICIO		\$ 1.003,00	100%

Tabla 9. Datos costo promedio beneficio. Elaboración propia

8.5.3 Costo kg en canal

El costo por kilogramo en canal se determina a partir de la relación entre el costo total del beneficio por ave y el peso promedio del pollo beneficiado. Este indicador permite estimar el costo unitario real del producto final obtenido tras el proceso de beneficio.

$$COSTO Kg EN CANAL = \frac{COSTO BENEFICIADO}{PESO CANAL POLLO BENEFICIADO}$$

$$COSTO Kg EN CANAL = \frac{\$1.003}{1.825 Kg} = 549.58 \$/Kg$$

8.5.4 Costo promedio de pollo en canal

El costo promedio del pollo en canal se obtiene sumando el costo promedio por kilogramo beneficiado y el costo por kilogramo en canal. Este valor representa el costo total unitario final del producto tras el proceso de beneficio.

$$COSTO PROMEDIO DE POLLO EN CANAL = COSTO PROMEDIO POR KILO BENEFICIADO + COSTO Kg EN CANAL$$

$$COSTO PROMEDIO DE POLLO EN CANAL = \$ 8.219 + 549.58 \frac{\$}{Kg} = 8.768,58 \frac{\$}{Kg}$$

Costo promedio de pollo asignado por partes

El costo promedio del pollo en canal puede distribuirse entre las diferentes partes anatómicas del ave, de acuerdo con su participación porcentual dentro del canal y su peso estimado.

PARTE	% DEL CANAL	PESO ESTIMADO (Kg)	COSTO PROMEDIO DE POLLO EN CANAL (Kg)	COSTO ASIGNADO POR PARTES (Kg)
Pechuga con piel	33%	0,60	\$ 8.768,58	\$ 5.261,15
Muslos (pernil + contramuslo)	30%	0,55	\$ 8.768,58	\$ 4.822,72
Alas	10%	0,18	\$ 8.768,58	\$ 1.578,34
Espalda, cuello, menudencias	27%	0,49	\$ 8.768,58	\$ 4.296,60

Tabla 10. Datos costo promedio de pollo asignado por partes. Elaboración propia

8.5.5 Costo mano de obra por horas

El cálculo del costo de mano de obra incluye el salario básico, prestaciones sociales y auxilio de transporte, considerando un total de 240 horas trabajadas al mes.

CONCEPTO	VALOR (COP)	
Salario básico mensual	\$	1.423.500
Auxilio de transporte	\$	200.000
Horas trabajadas al mes	\$	240
PRESTACIONES (PORCENTAJES APLICADOS SOBRE SALARIO BÁSICO)		
Salud	8,50%	\$ 120.998
Pensión	12%	\$ 170.820
ARL	1%	\$ 14.235
Caja de compensación	4%	\$ 56.940
Cesantías	8,33%	\$ 118.578
Intereses a cesantías	1%	\$ 14.235
Prima de servicios	8,33%	\$ 118.578
Vacaciones	4,17%	\$ 59.360
Dotación / otros	2%	\$ 28.470
Total prestaciones	49,33%	\$ 702.213
Factor prestacional (1 + prestaciones)	1,4933	
Costo total mensual (salario * factor)		\$ 2.125.713
Costo total mensual con transporte		\$ 2.325.713
Costo Operario por hora (sin transporte)		\$ 8.857
Costo Operario por hora (con transporte)		\$ 9.690

Tabla 11. Datos costo mano de obra por horas. Elaboración propia

8.5.6 Análisis financiero del proceso filete porcionado

Se comparan los resultados actuales y propuestos de la línea de filete porcionado. El aumento de la velocidad de 3.300 a 4.500 unidades por hora incrementa la producción y reduce el costo por kilogramo.

DATOS	ACTUAL	PROPUESTO
línea de producción	filete porcionado	filete porcionado
velocidad und/hora	3300	4500
peso teórico (kg)	0,6	0,6
pérdida de peso por retiro de cartílago y piel	10%	10%
peso real (kg)	0,54	0,54
costo m.o por hora	\$ 9.690,47	\$ 9.690,47
cantidad m.o	14	17

Tabla 12. Datos costo proceso filete porcionado. Elaboración propia

8.5.7 Producción kg/hora

La producción por hora se calcula como el producto entre la velocidad de la línea (unidades procesadas por hora) y el peso real promedio de cada unidad. Este indicador refleja la capacidad productiva efectiva del proceso bajo los escenarios actual y propuesto.

$$PRODUCCIÓN \frac{Kg}{HORA} = VELOCIDAD \left(\frac{UND}{HORA} \right) \times PESO REAL (kg)$$

ESCENARIO ACTUAL

$$PRODUCCIÓN \frac{Kg}{HORA} = 3300 \left(\frac{UND}{HORA} \right) \times 0.54kg = 1782 Kg/HORA$$

ESCENARIO PROPUESTO

$$PRODUCCIÓN \frac{Kg}{HORA} = 4500 \left(\frac{UND}{HORA} \right) \times 0.54kg = 2430 Kg/HORA$$

8.5.8 Costo de mano de obra del proceso de porcionado

El costo total de mano de obra en el proceso de porcionado se obtiene multiplicando el costo por hora de cada operario por la cantidad de trabajadores asignados a la línea. Este cálculo permite determinar el gasto directo en personal operativo para ambos escenarios

$$\begin{aligned} & \text{COSTO MANO DE OBRA DEL PROCESO PORCIONADO} \\ & = \text{COSTO M.O POR HORA X CANTIDAD DE M.O} \end{aligned}$$

ESCENARIO ACTUAL

$$\begin{aligned} & \text{COSTO MANO DE OBRA DEL PROCESO PORCIONADO} \\ & = \$ 9.690,47 \times 14 = \$ 135.666,58 \end{aligned}$$

ESCENARIO PROPUESTO

$$\begin{aligned} & \text{COSTO MANO DE OBRA DEL PROCESO PORCIONADO} \\ & = \$ 9.690,47 \times 17 = \$ 164.737,99 \end{aligned}$$

8.5.9 Costo de mano de obra por kg/hora

El costo de mano de obra por kilogramo y hora permite determinar el gasto operativo asociado al procesamiento de una unidad de producto (kg) durante una hora de trabajo. Este indicador se calcula dividiendo el costo total de mano de obra del proceso de porcionado entre la producción por hora alcanzada.

$$\text{COSTO M.O POR } \frac{\text{Kg}}{\text{HORA}} = \$ \frac{\text{COSTO MANO DE OBRA DEL PROCESO PORCIONADO}}{\text{PRODUCCIÓN Kg/HORA}}$$

ESCENARIO ACTUAL

$$\text{COSTO M.O POR } \frac{\text{Kg}}{\text{HORA}} = \$ \frac{135.666,58}{1782 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{HORA}}\right)} = \$ 76,13 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{HORA}}\right)$$

ESCENARIO PROPUESTO

$$\text{COSTO M.O POR } \frac{\text{Kg}}{\text{HORA}} = \$ \frac{164.737,99}{2430 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{HORA}}\right)} = \$ 67,79 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{HORA}}\right)$$

8.5.10 Costo total de máquinas por hora

El costo total de máquinas por hora representa el valor asociado al uso, mantenimiento, energía y depreciación de los equipos involucrados en el proceso de porcionado. Este costo se expresa de forma unitaria por kilogramo y por hora de operación.

$$\text{COSTO MAQUINA } \frac{\text{Kg}}{\text{HORA}} = \$ 396,29 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{HORA}}\right)$$

8.5.11 Costo del proceso de porcionado

El costo total del proceso de porcionado se determina sumando el costo asignado de la pechuga con piel (materia prima base), el costo de mano de obra y el costo de utilización de las máquinas por hora. Este valor representa el costo integral por kilogramo procesado dentro de la línea de filete porcionado.

COSTO TOTAL PROCESO PORCIONADO

$$\begin{aligned} &= \text{CT ASIGNADO DE PECHUGA CON PIEL} \\ &+ \text{CT MANO DE OBRA PROCESO PORCIONADO} \\ &+ \text{CT MAQUINA Kg/HORA} \end{aligned}$$

ESCENARIO ACTUAL

$$\text{COSTO TOTAL PROCESO PORCIONADO} = \$ 5.261,15 + \$ 76,13 + \$ 396,29 = \$ 5.733,57$$

ESCENARIO PROPUESTO

$$\text{COSTO TOTAL PROCESO PORCIONADO} = \$ 5.261,15 + \$ 67,79 + \$ 396,29 = \$ 5.725,23$$

8.6 RESUMEN SITUACIÓN FINANCIERA

8.6.1 Eficiencia productiva

La velocidad aumenta de 3.300 a 4.500 und/h incrementando la producción de 1.782 a 2.430 kg/h equivalente a un 36.4%

El costo de mano de obra por kg disminuye 10,9%, gracias al mejor aprovechamiento del personal y las máquinas.

8.6.2 Costo total

El costo total por kg baja de \$5.733,57 a \$5.725,25, es decir, una reducción del 0,15%.

8.6.3 Rentabilidad bruta

El nuevo escenario produce 7,3 millones más por hora de utilidad equivalente a un 36,4% manteniendo el mismo margen del 66,3%.

DATOS	ACTUAL	PROPUESTO
Línea de producción	FILETE PORCIOANDO	FILETE PORCIOANDO
Velocidad und/hora	3300	4500
Peso teórico (kg)	0,6	0,6
Pérdida de peso por retiro de cartílago y piel	10%	10%
Peso real (kg)	0,54	0,54
Costo m.o por hora	\$ 9.690,47	\$ 9.690,47
Cantidad m.o	14	17
Producción (kg/h)	1.782	2.430
Costo m.o. (\$/kg)	76,13	67,81
Costo total (\$/kg)	5.733,57	5.725,25
Costo total hora (\$)	\$ 10.217.221,74	\$ 13.912.357,50
Precio venta (\$/kg)	\$ 17.000,00	\$ 17.000,00
Precio venta (\$/kg)	\$ 30.294.000,00	\$ 41.310.000,00
Costo total hora (\$)	\$ 10.217.221,74	\$ 13.912.357,50
Utilidad bruta (\$/hora)	\$ 20.076.778,26	\$ 27.397.642,50
Margen bruto (%)	66,3%	66,3%

Tabla 13. Resultados comparativos del proceso de filete porcionado. Elaboración propia

9. CONCLUSIÓN

El análisis financiero de la línea de producción de filete porcionado evidencia que el aumento en la velocidad de procesamiento y la ampliación del número de operarios generan un impacto positivo en la productividad y en la rentabilidad global de la línea de producción. Aunque el margen bruto se mantiene constante, el incremento en el volumen de producción permite una mayor generación de utilidad por hora, optimizando el aprovechamiento de los recursos disponibles. Estos resultados demuestran que la combinación adecuada entre capacidad instalada, recurso humano y automatización posibilita un proceso más eficiente, competitivo y económicamente sostenible para la empresa.

Throughput en corte

El throughput total de corte varió significativamente:

- Modelo 1: entre 6.923 y 10.669 unidades.
- Modelo 2: entre 7.130 y 11.338 unidades.
- Modelo 3: entre 7.496 y 11.336 unidades.

Si bien el Modelo 2 alcanzó el mayor valor puntual, el Modelo 3 mostró un mayor promedio general, lo que sugiere estabilidad y continuidad en la alimentación de la línea.

- En el Modelo 1, la utilización osciló entre 58% y 89%, con fuerte sobrecarga en algunos operadores (Op3 y Op4).
- En el Modelo 2, los valores bajaron a un rango de 55% a 79%, lo que permitió una mejor distribución de la carga.
- En el Modelo 3, la ocupación aumentó a rangos de 58% a 89%, pero de manera más balanceada y con mayor throughput total (máximo de 21,614 unidades).

Se evidencia que la gestión de la carga de trabajo en esta etapa determina el flujo hacia la marinadora.

La máquina RAPID MEYN se mantuvo en 100% de utilización en los tres modelos, lo que demuestra que no constituye un cuello de botella.

La marinadora, en cambio, reflejó variaciones importantes:

- Modelo 1: 72.9% de utilización.
- Modelo 2: 76.1% de utilización.
- Modelo 3: 86.4% de utilización.

El Modelo 3 es el más eficiente, ya que logra un flujo más continuo hacia la marinadora, reduciendo tiempos ociosos.

El análisis financiero y operativo de la línea de producción de filete porcionado evidencia que el aumento en la velocidad de procesamiento, junto con la ampliación del número de operarios, genera un impacto positivo en la productividad y rentabilidad global del proceso. Si bien el margen bruto se mantiene constante, el incremento en el volumen de producción permite una mayor utilidad por hora, optimizando el aprovechamiento de los recursos humanos y tecnológicos disponibles.

En términos de desempeño operativo, el throughput del área de corte mostró una mejora progresiva en los tres modelos simulados.

- Modelo 1 presentó un rango entre 6.923 y 10.669 unidades,
- Modelo 2 entre 7.130 y 11.338 unidades,
- Modelo 3 entre 7.496 y 11.336 unidades,

destacándose este último por su mayor promedio general, lo que sugiere una mayor estabilidad y continuidad en la alimentación de la línea.

La utilización del personal en corte evolucionó favorablemente entre los escenarios:

- Modelo 1 presentó rangos de 58% a 89%, con sobrecarga en algunos operarios;
- Modelo 2 redujo esa variabilidad a 55%–79%, logrando una distribución más equilibrada;
- Modelo 3 mantuvo una ocupación entre 58% y 89%, pero de forma más balanceada y con el mayor throughput total (21.614 unidades). Estos resultados evidencian que una gestión eficiente de la carga de trabajo en esta etapa es determinante para el flujo continuo hacia la marinadora.

La máquina Rapid Meyn mantuvo una utilización del 100% en todos los modelos, confirmando que no constituye un cuello de botella dentro del proceso. Por su parte, la marinadora mostró un aumento sostenido en su nivel de uso:

- 72,9% en el Modelo 1
- 76,1% en el Modelo 2
- 86,4% en el Modelo 3, consolidando a este último como el más eficiente, al lograr un flujo más estable y una reducción de los tiempos ociosos.

En síntesis, los resultados demuestran que el Modelo 3 representa la configuración óptima en términos de equilibrio entre capacidad instalada, recurso humano y eficiencia del flujo productivo. La combinación adecuada de estos factores permite una operación más continua, competitiva y económicamente sostenible, constituyendo una base sólida para decisiones de mejora en la gestión de la línea de fileteado.

10. RECOMENDACIÓN TÉCNICA

Se recomienda continuar con la evaluación de escenarios mediante simulación para identificar el punto de operación óptimo entre la capacidad de las máquinas y de personal. De esta manera, es posible mantener o incluso mejorar el margen de rentabilidad al incrementar la eficiencia operativa impactando los costos. Asimismo, se sugiere implementar un sistema de monitoreo continuo de indicadores de desempeño (productividad, tiempo de ciclo, costos unitarios y rendimiento por operario) que permita ajustar los parámetros de producción en tiempo real. Esta estrategia garantizará la sostenibilidad económica del proceso y favorecerá la toma de decisiones basadas en datos dentro de una perspectiva de mejora continua.

1. El cuello de botella no está en las máquinas automáticas, sino en la variabilidad de desempeño de los operadores de corte e inspección.
2. El Modelo 3 representa la mejor alternativa, pues alcanza la mayor utilización de la marinadora, mejor productividad promedio y mayor throughput global.
3. La diferencia entre operadores nuevos y antiguos confirma que la capacitación, estandarización de métodos y ergonomía de los puestos son claves para mejorar la eficiencia.
4. Con un balanceo adecuado, se puede lograr un incremento del throughput sin necesidad de invertir en nueva maquinaria.
5. El enfoque de simulación en FlexSim permitió cuantificar escenarios y demostrar que la mejora depende más de la gestión del recurso humano que de la capacidad instalada.

11. RECURSOS A EMPLEAR

A continuación, se resumen los recursos necesarios para llevar a cabo la propuesta del presente proyecto.

11.1 Humanos

11.1.1 Director

Francisco Muñoz Prado - PhD Ingeniería Industrial

11.2 Físicos

Biblioteca Pontificia Universidad Javeriana Cali.

11.3 Tecnológicos

Software FlexSim.

11.4 Bibliográficos

Bases de datos, tales como:

- WoS
- Springer
- Scopus

12. REFERENCIA

Hibino, H., Kuroda, T., & Shimomura, K. (2021). Modeling and simulation of production systems to evaluate the effect of worker turnover on productivity. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems and Manufacturing*, 15(2).

Jiang, S., Li, L., & Deng, K. (2022). Optimization and simulation of production line layout based on plant simulation. *2022 IEEE 5th International Conference on Automation, Electronics and Electrical Engineering, AUTEEE 2022*, 180–185.

Malega, P., Gazda, V., & Rudy, V. (2022). Optimization of production system in plant simulation. *Simulation*, 98(4), 295–306.

Price, R. N., & Harrell, C. R. (1999). *Simulation modeling and optimization using promodel*.

Schindlerova, V., Sajdlerova, I., Bucko, M., & Klepkova, L. (2023). Simulation and optimisation of the assembly line production process. *MM Science Journal*, 2023-March, 6325–6332.

Tamás, P. (2017). Decision support simulation method for process improvement of intermittent production systems. *Applied Sciences (Switzerland)*, 7(9).

Vanessa, L., Ariza, P., & Felizzola Jimenez, H. A. (2020). Optimización de la capacidad de producción en una empresa de alimentos usando simulación de eventos discretos optimizing production capacity in a food company using discrete event simulation. In *Revista chilena de ingeniería* (Vol. 28, Issue 2).

13. CRONOGRAMA DE TRABAJO

Se presenta un resumen del cronograma de actividades para llevar a cabo el proyecto de profundización. La frecuencia de las reuniones con el director será de una vez cada 15 días.

REDISEÑO DE UNA PLANTA DE SACRIFICIO DE POLLO PARA LA INSTALACIÓN DE NUEVOS EQUIPOS DE MAYOR CAPACIDAD EN EL ÁREA DE DESPRESE

Inicio del proyecto:

Semana para mostrar:

TAREA	PROGRESO	INICIO	FIN	Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre				Octubre			
				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Caracterización del proceso y cuantificación de recursos disponibles				Semanas																							
1. Definir los límites del proceso.	0%	10-5-25	8-6-25	1	2	3	4																				
2. Mapear el flujo del proceso que caracterice el sistema productivo.	0%	10-5-25	8-6-25	1	2	3	4																				
3. Descomponer el proceso.	0%	10-5-25	8-6-25	1	2	3	4																				
4. Identificar las actividades clave	0%	10-5-25	8-6-25	1	2	3	4																				
Análisis de entrada				Semanas																							
5. Registrar el tiempo en cada etapa.	0%	9-6-25	27-6-25					5	6																		
6. Identificar actividades críticas.	0%	9-6-25	27-6-25					5	6																		
7. Analizar las causas de los retrasos.	0%	9-6-25	27-6-25					5	6																		
8. Recopilación de datos.	0%	28-6-25	16-7-25							7	8																
9. Análisis descriptivo.	0%	28-6-25	16-7-25							7	8																
10. Modelado probabilístico.	0%	28-6-25	16-7-25							7	8																
11. Interpretación de resultados	0%	28-6-25	16-7-25							7	8																

