

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Diseño de un modelo de planificación de personal y tareas para una línea
de procesamiento de carne de cerdo

INGE-2816

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingenieros Industriales

Presentado por:

Paúl Eduardo Chalén Aluisa

Adrián Célimo Padilla Serdán

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Declaración Expresa

Nosotros, Paul Eduardo Chalén Aluisa y Adrián Célimo Padilla Serdán acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

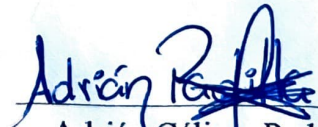
En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al/los autor/es que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 20 de mayo del 2025.



Paul Eduardo Chalén

Aluisa



Adrián Célimo Padilla

Serdán

Evaluadores

María Laura Retamales, M.Sc

Profesora de Materia

María Denise Rodríguez, PhD.

Tutora de proyecto

Resumen

En la industria alimentaria, particularmente en plantas de procesamiento en frío de carne de cerdo, la asignación de personal constituye un factor determinante para garantizar eficiencia, calidad y cumplimiento de tiempos de producción. Este proyecto tiene como objetivo diseñar e implementar un modelo automatizado de asignación de personal, con la hipótesis de que la planificación basada en datos permite optimizar la distribución de tareas, reducir sobretiempos y mejorar el uso de recursos. La justificación radica en que los métodos manuales actuales no responden adecuadamente ante variaciones de la demanda ni imprevistos operativos, generando desequilibrios en la carga laboral. Para el desarrollo se realizó un análisis del proceso actual, identificando tareas críticas como corte, pesaje, empaque y almacenamiento, y posteriormente se diseñó un modelo que relaciona el volumen de producción con la cantidad de personal requerido por tarea, tomando en cuenta restricciones de turnos y capacidad operativa. La validación con datos reales permitió evidenciar una reducción proyectada del sobretiempo en un 15% y una mejora en el equilibrio de la carga de trabajo. En conclusión, el modelo automatizado constituye una herramienta eficaz que contribuye a la eficiencia operativa, optimización de recursos y mejora de la sostenibilidad del proceso.

Palabras Clave: asignación de personal, eficiencia operativa, sostenibilidad, optimización de recursos, industria alimentaria.

Abstract

In the food industry, particularly in pork cold-processing plants, staff allocation is a critical factor to ensure efficiency, quality, and compliance with production schedules. This project aims to design and implement an automated personnel allocation model, under the hypothesis that data-driven planning enhances task distribution, reduces overtime, and optimizes resource usage. The justification lies in the fact that current manual methods fail to adequately address demand fluctuations and unexpected events, leading to imbalances in workload distribution. For the development, the current planning process was analyzed, identifying critical tasks such as cutting, weighing, packaging, and storage, and a model was subsequently designed to link production volume with the required number of workers per task, considering shift constraints and operational capacity. Validation with real plant data showed a projected 15% reduction in overtime and an improvement in workload balance. In conclusion, the automated model is an effective tool that contributes to operational efficiency, resource optimization, and process sustainability.

Keywords: *staff allocation, operational efficiency, sustainability, resource optimization, food industry.*

Índice general

Resumen	I
Abstract	II
Índice general	III
Índice de Figuras	V
Índice de tablas	V
Capítulo 1	1
1.1 Introducción	2
1.2 Descripción del problema	3
1.3 Justificación del problema	3
1.4 Objetivos	4
1.4.1 Objetivo General	4
1.4.2 Objetivos Específicos	4
1.5 Marco Teórico 1.5.1 Quality Function Deployment (QFD)	5
1.5.2 Mapa de Macroprocesos	5
1.5.3 SIPOC (Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers)	6
1.5.4 Journey Map	6
1.5.5 Empathy Map (Mapa de Empatía)	6
1.5.6 Voice of Customer (Voz del Cliente)	7
1.5.7 Modelo de Optimización	7
1.5.8 Job Shop Scheduling + Assignment Model	7
1.5.9 Python	8
1.5.9 Beneficio/Costo	8
Capítulo 2	10
2.1 Metodología	11
2.1.1 Desarrollo del Mapa de Macroprocesos	11
2.1.2 Análisis SIPOC del Proceso de Procesamiento de Cerdo	12
2.1.3 Construcción del Journey Map del Proceso	13
2.1.4 Desarrollo del Mapa de Empatía	14
2.1.5 Voice of customer (VOC)	15
2.1.6 Identificación de Restricciones del Sistema	16
2.1.7 Matriz QFD	18
2.1.8 Análisis indicadores dentro del Triple Bottom Line Metrics	21
2.1.9 Alineación con Objetivos de Desarrollo Sostenible	22
2.1.10 Formulación del Point of View	23

2.2 Plan de recolección de datos	24
2.2.1 Mapa de estaciones y tareas.....	26
2.2.2 Tiempo promedio por tarea.....	27
2.2.3 Productividad por estación de trabajo	28
2.2.4 Capacidad técnica por estación (maquinaria)	29
2.2.5 Número de personal asignado por puesto de trabajo y por turno	29
2.2.6 Herramienta de planificación y flujo de trabajo actuales	29
2.2.7 SKUs procesados en el área de carne de cerdo	31
2.3 Análisis financiero	31
2.4 Diseño del modelo	35
2.4.1 Modelo Matemático	36
Capítulo 3.....	39
3. Resultados y Análisis	40
3.1 Resultados del modelo.....	40
3.1.2 Implementación Computacional del Modelo	41
3.1.3 Formulación en OR-Tools.....	41
3.1.4 Flujo de trabajo del prototipo	42
3.1.5 Verificación / Prototipo e implementación	43
3.2 Análisis del impacto económico, social y medio ambiental	45
3.2.1 Económico.....	45
3.2.2 Social	45
3.2.3 Ambiental	46
Capítulo 4	47
4.1 Conclusiones y recomendaciones	48
4.1.1 Conclusiones.....	48
4.1.2 Recomendaciones	49
Bibliografía	51
Apéndices.....	52

Índice de Figuras

Figura 2.1	11
Figura 2.2	12
Figura 2.3	13
Figura 2.4	14
Figura 2.5	15
Figura 2.6	18
Figura 2.7	26
Figura 2.8	30
Figura 2.9	30
Figura 2.10	31
Figura 3.2	43
Figura 2.3	44

Índice de tablas

Tabla 2.1	24
Tabla 2.2	27
Tabla 2.3	28
Tabla 2.4	28
Tabla 2.5	32
Tabla 2.6	33
Tabla 2.7	34

Capítulo 1

1.1 Introducción

En la industria alimentaria, especialmente aquellos que tienen procesos los cuales requieren condiciones de refrigeración, la correcta planificación de los recursos a utilizar es significativamente importante para de esta manera garantizar eficiencia, calidad y cumplimiento de los tiempos establecidos. Tomando en cuenta esto, la distribución del personal de la planta se vuelve un factor clave, dado que, su programación debe adecuarse constantemente a la demanda diaria y a las limitaciones propias de cada tarea.

Akkerman y Van Donk (2007), indican que la programación en esta industria presenta ciertos desafíos específicos, como productos perecederos, plazos cortos y sobretodo una fuerte interdependencia entre actividades, de esta manera, el sistema que se vaya a utilizar debe poder asignar el personal ágilmente para así evitar demoras y reducir el desperdicio. Sin embargo, esto contrasta con la realidad, ya que muchas plantas aún gestionan estas decisiones de manera manual o mediante esquemas poco estructurados, basándose principalmente en el criterio más que en herramientas basadas en datos.

Asimismo, Hamada et al. (2024) indica que métodos como los modelos heurísticos o híbridos aplicados a industrias de alimentos preparados han demostrado ser efectivos, aumentando la eficiencia y adaptándose a condiciones operativas cambiantes. Estas decisiones no solo reducen la carga de planificación, sino que también permiten redistribuir mejor el personal, además de un uso más eficiente de las máquinas que se utilicen, esto es fundamental para de esta manera garantizar la sostenibilidad operativa en contextos exigentes con baja tolerancia al error.

Ante estas condiciones, la implementación de estos sistemas que permiten asignar al personal de manera eficiente se presenta como una alternativa necesaria ya que facilita la mejora de la productividad, el equilibrio en la carga de trabajo, la eficiencia energética y la toma de decisiones estratégicas basada en datos.

1.2 Descripción del problema

En una planta de procesamiento en frío de carne de cerdo, actividades como el pesaje, corte, empaque y almacenamiento requieren de una distribución adecuada y puntual del personal, tomando en cuenta el volumen de producción diario como también las capacidades de cada operario. No obstante, en la actualidad este proceso de asignación se realiza de forma manual, sin el respaldo adecuado de información en tiempo real ni tampoco de herramientas que permitan anticipar con precisión la carga laboral. Si bien este método puede funcionar en condiciones estables, presenta limitaciones importantes al momento de enfrentar con variaciones inesperadas en la demanda o imprevistos como ausencia del personal, en estos escenarios, es común que la asignación dada no refleje con precisión las necesidades operativas, lo cual genera una distribución desequilibrada del trabajo y dificultando el uso óptimo de los recursos. Adicionalmente, la falta de un sistema que relacione directamente los volúmenes de producción con la planificación del personal impide la posibilidad de tomar decisiones basadas en datos, lo cual limita la capacidad de optimizar el uso de la maquinaria, controlar los costos y mantener un desempeño uniforme en las jornadas.

1.3 Justificación del problema

La ausencia de un sistema automatizado que asigne personal impacta a la eficiencia operativa de la planta. Cuando la planificación es hecha empíricamente, sin considerar datos objetivos ni indicadores de carga laboral, es más complejo sostener una

operación equilibrada, adaptable y eficiente frente a variaciones de última hora o imprevistos. Contar con un modelo que relacione el volumen diario de producción con la distribución y cantidad de personal permitirá tomar decisiones más acertadas, de esta manera se anticiparía a posibles cuellos de botella, evitando la sobrecarga como la subutilización del recurso humano. De igual manera, esto contribuiría al uso eficiente de la energía y maquinaria disponible.

Una planificación más ajustada también favorece a un entorno de trabajo más justo, al distribuir de manera más equitativa las tareas y así facilitar la adaptación ante imprevistos, por lo tanto, el desarrollar una herramienta con estas características representa una oportunidad clara para de esta manera mejorar el rendimiento global del proceso.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar un modelo automatizado de asignación de personal para una planta de procesamiento en frío de carne de cerdo, que permita optimizar la distribución de tareas en función del volumen de producción diario y contribuir a la reducción del sobretiempo en la línea de producción en un 15% en un periodo de tres meses.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Analizar el proceso actual de planificación del personal, identificando tareas críticas, condiciones operativas y puntos de variabilidad.
- Determinar los datos mínimos necesarios para vincular el volumen de producción con la asignación de personal por tarea.
- Diseñar la lógica del modelo de asignación de personal, considerando tiempos estimados, capacidad operativa por tarea y restricciones de turno.

- Validar el modelo con datos reales de la planta, evaluando su impacto en la carga de trabajo, eficiencia energética y balance operativo.

1.5 Marco Teórico

1.5.1 Quality Function Deployment (QFD)

El Quality Function Deployment (QFD) es una metodología de diseño que permite traducir las necesidades del cliente en características técnicas específicas del producto o servicio. Desarrollado originalmente por Yoji Akao en Japón en la década de 1960, el QFD utiliza la "Casa de la Calidad" como herramienta principal para establecer relaciones entre los requerimientos del cliente y las especificaciones técnicas (Akao, 1990). Esta metodología se basa en matrices que conectan sistemáticamente la voz del cliente con parámetros técnicos medibles, permitiendo priorizar esfuerzos de desarrollo y asegurar que los productos finales satisfagan las expectativas del mercado. El QFD facilita la comunicación interdisciplinaria y reduce el tiempo de desarrollo al enfocar los recursos en las características más valoradas por los clientes (Chan & Wu, 2002).

1.5.2 Mapa de Macroprocesos

El Mapa de Macroprocesos es una herramienta gráfica que presenta una visión general de las principales funciones de una organización, de esta manera muestra cómo se conectan los procesos claves entre sí. Es común en modelos que buscan mejorar la eficiencia global, dado que, ayuda a identificar flujos, redundancias y oportunidades de mejora estructural (Hammer & Champy, 1993). La implementación de esta herramienta también facilita el rediseño de operaciones cuando se busca innovar o digitalizar procesos tradicionales (Davenport, 1993).

1.5.3 SIPOC (Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers)

SIPOC ofrece una estructura clara para comprender un proceso desde su inicio hasta el resultado final, categorizando los proveedores, insumos, actividades, productos y destinatarios, así permite a los equipos delimitar con precisión que procesos analizar. La utilidad de esta herramienta es notoria en las primeras fases de proyectos de mejora ya que ofrece una comprensión rápida del sistema sin requerir información detallada (George, 2003; Pyzdek, 2003).

1.5.4 Journey Map

El mapeo del recorrido del cliente es una técnica la cual permite visualizar toda la experiencia de una persona al interactuar con un servicio o producto. Esta herramienta no solo destaca los pasos que da el usuario, sino también las emociones, dolores, obstáculos y momentos críticos que afectan su experiencia. Su uso se ha vuelto fundamental en estrategias centradas en la percepción del cliente (Rosenbaum et al., 2017), ya que permite detectar brechas entre lo que se ofrece y lo que realmente se experimenta (Lemon & Verhoef, 2016).

1.5.5 Empathy Map (Mapa de Empatía)

El Mapa de Empatía es una herramienta de design thinking que ayuda a comprender profundamente las necesidades, comportamientos y motivaciones de los usuarios. Desarrollado por IDEO, este framework organiza las observaciones sobre lo que los usuarios dicen, hacen, piensan y sienten (Gray et al., 2010). Esta metodología es esencial para el desarrollo de productos centrados en el usuario y la innovación. Facilita la empatía con el usuario final, reduce suposiciones incorrectas y guía decisiones de diseño basadas en insights reales del comportamiento humano (Brown, 2008).

1.5.6 Voice of Customer (Voz del Cliente)

La Voz del Cliente (VOC) es una metodología sistemática para capturar, analizar y traducir las necesidades, expectativas y preferencias del cliente en especificaciones técnicas y estrategias de negocio. Este enfoque es fundamental en la gestión de la calidad total y el desarrollo de productos (Griffin & Hauser, 1993). El VOC integra múltiples técnicas de investigación de mercado, incluyendo entrevistas, encuestas, grupos focales y análisis de datos de comportamiento. Su implementación efectiva mejora la satisfacción del cliente, reduce costos de desarrollo y aumenta la probabilidad de éxito en el mercado (Kano et al., 1984).

1.5.7 Modelo de Optimización

Los modelos de optimización son representaciones matemáticas que buscan encontrar la mejor solución posible dentro de un conjunto de alternativas factibles, maximizando o minimizando una función objetivo sujeta a restricciones específicas. Estos modelos son fundamentales en la investigación de operaciones y la toma de decisiones cuantitativas (Hillier & Lieberman, 2015).

Los modelos de optimización se clasifican en varias categorías según su estructura: programación lineal, programación entera, programación no lineal y programación estocástica. La selección del modelo apropiado depende de la naturaleza del problema, el tipo de variables de decisión y las características de la función objetivo y restricciones (Winston, 2004).

1.5.8 Job Shop Scheduling + Assignment Model

El Job Shop Scheduling es un problema de optimización que busca asignar trabajos a máquinas en un taller con el objetivo de minimizar el tiempo total de

procesamiento (makespan) u otros criterios de rendimiento. Este problema es clasificado como NP-hard, lo que significa que no existe un algoritmo de tiempo polinomial conocido para resolverlo óptimamente (Garey & Johnson, 1979).

Los modelos de asignación en job shops incluyen algoritmos heurísticos, metaheurísticos y técnicas de programación matemática. Las aplicaciones industriales van desde manufactura hasta servicios, donde la programación eficiente de recursos es crítica para la competitividad (Pinedo, 2016).

1.5.9 Python

Python es un lenguaje de programación de alto nivel, interpretado y de propósito general, creado por Guido van Rossum en 1991. Su filosofía de diseño enfatiza la legibilidad del código y la simplicidad, lo que lo convierte en una herramienta ideal para prototipado rápido, análisis de datos y desarrollo de aplicaciones (Van Rossum & Drake, 2009). En el contexto de la gestión de procesos y optimización, Python ofrece bibliotecas especializadas como NumPy para computación numérica, Pandas para análisis de datos, Matplotlib para visualización y PuLP para programación lineal. Su versatilidad lo ha convertido en el lenguaje preferido para ciencia de datos, inteligencia artificial y automatización de procesos (McKinney, 2017).

1.5.9 Beneficio/Costo

Es una técnica la cual permite evaluar el aspecto económico de un proyecto a manera de comparación entre los beneficios ganados contra los costos en los que se incurre. Tiene como objetivo determinar si la propuesta aporta más valor del que consume.

$$\text{Índice } B/C = \frac{\text{Valor presente de los beneficios}}{\text{Valor presente de costos}} \quad (1.1)$$

Si este índice es mayor a 1, el proyecto se considera económicamente viable (Boardman et al., 2018). Este análisis es importante al momento de analizar y planificar inversiones, permite cuantificar la relevancia de las decisiones tomadas, como la automatización de procesos o reasignación de recursos humanos (Mishan & Quah, 2020).

Capítulo 2.

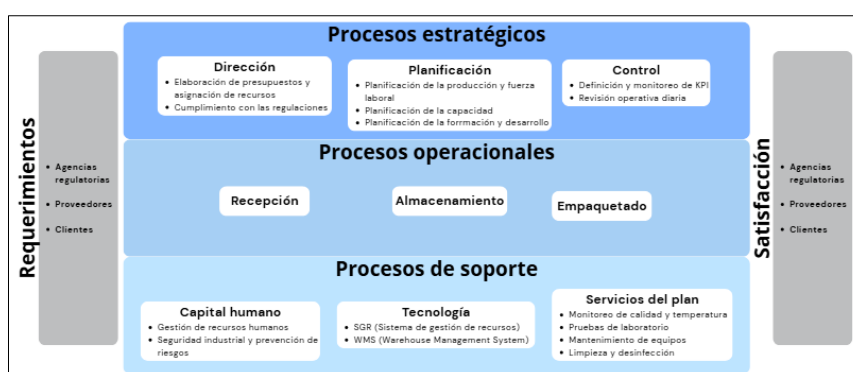
2.1 Metodología

2.1.1 Desarrollo del Mapa de Macroprocesos

La construcción del mapa de macroprocesos fue esencial para obtener una visión holística de cómo el proceso de asignación de personal se inserta dentro del ecosistema organizacional más amplio. Esta herramienta permitió identificar las interdependencias entre diferentes procesos y comprender cómo las decisiones de asignación afectan y son afectadas por otros procesos organizacionales.

Figura 2.1

Mapa de macroprocesos



Fuente: Elaboración propia.

Estructura del mapa:

- Procesos estratégicos: Dirección, planificación, control (establecen directrices generales)
- Procesos operacionales: Recepción, depósito, empaquetado (flujo donde opera la asignación)
- Procesos de soporte: Gestión humana, seguridad, calidad, tecnología (marco habilitador)

La representación visual fue crucial para identificar que la asignación de personal no es un proceso aislado, sino que debe coordinarse con la planificación de

producción, gestión de inventarios, mantenimiento de equipos y cumplimiento regulatorio.

2.1.2 Análisis SIPOC del Proceso de Procesamiento de Cerdo

Figura 2.2

Análisis SIPOC

PROVEEDORES	ENTRADAS	PROCESOS	SALIDAS	CLIENTES
Compras y adquisiciones	Plan de compras semanal, volumen y fechas de recepción de carne	Proceso de compras	Orden de compra emitida, planificación inicial	Área de producción en frío
Proveedores de carne de cerdo	Carne de cerdo en bloque o medias canales	Recepción de carne	Registro de lote recibido	Área de control de calidad
Área de calidad	Parámetros de calidad, listas de verificación	Control de calidad	Lotes aprobados o rechazados	Cámaras de frío
ALCANCE DEL PROYECTO				
Supervisores de operaciones	Asignación de tareas	Distribución de tareas y asignación de personal	Personal distribuido por estación de trabajo	Operadores
	Información de disponibilidad de personal	Planificación de turnos	Horario de turnos según la demanda	Jefe de producción
Operadores de línea	Mano de obra, herramientas	Corte, desposte y pesado en diferentes porciones	Carne porcionada según especificaciones	Área de máquinas Bizerba
Sistemas	Registros de productividad, hojas Excel, macros	Captura de datos de productividad en tiempo real	Base de datos con métricas por estación y operador	Gestión del área fría/analistas
Área bizerba	Empaque, etiquetas, impresoras	Empaque y etiquetado	Productos con trazabilidad y peso definido	Área de distribución
Almacén/Logística interna	Cámaras de frío, disponibilidad logística	Almacenamiento y despacho a logística	Pallets armados con carne de cerdo preservada bajo estándares de cadena de frío	Tiendas

Fuente: Elaboración propia.

El desarrollo del diagrama SIPOC se implementó para definir claramente los límites y componentes del proceso bajo estudio, proporcionando una vista panorámica que facilita la identificación de todas las variables relevantes para el modelo de optimización.

Componentes identificados:

- Proveedores (8 categorías): Desde proveedores de carne hasta supervisores operacionales
- Entradas (13 tipos): Elementos físicos, información y recursos humanos
- Procesos (8 principales): Desde recepción hasta almacenamiento
- Salidas (8 tipos): Productos terminados y registros de calidad
- Clientes (6 tipos): Internos y externos del proceso

La importancia de este análisis radica en que permite comprender que la asignación de personal no puede optimizarse considerando solo las actividades de corte y empaquetado, sino que debe contemplar todo el flujo de proceso, incluyendo actividades de soporte como control de calidad, limpieza y mantenimiento, sin embargo, el alcance de nuestro proyecto abarca hasta antes del etiquetado del producto final.

2.1.3 Construcción del Journey Map del Proceso

Figura 2.3

Diagrama Journey Map

Etapas	Actividad principal	Objetivo	Puntos de contacto	Experiencia	Puntos débiles
Recepción	Recibir y revisar la carne	Asegurar la correcta entrada y calidad	Termómetro, lista de verificación manual	Lento bajo presión	No hay suficiente personal cuando los camiones llegan al mismo tiempo
Control de calidad	Revisión de calidad	Mantener la higiene	Diseño físico/distribución	Lento	Algunas piezas no cumplen con los requisitos
División del personal	Dividir manualmente al personal en distintas áreas	Asegurar que las tareas estén cubiertas con el personal disponible	Listas, instrucciones verbales	Muy inconsistente	No existe una herramienta para calcular la cantidad exacta de personal por tarea
Corte	Cortar la carne en porciones requeridas, clasificar por tipo	Preparar para limpieza y empaque	Mesas de corte, cuchillos, EPP	Bien coordinado	Fatiga física, tarea repetitiva
Lavado y limpieza	Lavar e inspeccionar la carne	Garantizar higiene	Zona de lavado, inspección visual	Inconsistente	Retrasos cuando el personal es insuficiente
Pesado y empaque	Pesar, embolsar y etiquetar el producto	Garantizar trazabilidad e identificación	Báscula, impresora de etiquetas	Cuello de botella común	Retraso si solo una estación está disponible
Almacenamiento en frío	Trasladar a cámaras de frío	Mantener la cadena de frío	Estanterías, distribución de cámaras de frío	Controlado	Se pierde tiempo si el almacenamiento no está preasignado

Fuente: Elaboración propia.

El mapeo del viaje del proceso se desarrolló para capturar no solo la secuencia técnica de actividades, sino también la experiencia operacional en cada etapa. Esta herramienta fue esencial porque permite identificar los pain points específicos que experimenta el personal, información crítica para diseñar un modelo operacionalmente viable.

Etapas críticas identificadas:

1. Recepción: Falta de personal durante superposición de camiones.

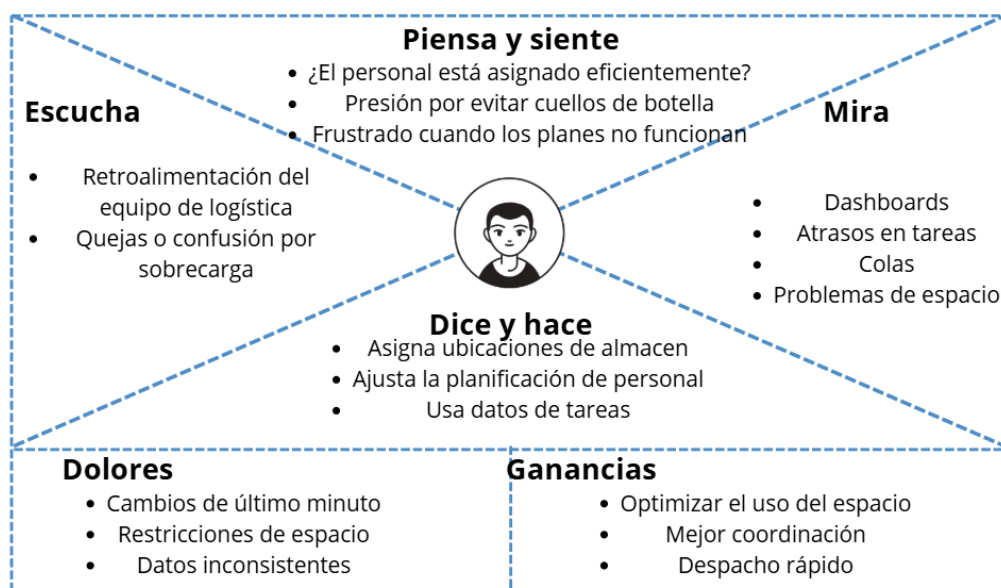
2. Control de calidad: Lentitud en inspección física.
3. División de personal: Asignación manual inconsistente.
4. Corte: Coordinación efectiva pero fatiga física.
5. Lavado y limpieza: Retrasos con personal reducido.
6. Pesado y empaquetado: Cuello de botella con una sola estación.
7. Almacenamiento: Control efectivo pero pérdida de tiempo.

La clasificación emocional proporcionó una métrica cualitativa valiosa para priorizar áreas de mejora. La etapa de “División de personal” es considerada como una experiencia "muy negativas" por lo que requiere atención prioritaria en el modelo de optimización.

2.1.4 Desarrollo del Mapa de Empatía

Figura 2.4

Mapa de empatía del analista de Slotting



Fuente: Elaboración propia.

El mapa de empatía se construyó específicamente para comprender la perspectiva del analista de slotting, usuario principal del sistema de asignación. Esta

herramienta fue crucial porque permite diseñar una solución que sea usable y aceptable para quien debe operarla diariamente.

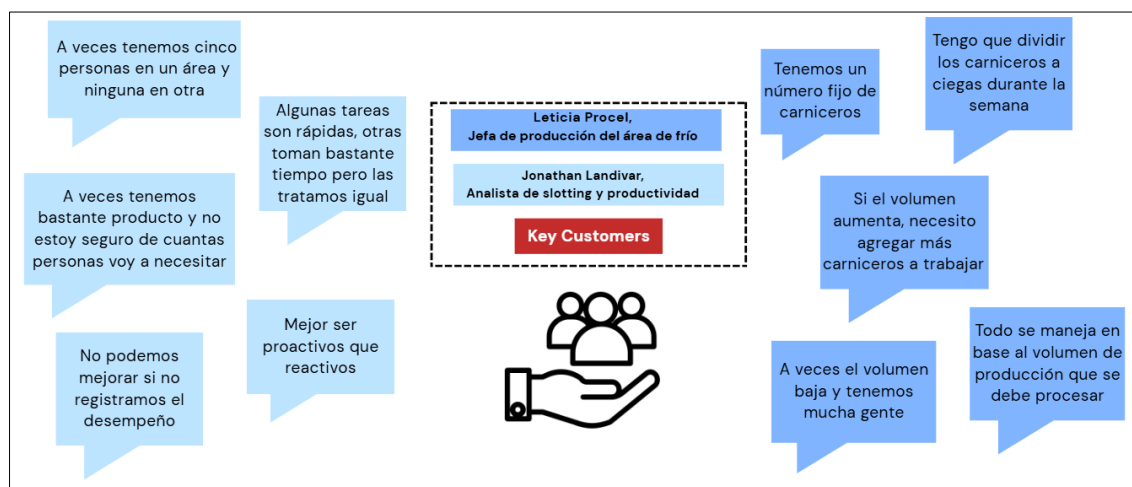
Hallazgos clave del análisis:

- Pensamientos y sentimientos: Presión constante por evitar cuellos de botella, frustración con planes que no funcionan
- Lo que escucha: Quejas de sobrecarga, retroalimentación de equipos logísticos
- Lo que ve: Dashboards, retrasos, colas.
- Lo que dice y hace: Asigna ubicaciones, ajusta planes, usa datos, realiza cambios de último minuto
- Dolores: Restricciones de espacio, datos inconsistentes, cambios de último minuto
- Ganancias: Uso optimizado del espacio, coordinación fluida, despacho rápido
- La identificación de estos dolores y ganancias proporciona criterios específicos que debe abordar el modelo de optimización y objetivos claros para el diseño del sistema.

2.1.5 Voice of customer (VOC)

Figura 2.5

Diagrama de la voz del cliente



Fuente: Elaboración propia.

La recolección sistemática de la voz del cliente se implementó mediante entrevistas en profundidad con los usuarios clave del sistema, permitiendo traducir las necesidades operacionales en especificaciones técnicas para el modelo de optimización.

Usuarios entrevistados:

- Jonathan Landivar (Analista de Slotting y Productividad)
- Leticia Procel (Gerente de Producción del Área Fría)

Necesidades identificadas:

- "No podemos mejorar si no seguimos el rendimiento" → Necesidad de sistema de monitoreo integrado
- "A veces tenemos cinco personas en un área y ninguna en otra" → Problema de desbalance que debe resolver el modelo
- "A veces recibimos mucho producto y no estoy seguro de cuántas personas necesito" → Algoritmo de cálculo automático basado en volumen
- "Algunas tareas son rápidas, otras toman una eternidad, pero las tratamos igual" → Consideración de diferentes complejidades de tareas

Estas declaraciones proporcionan especificaciones funcionales específicas que debe cumplir el modelo de optimización.

2.1.6 Identificación de Restricciones del Sistema

La definición de restricciones se realizó mediante consultas técnicas con los usuarios mencionados en el punto anterior, estableciendo los parámetros dentro de los cuales debe operar el modelo de optimización para asegurar viabilidad técnica y operacional.

Restricciones identificadas:

1. Productividad individual: El modelo debe estar vinculado a la productividad por operador
2. Ajuste dinámico: El personal debe ajustarse dinámicamente según el volumen de producción por turno
3. Precedencias de tareas: Deben respetarse las restricciones de secuenciación entre actividades
4. Limitaciones temporales: Consideración de turnos, descansos y regulaciones laborales
5. Sostenibilidad económica: No aumentar costos operacionales actuales relacionados con personal o energía

Estas restricciones crean un marco específico que asegura que la solución optimizada sea técnicamente viable y operacionalmente implementable.

2.1.7 Matriz QFD

Figura 2.6

Quality Function Deployment

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Fuente: Elaboración propia.

La implementación de Quality Function Deployment se realizó para traducir sistemáticamente las necesidades del cliente en especificaciones técnicas específicas del modelo de optimización, proporcionando una metodología estructurada para priorizar las características técnicas del sistema.

Requerimientos del cliente. El lado izquierdo del QFD muestra los requerimientos funcionales priorizados por el equipo operativo. El más importante (valor 10) es “Planificar al personal en función de la carga de trabajo y el tiempo”, reflejando una necesidad clara de adecuar recursos a la demanda. Otros requerimientos altamente valorados son:

- Adaptar el personal ante fluctuaciones de volumen (valor 9)
- Usar secuencias de tareas que optimicen el uso de maquinaria (valor 8)
- Manejar ausencias imprevistas (valor 7)

Estos elementos evidencian la necesidad de un sistema adaptable, equilibrado y eficiente.

Especificaciones técnicas del diseño. La parte superior del QFD identifica las características que debe tener el sistema para responder a los requerimientos. Cada una fue ponderada según su capacidad de satisfacer esos requerimientos. Las tres especificaciones claves son:

1. Auto-staffing by volume & capacity: Asociada al pilar económico del Triple Bottom Line. Permite asignar personal automáticamente según el volumen a procesar, reduciendo sobre costos por sobretiempo y mano de obra ociosa.
2. Required staff per shift and workload balance indicator: Asociada al aspecto social, ya que promueve la equidad en la distribución de trabajo, evita la sobrecarga de operarios y mejora el clima laboral.
3. Machine Utilization Efficiency: Asociada al componente ambiental, ya que maximiza el uso de las máquinas dentro de su capacidad técnica sin sobreexigir recursos ni energía, reduciendo desperdicio.

Estas especificaciones fueron seleccionadas no solo por su relevancia técnica, sino porque abarcan los tres ejes del desarrollo sostenible.

Las otras dos especificaciones de diseño que se tomaron en cuenta son:

4. CSV/Excel Volume Input: Asociada al soporte operativo y técnico del modelo. Permite cargar el volumen diario de producción desde archivos CSV o Excel, facilitando la integración con los sistemas actuales de la planta y reduciendo errores en la entrada de datos.

5. Volume-based Task Sequencing Chart: Asociada a la eficiencia operativa.

Permite organizar y priorizar automáticamente las tareas según el volumen de producción diario, optimizando el flujo de trabajo y evitando cuellos de botella en las estaciones de trabajo.

Ponderación de especificaciones. En la sección inferior del QFD, se observa la ponderación de cada especificación, medida a través del Technical Importance Score.

Las tres especificaciones seleccionadas se posicionan en los primeros lugares:

- Auto-staffing by volume & capacity → 384 puntos → 20% de importancia (Prioridad 1)
- Volume-based task sequencing chart → 348 puntos → 18% (Prioridad 2)
- CSV/Excel Volume input → 336 puntos → 18% (Prioridad 3)
- Required staff per shift and workload balance indicator → 310 puntos → 16% (Prioridad 4)
- Machine Utilization Efficiency → 276 puntos → 15% (Prioridad 5)

Esto valida su peso en la solución final.

Relaciones entre especificaciones (tejado del QFD). El tejado de la casa de calidad refleja las relaciones entre las especificaciones técnicas. Por ejemplo:

- CSV/Excel Volume Input ↔ Auto-staffing by Volume & Capacity
Esta relación existe porque el módulo de auto-asignación de personal necesita datos precisos del volumen diario para calcular cuántos operarios asignar a cada estación. Si los datos ingresados desde el archivo CSV/Excel no son claros o precisos, el algoritmo puede asignar mal al personal. Por eso, ambos elementos se complementan directamente: uno provee la información base y el otro toma decisiones en función de esa información

- Volume-based Task Sequencing Chart ↔ Machine Utilization Efficiency

Esta relación se da porque al organizar las tareas según el volumen de producción diario, se puede optimizar el uso de cada máquina.

Si las tareas se ejecutan en el orden correcto, se reduce el tiempo muerto entre estaciones, se evita la sobrecarga y se distribuye mejor la carga de trabajo entre equipos. Esto mejora directamente la eficiencia del uso de la maquinaria, lo cual es esencial tanto a nivel operativo como ambiental.

Análisis de competencia (lado derecho). La figura compara cuatro herramientas (GanttPro, Cerri Project, Pipefy, Muraby) frente a las especificaciones del sistema. Se evalúan con una escala de 1 a 5:

- Muraby (línea negra) muestra mejor desempeño general.
- GanttPro y Pipefy tienen fortalezas parciales, pero carecen de integración completa.
- Ninguna herramienta cubre al 100% los requerimientos definidos, lo que refuerza la necesidad de un modelo personalizado que combine Job Shop + Staff Assignment implementado en Python.

2.1.8 Análisis indicadores dentro del Triple Bottom Line Metrics

Costo laboral por unidad procesada (Económico)

Fórmula

$$\frac{\text{Costo laboral total por turno}}{\text{Total de kg o unidades procesadas}} \quad (2.1)$$

Mide cuan eficiente es la relación entre el costo de la mano de obra y la producción real. Interpretación: Si es un valor bajo se entiende que se posee una alta eficiencia laboral, es decir, se está produciendo más con menos costo humano.

Índice de balance de carga laboral (Social)

Fórmula

$$\frac{\text{Desviación estándar del tiempo de trabajo del personal}}{\text{Tiempo promedio de trabajo del personal}} \quad (2.2)$$

Mide el equilibrio en la carga de trabajo entre los diferentes operarios.

Interpretación: Si es un valor cercano a 0, indica que el personal está trabajando con cargas similares (equitativas). Esta métrica promueve la justicia y el bienestar laboral, reduciendo el estrés, fatiga y posibles accidentes laborales.

Consumo energético (Ambiental)

Fórmula

$$(\Sigma \text{ Consumo de la máquina}) * \text{Horas trabajadas al día} * \text{Días al año trabajados} \quad (2.3)$$

Esta métrica permite calcular el consumo energético anual de una máquina, considerando su potencia de consumo, el tiempo de uso diario y la frecuencia de operación durante el año. En términos prácticos, se multiplica el consumo unitario de la máquina por las horas de trabajo al día y los días laborados en el año, obteniendo así una estimación del gasto energético total asociado a su funcionamiento. Esta fórmula es útil para identificar equipos de alto consumo, proyectar costos de electricidad y proponer medidas de eficiencia energética dentro de la planta de producción.

2.1.9 Alineación con Objetivos de Desarrollo Sostenible

La vinculación del proyecto con los ODS de la ONU se realizó para asegurar que la solución genere impacto positivo más allá de la eficiencia operacional inmediata, justificando la inversión desde una perspectiva de responsabilidad social corporativa.

Contribuciones identificadas. ODS 9 (Industria e innovación): Implementación de tecnología avanzada de optimización. Esta alineación proporciona métricas

adicionales para evaluar el éxito del proyecto, complementando indicadores operacionales con indicadores de impacto social y ambiental.

2.1.10 Formulación del Point of View

La síntesis del entendimiento del problema mediante la técnica POV de Design Thinking cristalizó la comprensión del problema desde la perspectiva del usuario principal, asegurando que el modelo aborde el problema real experimentado por el usuario.

Estructura del POV:

- Usuario: Planificador de producción responsable de asignación diaria de personal en el área de procesamiento de cerdo
- Necesidad: Modelo flexible basado en datos que permita asignación eficiente basada en volumen real de procesamiento
- Insight: La planificación manual actual ("asignación a ciegas") genera desbalances frecuentes y uso ineficiente de recursos cuando los volúmenes fluctúan

Esta formulación establece claramente el valor agregado que debe proporcionar la solución propuesta.

2.2 Plan de recolección de datos

Tabla 2.1

Plan de recolección de datos para el proyecto

<i>¿Quién?</i>	<i>¿Qué?</i>			<i>¿Cuándo?</i>	<i>¿Dónde?</i>	<i>¿Por qué?</i>	<i>¿Cómo?</i>		<i>Método de verificación</i>
<i>Responsables</i>	<i>Definición</i>	<i>Unidad de medida</i>	<i>Tipo de dato</i>	<i>Fecha</i>	<i>Ubicación</i>	<i>Uso futuro</i>	<i>Método de observación</i>	<i>Método de recolección de datos</i>	
Paul Chalen & Adrian Padilla	Mapa de estaciones y tareas	Lista de estaciones	Cualitativo	Desde junio 2025	Línea de procesamiento en frío de cerdo	Definir rutas de tareas y estratificación por estación	Observación en el sitio	Mapa de procesos desarrollado con personal técnico	Validación visual con gerente de planta y operadores clave
Paul Chalen & Adrian Padilla	SKUs procesados en el área de procesamiento de cerdo	Número de SKU	Cuantitativo-categorico	Desde junio 2025	Registros de producción	Agrupar y priorizar tareas según la complejidad de los SKU	Entrevista + análisis de datos	Extracción de registros históricos por SKU	Validación mediante verificación de frecuencia con personal de producción y supervisores
Paul Chalen & Adrian Padilla	Tiempo promedio por tarea	Minutos	Cuantitativo – continuo	Desde junio 2025	Estaciones de producción	Estimar la duración de las actividades para diseñar el modelo de secuenciación	Estudio de tiempos con cronómetro	Estudio de tiempos usando cronómetro y plantilla de registro	Comparar con tiempos estándar internos con tolerancia aceptable ($\pm 15\%$)

<i>¿Quién?</i>	<i>¿Qué?</i>			<i>¿Cuándo?</i>	<i>¿Dónde?</i>	<i>¿Por qué?</i>	<i>¿Cómo?</i>		<i>Método de verificación</i>
<i>Responsables</i>	<i>Definición</i>	<i>Unidad de medida</i>	<i>Tipo de dato</i>	<i>Fecha</i>	<i>Ubicación</i>	<i>Uso futuro</i>	<i>Método de observación</i>	<i>Método de recolección de datos</i>	
Paul Chalen & Adrian Padilla	Productividad por estación de trabajo	Piezas/hh	Cuantitativo-Continuo	Desde junio 2025	Informes de producción diaria	Establecer la línea base del desempeño actual	Observación directa	Extracción de reportes del sistema	Confirmar consistencia entre reportes y validar con supervisor de operaciones
Paul Chalen & Adrian Padilla	Capacidad técnica por estación (maquinaria)	Unidades/hora	Cuantitativo-continuo	Desde junio 2025	Especificaciones técnicas de la máquina	Determinar límites de duración	Consulta técnica	Revisión de hojas de datos	Comparar especificaciones con desempeño real medido (si aplica)
Paul Chalen & Adrian Padilla	Número de personal asignado por estación y turno	Número de personas	Cuantitativo – discreto	Desde junio 2025	Matrices de asignación	Comprender la lógica de asignación actual	Revisión documental	Extracción de registros de asignación por estación y turno	Validación con supervisores del área respecto a exactitud y representatividad
Paul Chalen & Adrian Padilla	Herramienta de planificación y flujo de trabajo actuales	Tipo de herramienta	Cualitativo	Desde junio 2025	Departamento de planificación	Identificar restricciones actuales y posibles mejoras tecnológicas	Entrevista con planificadores	Observación + documentación del uso de la herramienta	Validación del flujo de trabajo mediante mapeo conjunto con el personal responsable

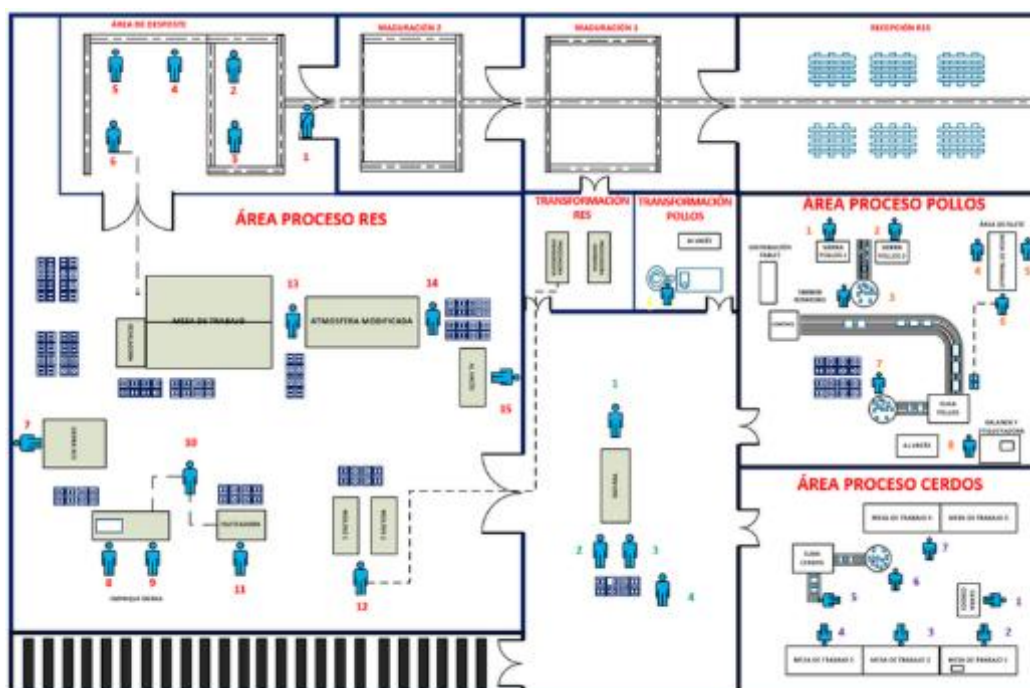
Para el plan de recolección de datos se procedió con lo establecido, se reconoció el uso futuro de la información. A continuación, se detalla de qué manera fue validado cada dato.

2.2.1 Mapa de estaciones y tareas

Se identificó el área de producción de primera mano mediante la práctica de “Gemba Walk” se comparó lo que se observó con la información proporcionada por la empresa.

Figura 2.7

Diagrama de la distribución de áreas de planta de carnes



Se logró observar 4 áreas principales dentro de la línea de cerdo, las cuales son:

1. Sierra (2 si es necesario)
2. Chuleteadora
3. Fileteadora
4. Mesa de desposte

2.2.2 Tiempo promedio por tarea

Para la verificación de este conjunto de datos, se procedió a tomar los tiempos de procesamiento de cada estación de manera presencial, Una las muestras tomadas es el tiempo de procesamiento de corte de un brazo de cerdo en la mesa de desposte. Se tomó una muestra significativa de 30 observaciones, dando como resultado un tiempo promedio aproximado de:

$$5.34 \frac{\text{minutos}}{\text{brazo} * \text{persona}}$$

Para el estudio de tiempos también se consideraron holguras tanto fijas como variables, con un valor de:

Tabla 2.2

Holguras constantes y variables para el estudio cronométrico de tiempos

HOLGURAS	
HOLGURAS CONSTANTES	
Suplemento personal	0.05
Suplemento por fatiga básica	0.04
TOTAL	0.09
HOLGURAS VARIABLES	
Energía Muscular	0.07
Nivel de ruido	0.01
Estar de pie	0.02
Monotonía alta	0.04
Tedio	0.05
TOTAL	0.19
TOTAL HOLGURAS	0.28

Teniendo esto en cuenta, el tiempo promedio de corte de un brazo de cerdo en la mesa de desposte es de:

$$6.84 \frac{\text{minutos}}{\text{brazo} * \text{persona}}$$

A continuación, se muestra una tabla resumen con los demás tiempos de procesamiento:

Tabla 2.3

Tiempos promedios por cada estación de trabajo

TIEMPO PROMEDIO (minutos/unidad/persona)	ESTACIÓN DE TRABAJO
6.84	MESA DE DESPOSTE (BRAZO)
7.07	MESA DE DESPOSTE (PIERNA)
3.09	MESA DE DESPOSTE (COSTILLA)
0.98	MESA DE DESPOSTE (TACO)
0.90	SIERRA (TACO)
3.60	SIERRA (COSTILLA)
0.71	FILETEADORA (PULPA)
0.88	CHULETEADORA (LOMO)

2.2.3 Productividad por estación de trabajo

Gracias a la toma de datos anterior, se pudo obtener la productividad de cada estación, siendo esta:

$$Productivity \left[\frac{\text{unidades}}{\text{hora}} \right] = \frac{60 \left[\frac{\text{minutos}}{\text{hora}} \right]}{\text{average time per task} \left[\frac{\text{minutos}}{\text{unidades}} \right]}$$

Tabla 2.4

Resumen productividades por área según la pieza que se procese

PRODUCTIVIDAD (unidades/hora)	ESTACIÓN DE TRABAJO
8.77	MESA DE DESPOSTE (BRAZO)
8.49	MESA DE DESPOSTE (PIERNA)
19.43	MESA DE DESPOSTE (COSTILLA)
61.10	MESA DE DESPOSTE (TACO)
66.70	SIERRA (TACO)
16.65	SIERRA (COSTILLA)

2.2.4 Capacidad técnica por estación (maquinaria)

De igual manera, se observó presencialmente los tiempos de procesamiento para la chuleteadora, la cual es una máquina semiautomática, su productividad es la siguiente:

$$67.88 \frac{\text{lomos}}{\text{hora}}$$

2.2.5 Número de personal asignado por puesto de trabajo y por turno

Para este caso, la empresa no disponía de un dato exacto en el cual se podía evidenciar el número de trabajadores máximo por estación, por lo que se validó de manera presencial este dato, dando así el siguiente resultado:

Sierra: 2 persona

Fileteadora: 2 personas

Chuleteadora: 1 persona

Mesa de desposte: 5 personas

2.2.6 Herramienta de planificación y flujo de trabajo actuales

Actualmente el personal es asignado de manera manual, casi “a ciegas” por el departamento de planificación, es decir, no cuentan como tal con una herramienta específica para esta tarea. Por otro lado, para la verificación del flujo de trabajo dentro del área de cerdos, se recibió un documento por parte de la empresa descargado del software TWINS INFORMATICA en el cual se detallaba el tipo de corte que salía de cada parte del cerdo hasta llegar al estadístico que se le vendía al público

Figura 2.8

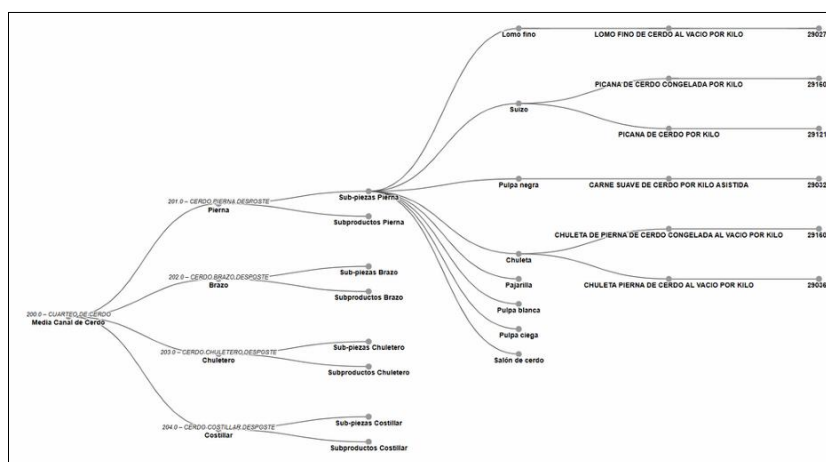
Descripción de los procesos del área de carne de cerdo

PROCESO	TIPO	DESCRIPCION
Proceso:	CERDO	200.0 – CUARTEO DE CERDO
Proceso:	CERDO	201.0 – CERDO PIERNA DESPOSTE
Proceso:	CERDO	202.0 – CERDO BRAZO DESPOSTE
Proceso:	CERDO	203.0 – CERDO CHULETERO DESPOSTE
Proceso:	CERDO	204.0 – CERDO COSTILLAR DESPOSTE
Proceso:	CERDO	205.0 – INYECCIÓN PIERNA/BRAZO CERDO
Proceso:	CERDO	206.0 – INYECCIÓN CHULETERO CERDO
Proceso:	CERDO	207.0 – ESCURRIDO PIERNA/BRAZO CERDO
Proceso:	CERDO	208.0 – ESCURRIDO CHULETERO CERDO
Proceso:	CERDO	209.0 – PIERNA/BRAZO CERDO PROCESO
Proceso:	CERDO	210.0 – CHULETERO CERDO PROCESO
Proceso:	CERDO	211.0 – COSTILLAR CERDO PROCESO
Proceso:	CERDO	212.0 – CERDO ASADERO PROCESO
Proceso:	CERDO	213.0 – CHICHARRON CERDO PROCESO
Proceso:	CERDO	214.0 – FRITADA CERDO PROCESO
Proceso:	CERDO	215.0 – ESTOFADO CERDO PROCESO
Proceso:	CERDO	216.0 – CUERO DE CERDO PROCESO
Proceso:	CERDO	217.0 – HUESO CERDO PROCESO
Proceso:	CERDO	218.0 – CHULETA PIERNA/BRAZO CERDO
Proceso:	CERDO	219.0 – CHULETA DE CERDO POR UNIDAD
Proceso:	CERDO	220.0 – FRITADA DE CERDO POR UNIDAD
Proceso:	CERDO	222.0 – FRITADA DE CERDO ADOBADA
Proceso:	CERDO	225.0 – MOLIDA DE CERDO PROCESO
Proceso:	CERDO	226.0 – FILETES DE CERDO MARINADOS PROCESO

Para la comprobación de la veracidad de esta información se realizó una trazabilidad hacia atrás, yendo a los locales para de esta manera conocer el producto final y también preguntándole a los operadores de la línea de cerdo así se pudo comparar ambos casos, a partir de esto, se elaboró un diagrama de árbol colapsable en el cual se detalla las ramificaciones de cada parte de cerdo hasta llegar al producto final, por lo que si es confiable.

Figura 2.9

Diagrama de árbol y subpiezas de la media canal de un cerdo



2.2.7 SKUs procesados en el área de carne de cerdo

Desde el sistema se pueden conocer los datos históricos de los diferentes productos que se enviaron a los locales a nivel nacional, de esta manera, se obtuvo un listado de los productos de carne de cerdo que están activos y disponibles.

Figura 2.10

Lista de los SKU productos finales de la línea de carne de cerdo

ESTADISTICO	DESCRIPCION
290129000	COSTILLAR DE CERDO AL VACIO POR KILO
290174000	CHULETA NUCA DE CERDO BANDEJA POR KILO
290197000	MATAMBRE DE CERDO AL VACIO POR KILO
290231000	FILETES DE CERDO BANDEJA POR KILO
290275000	LOMO FINO DE CERDO AL VACIO POR KILO
290290000	FILETE DE CERDO MAS AHORRO BANDEJA POR KILO
290294000	CHULETA DE CERDO MA BANDEJA 4 UNI
290295000	FRITADA DE CERDO MA BANDEJA 500 G
290316000	CUERO DE CERDO AL VACIO POR KILO
290323000	CHULETA DE CERDO POR KILO
290329000	CARNE SUAVE DE CERDO POR KILO ASISTIDA
290332000	ESTOFADO DE CERDO BANDEJA POR KILO
290334000	CERDO P/ASADERO BANDEJA POR KILO
290342000	CHICHARRON DE CERDO BANDEJA POR KILO
290343000	HUESO CARNUDO DE CERDO POR KILO
290344000	BABY RIBS DE CERDO AL VACIO POR KILO
290345000	FRITADA DE CERDO BANDEJA POR KILO
290360000	CHULETA BRAZO DE CERDO AL VACIO POR KILO
290361000	CHULETA PIERNA DE CERDO AL VACIO POR KILO
290364000	CHULETA DE CERDO POR KILO ASISTIDA
290365000	COSTILLAR DE CERDO POR KILO ASISTIDA
290383000	CHULETA PARRILLERA CERDO BANDEJA POR KILO
290388000	CHULETA DE CERDO BANDEJA 4 UNI
290394000	FRITADA DE CERDO 500 G
290399000	PANCETA DE CERDO AL VACIO POR KILO
290920000	ESTOFADO DE CERDO MA BANDEJA POR KILO
291211000	PICANA DE CERDO POR KILO
291603000	CHULETA DE PIERNA DE CERDO CONGELADA AL VACIO POR KILO
291604000	CHULETA DE BRAZO DE CERDO CONGELADA AL VACIO POR KILO
291605000	CHULETA PARRILLERA DE CERDO CONGELADA AL VACIO POR KILO
291606000	BABY RIBS DE CERDO CONGELADA AL VACIO POR KILO
291607000	MATAMBRE DE CERDO CONGELADA AL VACIO POR KILO
291608000	PICANA DE CERDO CONGELADA POR KILO
291609000	PANCETA DE CERDO CONGELADA AL VACIO POR KILO
298017000	COSTILLA DE CERDO MA BANDEJA POR KILO
298095000	COSTILLA DE CERDO BANDEJA POR KILO
299531000	FRITADA DE CERDO MARINADA TA'RIKO 500 G
299534000	FILETES DE CERDO MARINADOS TA'RIKO 8 UNI

Para validar esta información, se procedió a visitar ciertos locales y comprobar que los productos que han quedado registrados el sistema sean los mismo indicados en la figura 2.10, se realizó un checklist como validación cruzada y se concluyó que es una base confiable.

2.3 Análisis financiero

Se realizó un análisis detallado para revisar los costos y los beneficios esperados por la implementación de este modelo de optimización, el resumen se presenta dentro de la tabla 2.5 que contiene los siguientes datos:

Tabla 2.5*Cálculos para el análisis Beneficio/Costo*

<i>VARIABLE</i>	<i>DATOS</i>
Nº de carniceros en nómina	46
Salario mensual carnicero capacitado	USD 600 – 700 ($\approx$ USD 650 medio)
Jornada legal ordinaria en Ecuador	40 h/semana (8 h/día)
Recargo pago de horas extras diurnas	+50 % (se paga al 150 % del salario/hora)
% horas extras sobre horas totales (últimas 31 sem.)	16 % (promedio)
Objetivo de reducción	Bajar de 16 % $\rightarrow$ 14 % (–2 p.p.)

Cálculo de horas extras actuales por carnicero.

$$HE_{act} = \frac{0,16}{1 - 0,16} \times 40 \text{ horas} \approx 7,62 \frac{h}{\text{semana} \times \text{carnicero}}$$

Cálculo horas extras a las que se desea llegar.

$$HE_{obj} = \frac{0,14}{1 - 0,14} \times 40 \text{ horas} \approx 6,51 \frac{h}{\text{semana} \times \text{carnicero}}$$

Reducción esperada de horas extras.

$$\Delta HE = HE_{act} - HE_{obj} = 1,11 \frac{h}{\text{semana} \times \text{carniceros}}$$

$$\Delta HE_{total} = 1,11 \frac{h}{\text{semana} \times \text{carniceros}} \times 46 \text{ carniceros} \approx 50,9 \frac{h}{\text{semana}}$$

$$\Delta HE_{mes} = 50,9 \frac{h}{\text{semana}} \times 4 \text{ semanas} \approx 221 \frac{h}{\text{mes}}$$

Cálculo de pago por horas a los carniceros.

$$V_{hr} = \frac{650\$}{173,3h} \approx 3,75 \frac{\$}{h}$$

Considerando un escenario en el que se reducen las horas extras deseadas se generaría un ahorro por hora extra de:

$$\text{Ahorro por hora extra} = 150\% \times 3,75\$ = 5,63 \frac{\$}{h}$$

$$\text{Reducción prevista} \sim 221 \frac{\text{horas extras}}{\text{mes}}$$

$$\text{Ahorro mensual} = 5,63 \frac{\$}{h} \times 221 \frac{h}{mes} = 1240 \frac{\$}{mes}$$

Los costos de implementación estimados se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 2.6

Costos de implementación

<i>Análisis de costos de implementación del modelo</i>	<i>Costos operativos</i>			<i>Costos de uso de recursos</i>		<i>Costos totales</i>
	<i>Horas estimadas por día</i>	<i>Días</i>	<i>Costo</i>	<i>Recursos usados</i>	<i>Costo</i>	
Prueba piloto						
Configuración de datos y estructura de monitoreo para prueba piloto	2	1	\$6,92	Uso de PC/Licencias	\$20,00	\$26,92
Coordinación y programación de pruebas piloto con supervisión	2	3	\$20,76	Sala de reuniones	\$30,00	\$50,76
Aplicación del modelo en un turno piloto parcial	3	2	\$74,76	Materiales piloto	\$200,00	\$274,76
Observación, seguimiento del tiempo y registro de hallazgos	2	3	\$74,76	Impresiones/reportes	\$0,90	\$75,66
Validación del modelo						

<i>Análisis de costos de implementación del modelo</i>	<i>Costos operativos</i>			<i>Costos de uso de recursos</i>		<i>Costos totales</i>
	<i>Horas estimadas por día</i>	<i>Días</i>	<i>Costo</i>	<i>Recursos usados</i>	<i>Costo</i>	
Aplicación del modelo en un turno de producción completo	4	3	\$149,52	Sala + computadora	\$240,00	\$389,52
Tarea de evaluación y rendimiento por estación de trabajo	3	2	\$20,76	Materiales de validación	\$12,96	\$33,72
Reunión con los supervisores para una validación	2	2	\$49,84	Sala de reuniones	\$20,00	\$69,84
Plan de entrenamiento						
Formación técnica para el personal	2	3	\$20,76	Manuales impresos + sala	\$34,50	\$55,26
Ejercicio práctico de aplicación	2	3	\$20,76	Checklist + sala	\$72,00	\$92,76
Costos totales			\$438,84		\$630,36	\$1.069,20

Para poder tener una idea del beneficio que se generó es importante tener un indicador, para esto, por lo tanto, se consideró el cálculo del Payback y del ROI, el primero mide el tiempo que tarda la inversión en generar suficientes beneficios para recuperar la inversión inicial, por otro lado, el ROI muestra el porcentaje de ganancia o pérdida generado por la inversión en relación con el costo.

Tabla 2.7

Cálculo de ROI y payback

<i>Métrica</i>	<i>Cálculo</i>	<i>Resultado</i>
Pay-back	$1069.2 / 1\ 240$	0,86 meses
ROI año 1	$(1\ 240 \times 12 - 1069.2) / 1069.2$	(129 %)

2.4 Diseño del modelo

El principal problema identificado en la línea de procesamiento de cerdo es la planificación manual del personal y de las tareas, lo cual genera asignaciones poco precisas, desequilibrio en la carga laboral y un incremento de horas extras.

Como respuesta, se diseñó un modelo matemático de optimización, implementado en Python utilizando la librería Google OR-Tools (CP-SAT Solver), cuya finalidad es:

- Secuenciar las actividades de la línea de procesamiento de acuerdo con sus precedencias.
- Asignar la cantidad mínima y necesaria de operarios en cada actividad, respetando la productividad por estación.
- Balancear la carga laboral entre trabajadores.
- Reducir el sobretiempo en al menos un 15% dentro de los tres meses de aplicación proyectados.

El modelo recibe como input datos estructurados en Excel/CSV:

- Estadísticos (SKU) de carne de cerdo.
- Peso unitario por estadístico.
- Productividad por estación de trabajo.
- Cantidad de hombres máximo permitidos por actividad.
- Volumen de producción proveniente del documento ROQ (Reorder Quantity).

A partir de estos parámetros, el modelo construye restricciones de precedencia, capacidad de operarios y duración de actividades, generando como resultado una propuesta óptima de planificación.

2.4.1 Modelo Matemático

Conjuntos

$A = \{1, 2, \dots, n\}$, conjunto de actividades,

$P_i \subseteq A$: Conjunto de tareas que debe preceder a la actividad i

R_i : Tiempo recomendado de inicio para la actividad i

Parámetros

hM_i : Número máximo de hombres que pueden asignarse a la actividad i , $\forall i \in A$

HH_i : Horas hombre requeridas para completar la actividad i , $\forall i \in A$ (minutos)

$L_{i,h} = \left\lceil \frac{HH_i}{h} \right\rceil$: Duración estimada (minutos) de la actividad i si se asignan h hombres,

donde $h = 1, 2, \dots, hM_i$, $\forall i \in A$.

t_0 : tiempo mínimo global de inicio

H : Horizonte temporal

C : Capacidad máximo de hombres disponible simultáneamente

Variable de decisión

h_i : Número de hombres asignados a la actividad i , $\forall i \in A$

dA_i : Duración de la actividad i , $\forall i \in A$ (minutos)

$start_i$: Tiempo de inicio de la actividad i , $\forall i \in A$

end_i : Tiempo de finalización de la actividad i , $\forall i \in A$

Función objetivo

Min $Z = \text{makespan}$ (2.0)

Función objetivo Z : se busca terminar el tiempo en que terminan las actividades lo más pronto posible, mientras se respetan las condiciones y restricción del área.

Restricciones

$$1 \leq h_i \leq hM_i, \quad \forall i \in A \quad (2.1)$$

$$1 \leq dA_i \leq HH_i, \quad \forall i \in A \quad (2.2)$$

$$dA_i = L_{i,h}, \quad \forall i \in A \quad (2.3)$$

$$t_0 \leq start_i \leq H, \quad \forall i \in A \quad (2.4)$$

$$t_0 \leq end_i \leq H, \quad \forall i \in A \quad (2.5)$$

$$end_i = start_i + dA_i, \quad \forall i \in A \quad (2.6)$$

$$makespan \geq end_i, \quad \forall i \in A \quad (2.7)$$

(2.1) Límite en la cantidad de hombres por actividad

(2.2) Duración válida según horas hombres requeridas

(2.3) Relación entre hombres asignados y duración usando lista

Esta relación entre los valores dentro de una lista y una variable se implementa en el modelo Python, usando `model.AddElement`, que internamente toma el valor de la variable de decisión h_i y extrae su respectiva duración de la lista.

(2.4) Dominio de variable de inicio

(2.5) Dominio de variable fin

(2.6) Relación de tiempo entre inicio, duración y fin

(2.7) Los tiempos finales de cada actividad deben ser menor que el makespan

Restricción de precedencia e inicio específico de actividades

$$start_i = end_j, \quad \forall j \in P_i, \quad \forall i \in A \quad (2.8)$$

$$start_i = R_i, \quad \text{si } R_i \text{ está definido} \quad (2.9)$$

$$start_i \geq t_0, \quad \text{si } P_i = \emptyset \text{ y } R_i = \emptyset \quad (2.10)$$

(2.8) Precedencia entre actividades

(2.9) Actividades con inicio establecido o recomendado

(2.10) Inicio a partir del tiempo global si no hay precedencias ni recomendación

Restricción de hombres simultáneamente disponibles

$$\sum_{\substack{i \in A \\ t \in [start_i, end_i)}} h_i \leq C, \quad \forall t \in [t_0, H] \quad (2.12)$$

(2.11) Restricción de recurso limitado (uso acumulado de trabajadores)

Nota: Esta restricción se implementa en el modelo Python mediante `model.AddCumulative`, que internamente garantiza que la suma de los recursos consumidos por todas las actividades activas en un instante dado no exceda la capacidad de hombre disponible.

Restricción de tipo de variable

$$h_i \in \mathbb{Z}^+$$

$$dA_i \in \mathbb{Z}^+$$

$$start_i \in \mathbb{Z}^+$$

$$end_i \in \mathbb{Z}^+$$

Capítulo 3.

3. Resultados y Análisis

3.1 Resultados del modelo

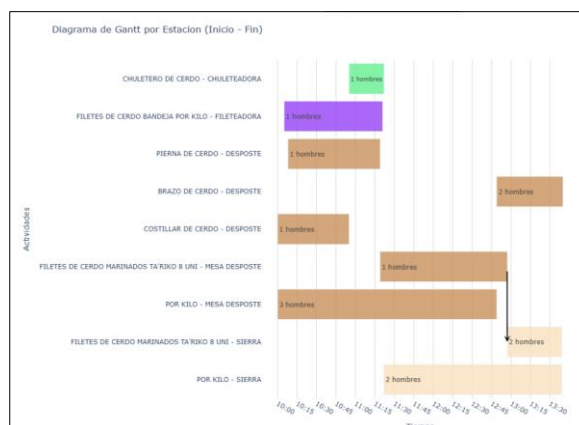
El modelo genera la planificación de actividades (diagramas de Gantt y tablas de asignación). Estos representan la secuencia temporal de tareas y el número de operarios necesarios por actividad, los resultados principales fueron:

- Tiempo de inicio y fin de cada actividad dentro del turno.
- Número de operadores asignados por tarea, respetando las restricciones de capacidad.
- Máximo de personas trabajando en paralelo, garantizando no superar el límite permitido.
- Respeto de precedencias entre tareas, asegurando una secuencia lógica y eficiente.

Estos outputs pueden representarse como gráficos de Gantt y tablas de asignación, que constituyen una planificación óptima de recursos y personal.

Figura 3.1

Diagrama de Gantt de un día de producción, dado por el modelo aplicado



3.1.2 Implementación Computacional del Modelo

Con la finalidad de llevar a la práctica la formulación matemática presentada, se desarrolló un prototipo computacional en Python, utilizando el solver CP-SAT de la librería OR-Tools de Google, especializado en resolver problemas de programación entera mixta y de secuenciación de actividades.

Estructura de datos y parámetros de entrada

El modelo se alimenta de la información recopilada en la fase Measure, organizada en estructuras tabulares:

- Matriz de productividad de SKU por cada estación
- Archivo ROQ (Reorder Quantity), generado por el área de planificación de producción, donde se listan los volúmenes de salida diarios por SKU.
- Parámetros de planificación, número máximo de operarios disponibles por turno, precedencia entre actividades, tiempos recomendados de inicio.

Con estos datos, se construye una matriz de parámetros de entrada en formato Excel/CSV, que posteriormente es transformada en dataframes de Pandas para su uso en el modelo.

3.1.3 Formulación en OR-Tools

Cada elemento de la formulación matemática se implementó mediante las funciones provistas por OR-Tools:

- Restricción de duración variable según personal asignado: implementada con `model.AddElement`, que vincula el número de operarios asignados con la duración resultante de la tarea a través de la lista de posibles valores.

- Restricción de capacidad de recursos: modelada con `model.AddCumulative`, que asegura que la suma de operarios trabajando en paralelo no supere la disponibilidad total.
- Restricciones de precedencia y tiempo: codificadas con `model.Add`, relacionando inicios y finales de actividades según dependencias y recomendaciones.

3.1.4 Flujo de trabajo del prototipo

El prototipo sigue el esquema:

1. Lectura de datos (Excel/CSV → Pandas).
2. Generación de parámetros: conversión de horas-hombre, productividad y precedencias a listas y diccionarios.
3. Formulación del modelo en OR-Tools: definición de variables de decisión, función objetivo y restricciones.
4. Ejecución del solver CP-SAT: búsqueda de la solución que minimiza el makespan.
5. Generación de resultados: asignación de personal por estación, secuencia de actividades con tiempos de inicio y fin.
6. Visualización: exportación de resultados a Excel y generación automática de diagramas de Gantt.

Automatización y entorno de ejecución

El prototipo fue implementado en el área de optimización de la empresa, utilizando los servidores Linux corporativos. El modelo se integró en un script de Python capaz de:

- Ejecutarse automáticamente al cargar un nuevo archivo de volúmenes de producción.
- Generar las asignaciones óptimas y exportarlas en formato Excel.

- Enviar los resultados automáticamente por correo electrónico al personal directivo mediante un módulo de mensajería incorporado en el mismo script.

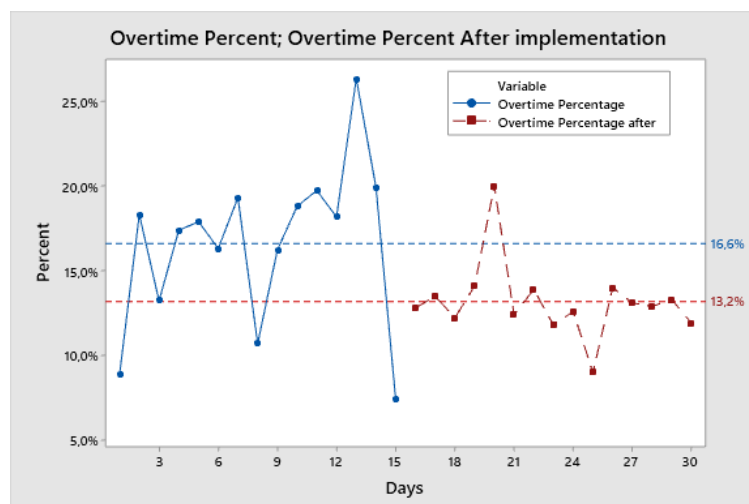
3.1.5 Verificación / Prototipo e implementación

La verificación del modelo se realizó a través de pruebas piloto en el área de carnes de cerdo con pruebas reales de producción. El script fue ejecutado en un entorno controlado, obteniéndose resultados consistentes con los objetivos:

- Reducción del sobretiempo en 16,6% (del 13,17% de horas extras frente al 16,6% previo), superando la meta planteada del 15%.
- Mejora en el balance de carga laboral entre estaciones y operarios.

Figura 11

Serie de tiempo antes y después de la implementación del modelo



En la figura 3.2 se muestra la comparación del porcentaje de horas extra registradas antes y después de la implementación del modelo propuesto. En la primera parte (línea azul continua), correspondiente a los días previos a la implementación, el porcentaje de horas extra presenta una mayor variabilidad, con valores que alcanzan picos cercanos al 26% y una media aproximada de 16,6%. Esto evidencia ineficiencias

en la planificación del trabajo y una alta dependencia de horas adicionales para cumplir con la carga laboral.

En contraste, tras la implementación del modelo (línea roja discontinua), los valores se estabilizan y muestran menor dispersión, con un promedio reducido a 13,17%. Esta reducción de más de 3 puntos porcentuales refleja una mejora significativa en la asignación de tareas y en el balance de carga laboral, disminuyendo la necesidad de horas extra.

La validación estadística se realizó comparando indicadores antes y después del modelo, confirmando la efectividad en la reducción de horas extras y en la homogeneidad de la distribución de trabajo. Además, los asistentes resaltaron la utilidad de contar con una herramienta que facilita la planificación diaria y la comunicación de actividades.

Figura 12

Resultado del análisis estadístico

Prueba			
Hipótesis nula		$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$	
Hipótesis alterna		$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$	
Valor T	GL	Valor p	
2,48	19	0,023	

La prueba T realizada contrasta la hipótesis nula, que plantea que no existe diferencia significativa entre el porcentaje promedio de horas extra antes y después de la implementación del modelo, contra la hipótesis alterna.

El estadístico obtenido fue $T = 2,48$ con 19 grados de libertad (GL), y un valor $p = 0,023$. Dado que $p < 0,05$ se rechaza la hipótesis nula al nivel de significancia del 5%. Esto indica que existe evidencia estadísticamente significativa de que el porcentaje

promedio de horas extra cambió tras la implementación del modelo, apoyando la conclusión de que la intervención tuvo un efecto real y no atribuible al azar.

3.2 Análisis del impacto económico, social y medio ambiental

El modelo desarrollado fue evaluado bajo el enfoque del Triple Bottom Line (TBL), que considera de manera integrada los aspectos económico, social y medioambiental. A continuación, se presenta el análisis detallado de cada dimensión con base en los indicadores seleccionados.

3.2.1 Económico

El indicador económico definido corresponde al costo laboral por kilogramo procesado, calculado como el cociente entre el costo total de mano de obra por turno y la cantidad total de producto procesado. Para este estudio, el resultado obtenido fue:

$$\left(\frac{\text{Salario del trabajador por hora} \times \text{Horas} \times \text{Número de trabajadores}}{\text{Kilogramos totales procesados en un turno}} \right) = \left(\frac{7,32 \times 3 \times 6}{1893,35} \right) = \frac{0,069\$}{kg}$$

Este valor refleja un costo competitivo y eficiente por unidad procesada, lo que evidencia que el modelo de asignación de tareas optimiza el uso de los recursos humanos en relación con la productividad. Desde una perspectiva económica, este resultado es favorable, ya que permite mantener rentabilidad y control de costos, factores esenciales para la sostenibilidad del sistema productivo.

3.2.2 Social

En el ámbito social, se evaluó la equidad en la distribución de cargas de trabajo mediante el Workload Balance Ratio (WBR), definido como la razón entre la desviación estándar de los tiempos de trabajo del personal y el tiempo promedio. El indicador obtenido fue:

$$\left(\frac{\text{Desviación estándar del tiempo de trabajo de operarios}}{\text{Tiempo promedio de trabajo}} \right) = \left(\frac{3,44 \text{ min}}{178,33 \text{ min}} \right) = 0,019$$

Un valor cercano a cero indica una alta equidad en la asignación de tareas. Este resultado confirma que la implementación del modelo contribuye a una distribución justa de la carga laboral, reduciendo riesgos de sobrecarga, fatiga y desmotivación del personal. Así, el modelo no solo busca optimizar la eficiencia, sino también promover el bienestar de los trabajadores, elemento clave para la sostenibilidad social de la operación.

3.2.3 Ambiental

Para evaluar el impacto medioambiental de la propuesta, se comparó el consumo energético total de la línea de producción antes y después de la implementación del modelo. El cálculo considera la potencia de las máquinas, el tiempo de operación diario y los días de trabajo al año.

Consumo energético antes de la implementación: 6316.16 kW/año

Consumo energético después de la implementación: 5055.23 kW/año

Esto representa una reducción aproximada del 20% en el consumo anual de energía, lo que evidencia que el modelo también contribuye a una menor huella ambiental. La disminución del consumo eléctrico se debe principalmente a una mayor eficiencia en la asignación de personal y tiempos de operación, lo que reduce los periodos de inactividad y el uso innecesario de equipos.

En este sentido, el modelo propuesto aporta beneficios ambientales tangibles, consolidando un enfoque integral de sostenibilidad.

Capítulo 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

A partir del desarrollo e implementación del modelo automatizado de asignación de personal, se llevó a cabo un análisis integral de su impacto en la planta de procesamiento en frío de carne de cerdo. La propuesta buscó responder a las limitaciones detectadas en la planificación manual, tales como la falta de precisión en la distribución de cargas laborales, el uso ineficiente de recursos y la ausencia de información en tiempo real para la toma de decisiones. Durante la validación del modelo con datos reales, se obtuvieron indicadores de desempeño que permitieron evaluar sus efectos en aspectos operativos, económicos, sociales y ambientales, evidenciando mejoras significativas en la eficiencia de los procesos y en la gestión de recursos humanos y energéticos. A continuación, se presentan las principales conclusiones y recomendaciones derivadas de este estudio.

4.1.1 Conclusiones

- La implementación del modelo automatizado de asignación de personal permitió optimizar la planificación operativa, ajustando la distribución de tareas según el volumen de producción diario y reduciendo la dependencia de la planificación manual.
- Se logró una reducción aproximada del 20% en el tiempo total requerido para completar todas las tareas, lo que evidencia una mejora sustancial en la eficiencia de la línea de producción.
- El análisis estadístico confirmó una disminución significativa en el porcentaje promedio de horas extra, pasando de 16,6% antes de la implementación a 13,2% después, con un p-valor de 0,023 que respalda la efectividad del modelo.
- El Workload Balance Ratio de 0,019 demuestra una distribución equitativa de la carga laboral entre los trabajadores, lo cual reduce riesgos de fatiga y

sobrecarga, mejorando el bienestar del personal y fomentando un ambiente laboral más justo.

- El costo laboral por kilogramo procesado (0,069 \$/kg) refleja un uso eficiente de los recursos humanos, garantizando el control de costos sin comprometer la productividad.
- El consumo energético anual presentó una reducción de 6316,16 kW/año a 5055,23 kW/año, lo que evidencia una mejora en el desempeño ambiental de la operación y contribuye a disminuir la huella energética de la planta.
- El modelo diseñado es escalable y adaptable a otras líneas de producción con procesos similares, constituyendo una herramienta estratégica para la optimización de operaciones industriales.

4.1.2 Recomendaciones

- Incorporar el modelo en sistemas digitales de planificación y gestión de producción, permitiendo su uso en tiempo real y una actualización automática de parámetros según cambios en la demanda o disponibilidad de personal.
- Mantener una revisión continua de los tiempos estándar, volúmenes de producción y capacidades de los operarios para asegurar la vigencia y precisión del modelo a lo largo del tiempo.
- Desarrollar programas de formación para supervisores y jefes de planta, enfocados en la interpretación de resultados y en la toma de decisiones basada en datos.
- Complementar el indicador de consumo energético con métricas adicionales (huella de carbono, eficiencia por máquina) y evaluar el uso de tecnologías más eficientes para reforzar el compromiso ambiental.

- Probar el modelo en otras áreas de producción y ampliar su alcance mediante la incorporación de herramientas de simulación e inteligencia artificial, incrementando su capacidad predictiva y de optimización.

Bibliografía

- Akao, Y. (1990). *Quality function deployment: Integrating customer requirements into product design*. Productivity Press.
- Brown, T. (2008). Design thinking. *Harvard Business Review*, 86(6), 84–92.
- Chan, L. K., & Wu, M. L. (2002). Quality function deployment: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 143(3), 463–497.
- Davenport, T. H. (1993). *Process innovation: Reengineering work through information technology*. Harvard Business Review Press.
- George, M. L. (2003). *Lean Six Sigma for service: How to use Lean speed and Six Sigma quality to improve services and transactions*. McGraw-Hill.
- Gray, D., Brown, S., & Macanufo, J. (2010). *Gamestorming: A playbook for innovators, rulebreakers, and changemakers*. O'Reilly Media.
- Griffin, A., & Hauser, J. R. (1993). The voice of the customer. *Marketing Science*, 12(1), 1–27. <https://doi.org/10.1287/mksc.12.1.1>
- Hammer, M., & Champy, J. (1993). *Reengineering the corporation: A manifesto for business revolution*. Harper Business.
- Kano, N., Seraku, N., Takahashi, F., & Tsuji, S. (1984). Attractive quality and must-be quality. *Journal of the Japanese Society for Quality Control*, 14(2), 39–48.
- Lemon, K. N., & Verhoef, P. C. (2016). Understanding customer experience throughout the customer journey. *Journal of Marketing*, 80(6), 69–96. <https://doi.org/10.1509/jm.15.0420>
- McKinney, W. (2017). *Python for data analysis: Data wrangling with Pandas, NumPy, and IPython* (2nd ed.). O'Reilly Media.
- Pinedo, M. L. (2016). *Scheduling: Theory, algorithms, and systems* (5th ed.). Springer.
- Pyzdek, T. (2003). *The Six Sigma handbook: A complete guide for Green Belts, Black Belts, and managers at all levels*. McGraw-Hill.
- Rosenbaum, M. S., Otalora, M. L., & Ramírez, G. C. (2017). How to create a realistic customer journey map. *Business Horizons*, 60(1), 143–150. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2016.09.010>
- Van Rossum, G., & Drake, F. L. (2009). *Python 3 reference manual*. CreateSpace.

Apéndices



Foto 1. Visita de las áreas de la planta de carnes



Foto 2. Toma de tiempo de la mesa de trabajo



Foto 3. Gavetas etiquetadas con su respectiva pieza de cerdo



Foto 4. Foto de los productos en percha del local