

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CONTROL DE LA PRODUCCIÓN
ORIENTADO AL CUMPLIMIENTO DE LOS TIEMPOS DE ENTREGA EN UNA
PYME INDUSTRIAL**

**MARIA CAMILA REYES GIL
SERGIO DANIEL TORRES CÁCERES**



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL
GUADALAJARA DE BUGA**

2025

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CONTROL DE LA PRODUCCIÓN
ORIENTADO AL CUMPLIMIENTO DE LOS TIEMPOS DE ENTREGA EN UNA
PYME INDUSTRIAL**

**MARIA CAMILA REYES GIL
SERGIO DANIEL TORRES CÁCERES**

**Proyecto de Grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniera Industrial**

**Director:
PhD. JULIO CÉSAR LONDOÑO ORTEGA**



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL
GUADALAJARA DE BUGA**

2025

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la fuerza y la claridad para seguir adelante, a mi familia por su amor y apoyo incondicional, a mi pareja por su paciencia y comprensión, y a todas las personas que de alguna manera hicieron posible este logro.

Maria Camila Reyes Gil

A mis padres, por enseñarme la disciplina necesaria para sacar adelante este trabajo; a mi gata, que durante más de un año me acompañó en todas las jornadas de desvelo; a mi pareja, por ser un apoyo incondicional a lo largo de esta travesía; y, principalmente, a mi hermano, que sin su ayuda quizá no habría llegado hasta este punto.

Sergio Daniel Torres Cáceres

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	8
INTRODUCCIÓN	9
GLOSARIO	11
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
2. OBJETIVOS	15
2.1. Objetivo General	15
2.2. Objetivos Específicos	15
3. JUSTIFICACIÓN	16
4. ESTADO DEL ARTE	17
5. REVISIÓN DE LA LITERATURA	18
6. DESARROLLO METODOLÓGICO	20
6.1. Caracterizar los procesos del sistema productivo, identificando los recursos, maquinarias y etapas clave del proceso.	20
6.2. Desarrollar un modelo heurístico para el control de la producción de la PYME industrial, considerando el cumplimiento de los tiempos de entrega	26
6.3. Evaluar el cumplimiento de los tiempos de entrega mediante indicadores de desempeño.	34
7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	37
8. CONCLUSIONES	43
BIBLIOGRAFÍA	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Demandas y fechas de entrega por trabajo.	28
Tabla 2. Secuencia de trabajos en las reglas de despacho de la primera tarea ...	29
Tabla 3. Cálculo de la razón crítica para cada trabajo.	30
Tabla 4. Cálculo de la regla de despacho LPT.	31
Tabla 5. Asignación del 100% de las máquinas de cada tarea por trabajo.....	32
Tabla 6. Asignación del 50% de las máquinas de cada tarea por trabajo.....	33
Tabla 7. Asignación del 25% de las máquinas de cada tarea por trabajo.....	34
Tabla 8. Indicadores de desempeño de la programación.	36
Tabla 9. Manual de funciones para el supervisor.....	49
Tabla 10. Manual de funciones para el troquelador.	50
Tabla 11. Manual de funciones para el armador.....	51
Tabla 12. Manual de funciones para el cerrador.....	52
Tabla 13. Manual de funciones para el volteador.	53
Tabla 14. Manual de funciones para el auxiliar logístico.....	54
Tabla 15. Secuencia de trabajos en las reglas de despacho de las 5 tareas restantes del primer caso.....	55
Tabla 16. Demandas y fechas de entrega por trabajo para los casos 2 y 3.	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Árbol de problemas	14
Figura 2. Diagrama de proceso	21
Figura 3. Proceso de troquelado	22
Figura 4. Proceso de armado	23
Figura 5. Proceso de cerrado	23
Figura 6. Proceso de volteado.....	24
Figura 7. Promedio de las tardanzas y los adelantos.....	37
Figura 8. Porcentaje de trabajos atrasados por cada una de las asignaciones propuestas.....	39
Figura 9. Esperas promedio por tarea.....	40
Figura 10. Comparación de los porcentajes de trabajos atrasados por cada una de las asignaciones propuestas del caso 2 y 3	41
Figura 11. Comparación del promedio de las tardanzas y los adelantos de caso 2 y 3	42
Figura 12. Diagrama de flujo	58
Figura 13. Diagrama de recorrido del primer piso	59
Figura 14. Diagrama de recorrido del segundo piso.....	59
Figura 15. Diagrama hombre-máquina del proceso de troquelado	60
Figura 16. Diagrama hombre-máquina del proceso de armado	60
Figura 17. Diagrama hombre-máquina del proceso de cerrado	61
Figura 18. Diagrama hombre-máquina del proceso de volteado.....	61
Figura 19. Diagrama hombre-máquina del proceso de empacado.....	62

RESUMEN

Esta investigación propone un sistema de control de la producción orientado al cumplimiento de los tiempos de entrega en una PYME industrial que opera bajo un enfoque Make To Order, en un entorno Flow Shop con máquinas en paralelo. El estudio parte de la identificación de las principales limitaciones en las prácticas actuales de secuenciación de la empresa y el diseño de un modelo de control basado en heurísticas, con el fin de mejorar la eficiencia operativa. La metodología incluyó el análisis de los procesos productivos, la definición de reglas de despacho y la aplicación de técnicas heurísticas para la secuenciación de los trabajos. Como resultado, se determinó que la regla LIFO con el 100% de la capacidad instalada presentó el mejor desempeño, logrando la reducción más significativa en los retrasos de entrega y una mayor utilización de los recursos. En conclusión, la implementación de esta regla proporciona a la empresa una herramienta práctica para la toma de decisiones, incrementando su competitividad en el mercado.

Palabras clave: Programación de la producción, heurísticas, reglas de despacho, flow shop, make to order.

INTRODUCCIÓN

En una era tan competitiva, es crucial para las empresas diferenciarse. Un aspecto clave es la capacidad de satisfacer la demanda en tiempos adecuados. Katina et al. (2023) señalan que la gestión manufacturera avanzada permite responder estratégicamente al mercado, mediante sistemas adaptados a la realidad de cada empresa. Además, estudios recientes sobre Quick Response Manufacturing (2025) evidencian una reducción significativa en los plazos de entrega y un aumento en la eficiencia operativa, fortaleciendo la satisfacción del cliente.

El presente trabajo de grado se centra en una PYME (Pequeñas y medianas empresas) industrial ubicada en el departamento del Valle del Cauca, dedicada a la transformación de cuero en elementos de protección personal. Con más de 30 años de experiencia, esta empresa atiende el mercado nacional a través de diversos centros de distribución y opera bajo un sistema de producción tipo Flow Shop, con máquinas en paralelo de igual capacidad y bajo un enfoque make to order.

Actualmente, la organización presenta dificultades relacionadas con la secuenciación y priorización de los trabajos en planta. Estas deficiencias generan retrasos en los tiempos de entrega, reprocesos y subutilización de los recursos. En consecuencia, la problemática principal radica en la ausencia de un sistema de control de producción que optimice la asignación de recursos y permita una programación eficiente, capaz de garantizar tanto la eficiencia operativa como la capacidad de respuesta ante las demandas del cliente.

En este contexto, el objetivo de este trabajo es proponer un sistema de control de la producción orientado al cumplimiento de los tiempos de entrega en una PYME industrial que produce bajo pedido. Para alcanzar este propósito, la investigación se estructura en tres etapas. En la primera, se realiza la caracterización del proceso productivo, identificando los recursos, maquinarias y etapas clave; esta información se recolecta mediante registros detallados en Excel de los tiempos asociados a cada actividad del proceso. En la segunda etapa, se desarrolla un modelo de

programación basado en heurísticas y reglas de despacho, el cual busca establecer cómo debería organizarse la producción para mejorar su rendimiento. Finalmente, en la tercera etapa, se definen e implementan indicadores de desempeño que permiten evaluar el comportamiento de las distintas reglas aplicadas. Estos indicadores facilitan la comparación entre enfoques y permiten identificar la alternativa que mejor se ajusta a la problemática planteada en términos de eficiencia y cumplimiento.

Adicionalmente, el estudio sobre sistemas de control de producción no solo ofrece una solución particular a esta empresa, sino que también genera un aporte significativo al desarrollo de las compañías manufactureras de la región, al facilitar la identificación de oportunidades de mejora en sus procesos productivos.

GLOSARIO

Como punto de partida, se presenta un glosario con las definiciones de los términos técnicos y especializados utilizados en este trabajo.

Troquelador: Es la persona encargada de colocar el material en la máquina troqueladora y aplicar presión para cortar las piezas necesarias, como las plantillas de los dedos, el dorso y la palma.

Armador: Es la persona encargada de ensamblar las diferentes partes del guante en cuero u otros materiales utilizando una máquina de coser industrial. Además, el armador también se encarga de colocar los resortes o elásticos necesarios para ajustar el guante a la muñeca del usuario, garantizando que el producto final cumpla con los estándares de calidad.

Cerrador: Es la persona encargada de realizar la tarea final de confección. Una vez que el armador ha ensamblado las partes principales del guante, el cerrador utiliza una máquina de coser para hacer las costuras finales que aseguran el guante y lo cierran completamente.

Volteador: Es la persona encargada de voltear los guantes una vez que han sido cosidos. El volteador los invierte manualmente para dejarlos en su posición final y listos para su uso.

Auxiliar logístico: Es la persona encargada de transportar las partes de los guantes y en su defecto, los guantes a cada zona del sistema productivo.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El sistema de control de la producción es el eslabón principal en las empresas, ya que, permite que la producción se realice de acuerdo con la planificación, alcanzando los objetivos de eficiencia y eficacia (Krajewski et al., 2018; Vollmann et al., 2015). Este sistema se encarga de planear, dirigir y controlar las actividades de producción con la finalidad de cumplir los objetivos establecidos por la organización (Chase et al., 2017). La programación de la producción es un parte integral de los sistemas de control, ya que es un proceso crucial dentro de las operaciones de manufactura, tal como lo indica el autor Bongaerts (1998), quien la define como la función que se encarga de optimizar las decisiones de asignación de recursos y la ausencia de éste en la fabricación de productos pueden causar incumplimientos en los tiempos de entrega (Luna Sandoval, J. E., 2024). En otras palabras, se trata de planificar y organizar de manera detallada cómo se fabricarán los productos, considerando aspectos como la cantidad requerida, los recursos disponibles, los tiempos de producción y los plazos de entrega.

Para el contexto nacional, Barrera, C., & Millan, C. (2018) analizan una empresa caso de estudio que funciona bajo un modelo de producción bajo pedido o make to order que posee problemas en la secuenciación de operaciones por cada una de las máquinas asignadas y en la asignación de máquinas a un conjunto de operaciones pendientes por procesar, en la cual, a través de la propuesta de un modelo presentan una mejora al aumentar la productividad en 21% y disminuir en promedio el 60% de los tiempos ociosos.

Asimismo, el trabajo que se desarrolla corresponde a una organización de transformación de cuero en elementos de protección personal la cual se sitúa en el departamento del Valle del Cauca, su mercado es nacional y se centra en los CEDI (Centro de Distribución Logística) de Cali, Medellín, Barranquilla, Cartagena y algunos clientes. Esta organización cuenta con 55 trabajadores y lleva 33 años en el mercado.

La empresa opera bajo un sistema de producción Flow Shop con máquinas en paralelo de idéntica capacidad. Este tipo de sistema se caracteriza por una secuencia fija de operaciones que todos los productos deben seguir a través de las distintas etapas de producción.

Según Pinedo (2016), en un sistema Flow Shop, "todos los trabajos pasan por las mismas máquinas en el mismo orden", generalmente organizadas en línea. Este modelo es común en industrias que producen en masa, con poca variación en el producto final. A diferencia del sistema Job Shop, donde cada producto puede seguir una ruta diferente a través de las máquinas, el Flow Shop se caracteriza por una secuencia de operaciones fija para todos los productos.

Además, la PYME (Pequeñas y Medianas Empresas) en cuestión opera siguiendo un enfoque de producción bajo pedido o make to order, lo que lo implica que la producción comienza solo cuando un cliente ha realizado un pedido, y suele ofrecer una amplia gama de productos debido a la necesidad de personalización para cada cliente. Como resultado, los niveles de inventario de productos terminados suelen ser bajos, lo que reduce la capacidad de respuesta ante cambios en la demanda.

En la actualidad, en el departamento de producción de la empresa, las decisiones sobre la secuencia y priorización de los proyectos se están tomando de manera empírica. Esta forma de programar la producción carece de un análisis de las capacidades del área, es decir, no considera una secuencia adecuada de producción para cada producto, ni una utilización óptima de los recursos. Como resultado, se produce una priorización deficiente de los proyectos que compiten por estos recursos.

Con base a lo anterior, el porcentaje de utilización de la capacidad instalada del troquelado es del 60%, además de presentarse sólo un aprovechamiento del 86% de la capacidad en el proceso de bordado. Para los tiempos ociosos se cuenta con un índice aproximado del 10% consecuencia de la escasa utilización de los recursos en el área de producción.

En el caso de las fechas de entrega, se han presentado incumplimientos en el 40% de las ocasiones donde el 18% de las unidades producidas se han visto sometidas a reprocesos, mientras que en el 15% de los casos se han producido adelantos. Para representar la situación de la empresa, se expone el árbol de problemas Figura 1.

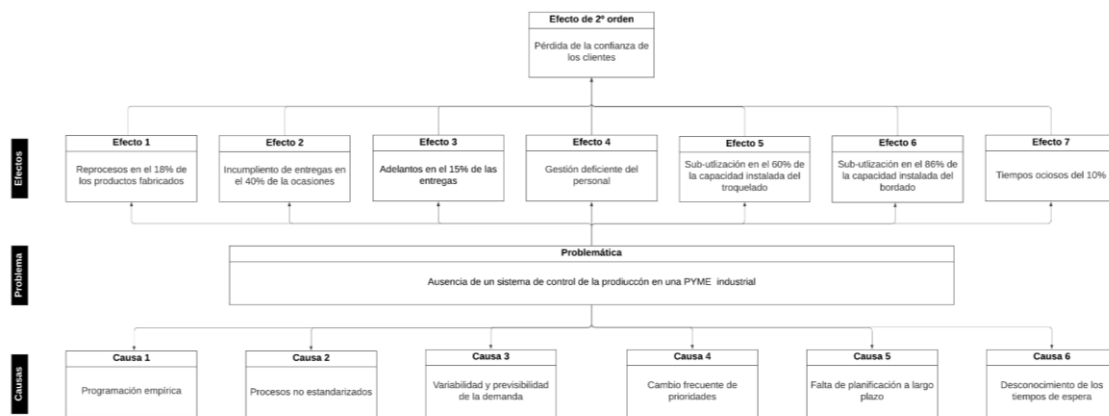


Figura 1. Árbol de problemas

Finalmente, las elevadas tasas de falta de cumplimiento en las fechas de entrega pueden resultar en la pérdida de la confianza de los clientes, disminuyendo la competitividad, reduciendo la cuota de mercado y, en casos extremos, la suspensión completa de las operaciones. Por esta razón, este documento tiene como objetivo abordar la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál sería el sistema de control de la producción orientado al cumplimiento de los tiempos de entrega en una PYME industrial?

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Proponer un sistema de control de la producción orientado al cumplimiento de los tiempos de entrega en una PYME industrial.

2.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar los procesos del sistema productivo, identificando los recursos, maquinarias y etapas clave del proceso.
- Desarrollar un modelo heurístico para el control de la producción de la PYME industrial, considerando el cumplimiento de los tiempos de entrega.
- Evaluar el cumplimiento de los tiempos de entrega mediante indicadores de desempeño.

3. JUSTIFICACIÓN

El proceso de fabricación en entornos de producción secuencial bajo pedido se caracteriza por una fuerte dependencia de la demanda real, a diferencia de los sistemas de producción en masa donde la demanda se anticipa y se fabrican productos estandarizados. Esta característica distintiva, como lo señalan autores como Krajewski y Ritzman (2005) y Chase et al. (2010), implica una serie de desafíos y oportunidades para la gestión de la cadena de suministro.

En primer lugar, la naturaleza de pedidos únicos en la fabricación bajo pedido exige una alta flexibilidad en los procesos productivos, ya que cada producto se elabora de acuerdo con las especificaciones particulares del cliente. Tal como lo indica Slack et al. (2013), esta personalización requiere de una estrecha colaboración entre el cliente y el fabricante desde las etapas iniciales del pedido, lo que impacta en la planificación, programación y control de la producción.

Esta complejidad se ve agravada por la dinámica cambiante de los pedidos entrantes, lo que obliga a una constante reevaluación de las prioridades y a la adaptación de los planes de producción. Tal como lo indican Vollmann et al. (1995), la priorización de proyectos entrantes en este entorno debe considerar diversos criterios, como la urgencia del pedido, la complejidad del producto, la disponibilidad de materiales y la capacidad de los recursos.

Es por esto, que la ausencia de un sistema de control de la producción correcto afecta de manera directa el cumplimiento de los tiempos de entrega en la PYME, ya que una planificación basada en la incertidumbre provoca gastos superfluos en las operaciones diarias. Finalmente, se recalca el enfoque en minimizar el tiempo de entrega de pedido con la asignación óptima de los recursos.

4. ESTADO DEL ARTE

El problema de secuenciación en entornos flow shop ha sido ampliamente abordado en la literatura científica, dada su relevancia en la mejora de la eficiencia productiva en sistemas industriales. Ruiz y Maroto (2005) realizaron una revisión integral de las heurísticas utilizadas en entornos permutation flow shop, evaluando su desempeño bajo distintos criterios de priorización. Su trabajo sentó las bases para comprender cómo reglas como SPT (Shortest Processing Time) y LPT (Longest Processing Time) pueden influir en la asignación secuencial de trabajos, destacando que muchas de estas heurísticas se basan en principios opuestos de ordenamiento y pueden derivarse unas de otras mediante la inversión de sus criterios.

Avances más recientes han incorporado factores adicionales que reflejan condiciones operativas reales más complejas. Feng y Kong (2023), por ejemplo, abordan el problema en un entorno hybrid flow shop con máquinas en paralelo, incluyendo tiempos de manipulación y configuración. Su estudio propone un enfoque multiobjetivo que permite optimizar simultáneamente criterios como el tiempo de finalización total y el equilibrio de carga, lo cual resulta particularmente útil en sistemas de producción donde la variabilidad y la disponibilidad de los recursos afectan directamente la programación de trabajos.

En línea con esta evolución metodológica, las investigaciones contemporáneas también han explorado la integración de técnicas de aprendizaje automático con algoritmos evolutivos. Según *Frontiers in Industrial Engineering* (2024), esta combinación ha demostrado ser efectiva para resolver problemas de programación complejos, ya que permite mejorar la capacidad de exploración y explotación de los espacios de soluciones, adaptándose mejor a entornos dinámicos y con múltiples restricciones. Esta tendencia sugiere una transición progresiva desde enfoques heurísticos tradicionales hacia modelos híbridos más robustos y adaptativos.

5. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Para definir un sistema de control, es importante identificar las distintas metodologías ofrecidas, sus fortalezas y debilidades, además de si se ajustan a la naturaleza del sistema productivo, lo que permite una producción eficiente (Nahmias, 2014). Los procesos productivos pueden ser diferentes; entre estos se encuentra la configuración productiva Flow Shop, también conocida como producción en línea secuencial, la cual se caracteriza por una disposición de recursos donde todos los productos siguen la misma secuencia de operaciones a través de las distintas estaciones de trabajo (Peña Tibaduiza et al., 2017).

En este sistema, la producción puede realizarse bajo demanda o en lotes, pero con un flujo de trabajo estandarizado, lo que reduce la variabilidad y permite una planificación más eficiente. Esta configuración se distingue por el uso de máquinas especializadas organizadas en serie, que están destinadas a operaciones específicas dentro de un proceso repetitivo (Pinedo, 2016). Esto permite una mayor eficiencia en la programación de la producción y facilita el cumplimiento de plazos, aunque con menor flexibilidad ante cambios frecuentes en los pedidos de los clientes.

La producción bajo pedido, también conocida como Make to Order (MTO), se caracteriza por la fabricación de productos únicos o personalizados tras recibir un pedido de un cliente. A diferencia de la producción en serie, donde se fabrican grandes cantidades de productos estandarizados para stock, la producción bajo pedido se enfoca en la flexibilidad y la adaptación a las necesidades específicas de cada cliente. Este sistema se caracteriza por una alta variabilidad de productos, con baja estandarización en los procesos de producción, permitiendo una mayor flexibilidad en el diseño y fabricación (Chase, Jacobs, 2010). La producción se inicia únicamente tras recibir un pedido, con la posibilidad de que los clientes participen activamente en el diseño y desarrollo de los productos. Sin embargo, esto conlleva

ciclos de producción más largos debido a la mayor complejidad de los productos y la necesidad de adaptar los procesos a cada pedido.

Las ventajas de la producción bajo pedido incluyen una alta capacidad de personalización, reducción de los niveles de inventario, mayor flexibilidad para adaptarse a cambios y una mayor satisfacción del cliente. No obstante, también presenta desventajas como costos de producción más altos, mayor complejidad en la programación, mayor riesgo de errores y una dependencia de la demanda del cliente (Krajewski & Ritzman, 2005; Chase, Jacobs, 2010).

Todas estas actividades requieren una forma de control como la programación de operaciones, la cual es un campo de la planeación y control de los procesos de producción, cuyas funciones comprenden el asignar pedidos, equipo y personal a los centros de trabajo y otros lugares especificados, además de establecer la secuencia de ejecución de los pedidos y controlar las actividades que se ejecutan en el taller. La programación tiene como objetivo optimizar el uso de los recursos, cumplir con las fechas límites de vencimiento, reducir al mínimo los tiempos de entrega, reducir al mínimo el tiempo y el costo del mantenimiento de la máquina, reducir el inventario y maximizar el uso de la maquinaria y el personal (Rivera y otros, 2014). Además de relacionar múltiples variables productivas que están relacionados con la finalidad de responder a las variaciones en la demanda (Araujo Dávila, R. A. 2020).

Para implementar la programación de la producción, en la mayoría de los casos se realiza una alianza con los métodos heurísticos que se valen de las técnicas y procesos simples para alcanzar soluciones viables en algunos casos y óptimas en otros (Ortiz, M., Olivares, P. 2018), presentándose como una poderosa herramienta para la resolución de problemas en entornos complejos. A diferencia de los algoritmos, que siguen un conjunto de instrucciones predefinidas de manera rígida y determinista, la heurística permite adaptarse dinámicamente a las características específicas de cada problema.

6. DESARROLLO METODOLÓGICO

Con el propósito de mejorar el control sobre los tiempos de entrega en sistemas productivos tipo Flow Shop, se propone el diseño y análisis de un modelo heurístico de programación de la producción que permita identificar las mejores configuraciones bajo distintas condiciones operativas. La propuesta metodológica parte de una caracterización detallada del proceso productivo de la empresa caso de estudio, lo que permite reconocer las tareas presentes en el proceso de elaboración de los guantes, además del tiempo que conlleva la ejecución de cada una de las tareas.

Posteriormente, se plantean diferentes escenarios experimentales, estructurados a partir de variaciones en la disponibilidad de maquinaria, lo cual busca simular distintas condiciones. Para cada uno de estos escenarios, se implementan reglas de despacho ampliamente referenciadas en la literatura, permitiendo comparar su comportamiento mediante indicadores de desempeño asociados al cumplimiento de los plazos de entrega, la eficiencia de los tiempos de procesamiento y la gestión de esperas.

Si bien el enfoque adoptado se basa en la aplicación de una heurística, el análisis se apoya en la observación sistemática de los resultados obtenidos en cada combinación de regla de despacho y condición operativa.

6.1. Caracterizar los procesos del sistema productivo, identificando los recursos, maquinarias y etapas clave del proceso.

En primera instancia, se realiza un análisis detallado del sistema productivo en donde se identifican los recursos, máquinas y etapas clave del proceso.

El ciclo productivo para la obtención de un guante industrial consiste en las siguientes tareas: recepción de materia prima, troquelado, selección, armado, cerrado, volteado, empacado y despacho, tal como se muestra en la Figura 2.

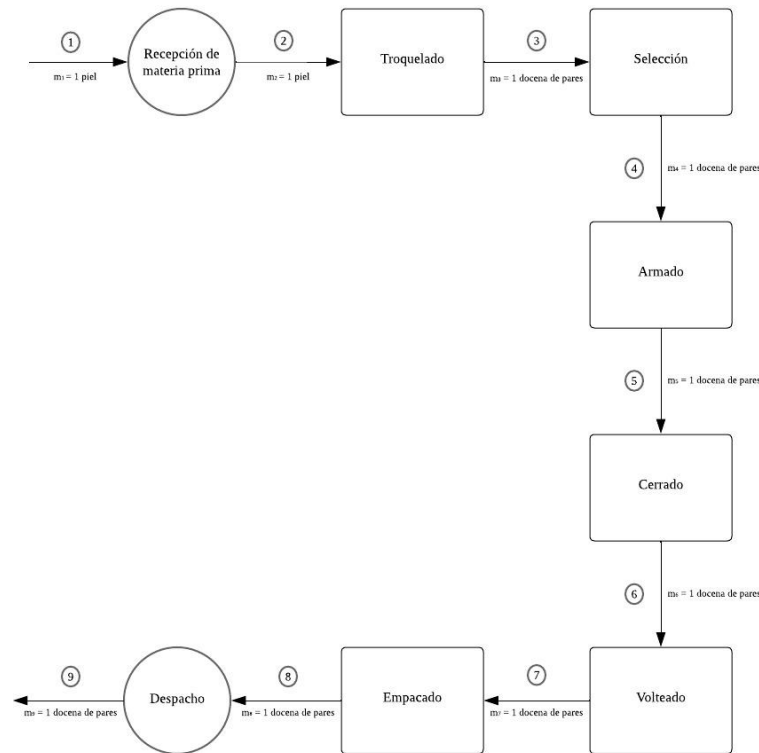


Figura 2. Diagrama de proceso

Las tareas que se realizan en el proceso de elaboración de un guante industrial se describen a continuación:

1. Recepción de materia prima: La tarea comienza con la descarga de 120 pieles de ganado vacuno, las cuales son cargadas por los auxiliares logísticos de la empresa proveedora hasta la zona de almacenamiento de pieles.
2. Almacenamiento de pieles: Después de la recepción, las 120 pieles son almacenadas temporalmente en la misma zona de despacho a temperatura ambiente. Las pieles se almacenan enrolladas y apiladas en estibas.
3. Transporte a zona de troquelado: Para la producción del lote, se transportan 5 pieles por el auxiliar de la empresa hacia la zona de troquelado, situada a 4 metros de distancia y a una velocidad de 1,2 metros por segundo. Debido al transporte manual realizado, el operario necesita realizar un total de 10 viajes.
4. Troquelado: Inicialmente, cada piel se divide en cuatro partes mediante un proceso de corte que dura aproximadamente 2 minutos. Luego, estas se colocan en la lámina troqueladora, organizando los diferentes troqueles según

las tallas de los guantes. Para completar un guante, se troquelan cuatro piezas: la parte superior, la parte inferior y los refuerzos internos derecho e izquierdo. Finalmente, la prensa descende sobre la piel, ejerciendo presión para cortar estas piezas, como se ilustra en la Figura 3.

La tarea de troquelado dura aproximadamente 20 minutos por cada piel.



Figura 3. *Proceso de troquelado*

5. Selección y agrupamiento: Después del troquelado, las piezas de los guantes son seleccionadas y agrupadas sobre una mesa de trabajo. Las piezas se colocan ordenadamente en pilas individuales según su tipo (parte superior, parte inferior, refuerzo interno derecho e izquierdo). Esta tarea tarda aproximadamente 5 minutos por cada docena de pares.
6. Espera: Una vez terminada la tarea de selección y agrupamiento, es necesario esperar aproximadamente 12 minutos hasta que el lote se complete y pueda ser transportado a la zona de armado.
7. Transporte a zona de armado: El auxiliar traslada una docena de pares de cada pieza apilada en una bandeja de plástico, manteniendo una velocidad de 1,2 metros por segundo y recorriendo una distancia promedio de 15 metros, según la ubicación de la máquina.
8. Armado: El operario utiliza una máquina de coser plana para seleccionar, alinear y coser las piezas troqueladas. Para aumentar la elasticidad en la zona de la muñeca, coloca un resorte de caucho que tiene en su mesa de trabajo y lo pega en serie. Finalmente, recorta los hilos sobrantes para asegurar un acabado

limpio, como se detalla en la Figura 4. La velocidad promedio para armar una docena de pares de guantes es de 50 minutos.



Figura 4. *Proceso de armado*

9. Transporte a zona de cerrado: El auxiliar traslada una docena de pares guantes apilados en sus manos, manteniendo una velocidad de 1,2 metros por segundo y recorriendo una distancia promedio de 15 metros, según la ubicación de la máquina.
10. Cerrado: Es la etapa final del ensamblaje del guante, donde todas las piezas se unen de manera definitiva. En esta tarea, el operario de la máquina de coser plana asegura que el dorso del guante quede firmemente unido a la palma y cose el contorno del guante, verificando su calidad mediante una inspección evidenciada en la Figura 5. La velocidad promedio con la que se cierra una docena de pares de guantes es de 38 minutos.

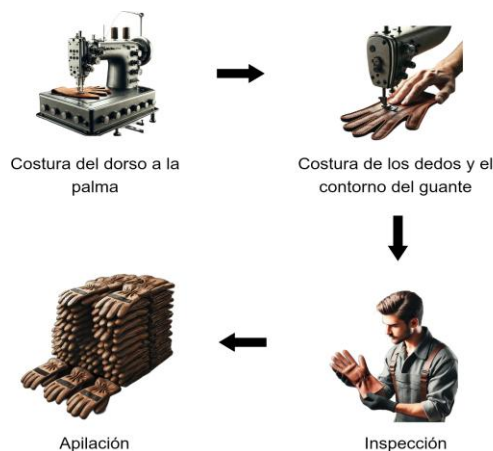


Figura 5. *Proceso de cerrado*

11. Transporte a zona de volteado: El auxiliar traslada una docena de pares guantes apilados en sus manos, manteniendo una velocidad de 1,2 metros por segundo y recorriendo una distancia promedio de 15 metros, según la ubicación de los volteadores, que se encuentran en cada extremo del área de cerrado.
12. Volteado: Los guantes cerrados son recibidos por el operario, quien los voltea ejerciendo presión contra una base metálica alargada por ambos lados del guante. Una vez que todos los guantes han sido volteados, se apilan en docenas de pares, tal como se muestra en la Figura 6.



Figura 6. *Proceso de volteado*

13. Transporte a zona de empacado: El auxiliar traslada una docena de pares guantes apilados en sus manos, manteniendo una velocidad de 1,2 metros por segundo y recorriendo una distancia promedio de 15 metros, según la ubicación del empacador.
14. Empacado: Los guantes se ubican sobre las mesas de la zona, se agrupan en 5 docenas de pares y se empacan en bolsas plásticas. Cada bolsa se llena en un tiempo aproximado de 12,5 minutos.
15. Transporte a zona de despacho: El auxiliar traslada una bolsa en sus manos, manteniendo una velocidad de 1,2 metros por segundo y recorriendo una distancia promedio de 4 metros, según la ubicación de la zona de despacho. Debido al transporte manual, se realiza un viaje.
16. Despacho: La bolsa se coloca sobre una estiba, donde permanece hasta la llegada del camión encargado de su transporte hacia el cliente final; este servicio de entrega es gestionado por una compañía externa.

Con la intención de proporcionar una comprensión clara del proceso, en la Figura 12 se presenta el diagrama de flujo. Adicionalmente, se incluyen la Figura 13 y la

Figura 14, que detallan la ruta del ciclo productivo en los dos pisos de la planta a través de los diagramas de recorrido.

Para profundizar en esta interacción, se han elaborado cinco diagramas hombre-máquina que muestran las dinámicas específicas entre el personal y los equipos utilizados en cada tarea de fabricación de guantes, tomando como unidad de análisis una docena de pares. La Figura 15 corresponde al diagrama del proceso de troquelado, el cual tiene una duración de 30 minutos, incluyendo el transporte y la selección de piezas. La Figura 16 ilustra el proceso de armado. La Figura 17 representa el proceso de cerrado, con una duración de 45 minutos. La Figura 18 muestra el proceso de volteado, donde se llevan a cabo revisiones por parte del operario, así como la organización de guantes y su transporte. Finalmente, la Figura 19 muestra el proceso de empackado.

Dado que las actividades anteriores no estaban formalmente estandarizadas, se elaboró un manual de funciones para cada uno de los cargos y tareas operativas, siguiendo la estructura sugerida por Milformatos (2022), que incluye aspectos como identificación del cargo, funciones, perfil requerido y relaciones jerárquicas. Los resultados se presentan en las siguientes tablas: supervisor de producción (Tabla 9), troquelador (Tabla 10), armador (Tabla 11), cerrador (Tabla 12), volteador (Tabla 13) y auxiliar logístico (Tabla 14).

Adicionalmente, se implementó un formato de reporte en el que se registra la fecha, la tarea realizada, la máquina involucrada y la cantidad producida en comparación con la cantidad esperada. Este sistema también documenta eventualidades como mantenimiento de máquinas, apagones o fallos eléctricos. Gracias a esta herramienta, se identificó que todos los lunes se realiza un mantenimiento de 30 minutos, y que las jornadas de los lunes y miércoles son más cortas, con 6,5 y 7 horas de trabajo, respectivamente.

Finalmente, se resalta que este sistema no era utilizado previamente en la empresa, pero fue desarrollado como parte de la caracterización, y su implementación ha resultado efectiva para la compañía, ya que le ha permitido identificar áreas de

mejora en el proceso productivo. Para acceder al reporte de productividad, ingrese al siguiente enlace: [Formato del proceso productivo](#)

6.2. Desarrollar un modelo heurístico para el control de la producción de la PYME industrial, considerando el cumplimiento de los tiempos de entrega

Con el objetivo de determinar un modelo heurístico para el control de la producción, se busca configurar la programación más adecuada para la empresa caso de estudio, en donde se consideran seis heurísticas de programación, cada una definida por las reglas de despacho presentadas a continuación:

- CR: Razón Crítica, priorización de las órdenes que tienen una mayor probabilidad de atrasarse (Berry & Rao, 1975).
- EDD: Earliest Due Date o fecha de entrega más temprana (Mota, Nugraha, & Pulansari, 2024).
- FCFS: First Come, First Served, o primero en llegar, primero en ser servido (Oliveira et al., 2020).
- LIFO: Last In, First Out o último en entrar, primero en salir, donde se da prioridad al trabajo más reciente en el sistema (Silberschatz, Galvin, & Gagne, 2018).
- SPT: Shortest Processing Time o tiempo de procesamiento más corto (Hamidi, 2016).
- LPT: Longest Processing Time o mayor tiempo de procesamiento, da prioridad al trabajo que requiere más tiempo para completarse (Pinedo, 2016).

El comportamiento de las heurísticas se analiza bajo tres escenarios operativos diferenciados por la proporción de máquinas disponibles en la primera tarea de cada trabajo: 100%, 50% y 25%. Esta asignación responde a una estrategia metodológica común en estudios de programación de la producción, donde se simulan condiciones ideales, moderadas y críticas para evaluar el desempeño y la robustez de las reglas de despacho (Pinedo, 2016; Vieira, Herrmann, & Lin, 2003).

- Asignación del 100%: Representa la disponibilidad completa de recursos. Este caso actúa como escenario base o línea de referencia para evaluar el

desempeño de las heurísticas sin restricciones operativas (Allahverdi, Ng, Cheng, & Kovalyov, 2008).

- Asignación del 50%: Se programa con la mitad de la capacidad de la maquinaria disponible en la primera tarea y representa una restricción moderada, común en sistemas donde existen mantenimientos programados, cambios de turnos o redistribución de maquinaria. Este tipo de análisis permite evaluar la adaptabilidad de las reglas ante degradaciones parciales del entorno (Ruiz & Maroto, 2005).

En esta asignación, para la tarea cuatro (Armado), la asignación inicial de trabajos se realiza considerando la proporción histórica de demanda atendida por cada máquina, de forma que el primer par de trabajos se distribuye de acuerdo con dicha proporción. Posteriormente, los siguientes pares se asignan secuencialmente en función del menor tiempo de liberación de las máquinas, priorizando aquellas que hayan finalizado sus operaciones previas más rápidamente.

- Asignación del 25%: Representa una situación de restricción operativa severa. En este caso, se programa solo una cuarta parte de la capacidad disponible en la primera tarea, siguiendo también la lógica de la regla de despacho. Al igual que en el caso anterior, la reasignación dinámica de máquinas puede provocar que no se mantenga la secuencia originalmente establecida, transformando el proceso en un esquema híbrido entre múltiples reglas de despacho. Este tipo de análisis permite observar el comportamiento del sistema ante condiciones límite y medir la robustez de las heurísticas empleadas (Herrmann, 2006).

Estos escenarios buscan soluciones rápidas y aproximadas incluso para los modelos de programación más complejos (Martí et al., 2018). Algunas de estas soluciones pueden tener un mejor desempeño que otras, y al comprobar los distintos escenarios, es posible encontrar la configuración que mejor se ajuste al problema.

Para cumplir con el objetivo propuesto, se utiliza la información contenida en la Tabla 1, la cual presenta los datos de demanda y fechas de entrega para cada uno de los trabajos.

Tabla 1. Demandas y fechas de entrega por trabajo.

Trabajos	Demanda (pares de guantes)	Fecha de entrega (horas)
1	1272	520
2	628	575
3	629	480
4	660	550
5	423	600

Una vez identificadas las órdenes de trabajo, es necesario calcular los valores operativos que permiten realizar la asignación en las máquinas. Estos se calculan a partir de las siguientes fórmulas:

- Tiempo de inicio: Determina el momento exacto en el que comienza la ejecución de una tarea específica dentro de la configuración de producción, (Pinedo, 2016).

El tiempo de inicio puede presentar dos escenarios. En el primero, el tiempo de culminación del trabajo actual en la tarea anterior es mayor que el tiempo de culminación del trabajo anterior (según la secuencia) en la misma tarea actual; en este caso, la espera será igual a cero, por lo que el tiempo de inicio se definiría de la siguiente manera:

$$S_i = C_{i \text{ en la tarea anterior}} + W_i \quad (1)$$

En el segundo escenario, el tiempo de culminación del trabajo anterior en la tarea actual supera al del trabajo actual en la tarea anterior, lo que implica una espera distinta de cero.

$$S_i = C_{trabajo anterior} + W_i \quad (2)$$

- Tiempo de culminación: Indica el momento exacto en que finaliza la ejecución de un trabajo en una tarea (Pinedo, 2016). Donde t_i corresponde al tiempo de procesamiento unitario en cada tarea, $Unidades_i$ a número de unidades que tiene cada trabajo y NM al número de máquinas que estarán disponibles en la tarea.

$$C_i = S_i + t_i * \frac{Unidades_i}{NM} \quad (3)$$

- Tiempo de espera: Mide el intervalo de tiempo en que un trabajo permanece inactivo antes de ser procesado (Pinedo, 2016).

$$W_i = S_i - C_i \text{ en la tarea anterior} \quad (4)$$

Sin embargo, la secuencia inicial de los trabajos no depende de las fórmulas presentadas para el cálculo de tiempos, sino que está determinada directamente por la orientación establecida por cada regla de despacho. A continuación, se presentan las secuencias generadas por cada heurística en la primera tarea:

Tabla 2. *Secuencia de trabajos en las reglas de despacho de la primera tarea*

Regla de despacho	Secuencia de trabajo
CR	1,3,4,2,5
EDD	3,1,2,4,5
FCFS	1,2,3,4,5
LIFO	5,4,3,2,1
SPT	5,2,3,4,1
LPT	1,4,3,2,5

Para la definición de la secuencia inicial de cada trabajo, en la mayoría de los casos se aplica directamente el orden determinado por la propia regla de despacho, lo cual elimina la necesidad de realizar cálculos adicionales. Este es el caso, por ejemplo, de la regla EDD, en la que los trabajos se priorizan según la fecha de entrega más próxima. En cambio, otras reglas como CR, LPT y SPT requieren el cálculo previo de ciertos parámetros específicos para establecer el orden de secuenciación. A continuación, se detallan dichos procedimientos de cálculo.

- CR: Para la definición de la razón crítica se emplea la siguiente ecuación:

$$CR = \frac{\text{Tiempo hasta la fecha de entrega}}{\text{Tiempo de procesamiento restante}} \quad (5)$$

Esta relación permite priorizar los trabajos según su proximidad al vencimiento, donde los valores más cercanos a cero indican una mayor urgencia. A continuación, se presenta la razón crítica calculado para cada trabajo:

Tabla 3. Cálculo de la razón crítica para cada trabajo.

Trabajo	Tiempo T1 (h)	Tiempo T2 (h)	Tiempo T3 (h)	Tiempo T4 (h)	Tiempo T5 (h)	Tiempo T6 (h)	Total	Razón crítica
1	419,76	105,58	839,52	801,36	318,00	53,04	2537,26	0,20
2	207,24	52,12	414,48	395,64	157,00	26,19	1252,67	0,46
3	207,57	52,21	415,14	396,27	157,25	26,23	1254,67	0,38
4	217,80	54,78	435,60	415,80	165,00	27,52	1316,50	0,42
5	139,59	35,11	279,18	266,49	105,75	17,64	843,76	0,71

- LPT: Para determinar la secuencia es necesario conocer el tiempo de procesamiento que tiene cada trabajo, en este caso, se hace el cálculo usando como referencia la primera tarea.

$$LPT = \text{tiempo de procesamiento unitario} * \text{número de unidades} \quad (6)$$

Al implementar esta fórmula se obtienen los tiempos de procesamiento y el orden de la secuenciación contenidos en la Tabla 4:

Tabla 4. *Cálculo de la regla de despacho LPT.*

Trabajo	Demanda	Tiempo de procesamiento unitario	Tiempo de procesamiento de la tarea 1	Orden de secuenciación
1	1272		419,76	1
2	628		207,24	4
3	629	0,33	207,57	3
4	660		217,80	2
5	423		139,59	5

- SPT: La secuencia correspondiente a esta regla puede obtenerse directamente a partir de la secuencia generada por la regla LPT, dado que ambas se fundamentan en criterios opuestos de priorización

Las secuencias generadas para las siguientes tareas se construyeron respetando el orden definido por la prioridad de la regla de despacho. Estas se detallan completamente en la Tabla 15.

Finalmente, se presentan en las tablas los detalles y los resultados de los cálculos de las tardanzas y los adelantos en cada una de las asignaciones (ver Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7). Las tardanzas se obtienen a partir de la diferencia entre la fecha de la fecha de culminación de cada trabajo y su fecha de entrega (Ecuación 7), mientras que los adelantos se obtienen de la diferencia entre la fecha de entrega del trabajo y la fecha en la que culminó, tal cual como se evidencia en la Ecuación 8 (Pinedo, 2016).

$$Tardanza_i = C_{final} - d_i \quad (7)$$

$$Adelanto_i = d_i - C_{final} \quad (8)$$

Donde C_{final} corresponde al tiempo de culminación de cada trabajo en la última máquina y d_i al plazo de entrega de estos.

Tabla 5. Asignación del 100% de las máquinas de cada tarea por trabajo.

Tardanzas (horas)						
Trabajos/Reglas de despacho	CR	EDD	FCFS	LIFO	SPT	LPT
1	-	-	-	-	41,31	-
2	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-
Adelantos (horas)						
Trabajos/Reglas de despacho	CR	EDD	FCFS	LIFO	SPT	LPT
1	147,65	95,68	147,65	28,73	-	147,65
2	115,07	124,36	176,34	249,43	355,93	115,07
3	81,30	295,62	54,99	208,75	208,75	53,65
4	123,65	71,72	87,73	324,22	217,71	150
5	122,30	103,95	119,97	475,84	475,84	122,30

Tabla 6. *Asignación del 50% de las máquinas de cada tarea por trabajo.*

Tardanzas (horas)						
Trabajos/Reglas de despacho	CR	EDD	FCFS	LIFO	SPT	LPT
1	113,60	113,60	153,35	37,22	10,58	-
2	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-
4	16,18	16,18	36,80	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-
Adelantos (horas)						
Trabajos/Reglas de despacho	CR	EDD	FCFS	LIFO	SPT	LPT
1	-	-	-	-	-	12,99
2	136,71	136,71	242,31	125,78	242,31	67,99
3	146,78	146,78	43,08	57,09	57,09	35,08
4	-	-	-	200,38	96,68	200,38
5	188,02	188,02	154,15	362,42	362,42	146,16

Tabla 7. *Asignación del 25% de las máquinas de cada tarea por trabajo.*

Tardanzas (horas)						
Trabajos/Reglas de despacho	CR	EDD	FCFS	LIFO	SPT	LPT
1	585,56	585,56	585,56	650,70	650,70	580,02
2	372,52	372,52	372,52	372,85	372,52	372,52
3	519,85	519,85	519,85	519,85	519,85	519,85
4	218,72	218,72	218,72	218,72	218,72	218,72
5	282,93	283,26	282,93	75,61	75,61	282,93
Adelantos (horas)						
Trabajos/Reglas de despacho	CR	EDD	FCFS	LIFO	SPT	LPT
1	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-

6.3. Evaluar el cumplimiento de los tiempos de entrega mediante indicadores de desempeño.

Los indicadores de desempeño utilizados para evaluar la calidad del heurístico son:

- Tardanza media ($\bar{X}_T$): Es el promedio de las unidades que finalizan después de su fecha de entrega, reflejando el nivel de retraso en la programación de los trabajos (Peña Tibaduiza et al., 2017).
- Adelanto medio ($\bar{X}_E$): Representa el promedio de los adelantos, es decir, cuántos trabajos se completan antes del plazo establecido, permitiendo analizar la eficiencia en el cumplimiento anticipado (Iñigo Carrión & Berasategi, 2010).
- Espera media ($\bar{X}_W$): indica el promedio del tiempo que los trabajos permanecen en cola antes de ser procesados, siendo clave para evaluar cuellos de botella en el sistema (Quality Analytics, 2023).
- Porcentaje de trabajos atrasados: Proporción de trabajos que no fueron completados dentro del tiempo establecido para cada regla de secuenciación (Pinedo, 2016).
- Porcentaje de trabajos adelantados: Proporción de trabajos que fueron completados dentro del tiempo establecido para cada regla de secuenciación (Pinedo, 2016).

Al implementar estos indicadores en cada regla de despacho con las distintas asignaciones, se obtienen los resultados que se muestran en la Tabla 8:

Tabla 8. Indicadores de desempeño de la programación.

Indicadores						
Regla de despacho	Porcentaje de máquina asignado	$\bar{X}_T$ (horas)	$\bar{X}_E$ (horas)	% de trabajos atrasados	% trabajos adelantos	$\bar{X}_W$ (horas)
CR	100%	0,00	117,99	0,00%	100,00%	42,08
CR	50%	25,96	94,30	40,00%	60,00%	35,72
CR	25%	395,92	0,00	100,00%	0,00%	40,12
EDD	100%	0,00	138,27	0,00%	100,00%	48,18
EDD	50%	25,96	94,30	40,00%	60,00%	35,72
EDD	25%	395,98	0,00	100,00%	0,00%	40,17
FCFS	100%	0,00	117,34	0,00%	100,00%	42,16
FCFS	50%	38,03	87,91	40,00%	60,00%	37,12
FCFS	25%	395,98	0,00	100,00%	0,00%	40,12
LIFO	100%	0,00	257,39	0,00%	100,00%	18,92
LIFO	50%	7,44	149,13	20,00%	80,00%	24,76
LIFO	25%	367,48	0,00	100,00%	0,00%	26,36
SPT	100%	8,26	251,65	20,00%	80,00%	18,92
SPT	50%	2,12	151,70	20,00%	80,00%	24,26
SPT	25%	367,48	0,00	100,00%	0,00%	26,36
LPT	100%	0,00	117,74	0,00%	100,00%	42,14
LPT	50%	0,00	92,52	0,00%	100,00%	52,40
LPT	25%	395,98	0,00	100,00%	0,00%	40,12

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos a partir de la implementación de distintas heurísticas basadas en reglas de despacho para la programación de la producción en la PYME industrial. Las reglas de despacho empleadas se encuentran desarrolladas en el siguiente enlace [Programación de la producción de guantes industriales](#).

Inicialmente, se analizan los resultados obtenidos a partir del caso base, el cual corresponde a la configuración principal del modelo con la aplicación de las reglas de despacho seleccionadas. Con el propósito de obtener una visión general del comportamiento de cada regla de despacho y sus configuraciones de acuerdo con la maquinaria, se realiza una comparativa entre el promedio de las tardanzas y los adelantos. Los resultados obtenidos se observan en la siguiente figura:

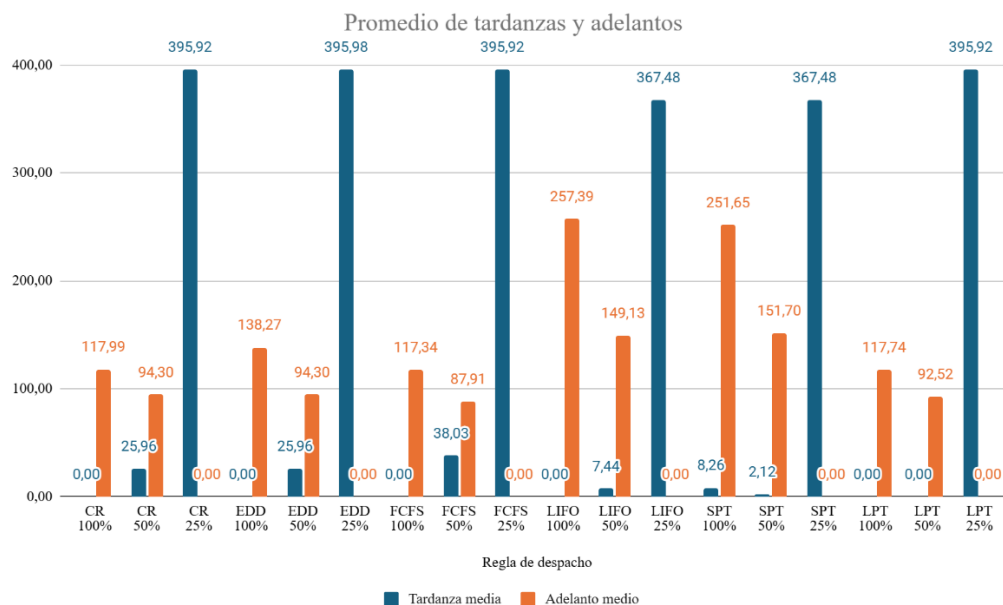


Figura 7. Promedio de las tardanzas y los adelantos

Se destaca que, independientemente de la regla de despacho seleccionada, la programación que asigna el 25% de la maquinaria disponible a los trabajos presenta las mayores tardanzas promedio, todas ellas con valores superiores a 360 horas.

Dentro de este análisis, se observa que la regla de despacho EDD genera la mayor tardanza, seguida de las reglas de despacho CR, FCFS y LPT, las cuales comparten el mismo valor, evidenciando comportamientos similares a lo largo de su proceso productivo (ver Tabla 15). Cabe destacar que en ninguna de las reglas de despacho se obtienen adelantos haciendo uso de esta configuración (ver Tabla 7).

Por otro lado, al implementar la programación con una asignación del 50% de la capacidad de la maquinaria disponible, se evidencia una reducción significativa en las tardanzas promedio. Un caso relevante es el de la regla LPT, que no presenta trabajos con retraso, sino únicamente adelantos, registrando un promedio de 92,52 horas de anticipación (ver Figura 7).

Asimismo, es importante señalar que las reglas de despacho CR y EDD presentan un comportamiento idéntico durante el proceso productivo registrado en la Tabla 6, lo que implica que ambas comparten exactamente las mismas cantidades de trabajos atrasados y adelantados.

Al emplear la programación que asigna el 100% de la maquinaria a cada trabajo, se encuentra que, en todas las reglas de despacho evaluadas, no se presentan tardanzas promedio, con excepción de la regla SPT, que tiene una tardanza promedio de 8,26 horas. Específicamente, las reglas de despacho CR, FCFS y LPT muestran adelantos promedio similares, con valores de 117,99 horas, 117,34 horas y 117,74 horas respectivamente, siendo FCFS la menor entre todas las reglas de despacho, mientras que el mayor adelanto promedio se presenta en la regla de despacho LIFO, con un valor de 257,39 horas. Este resultado es coherente con los datos individuales de la Tabla 5, donde se evidencia que todos los trabajos bajo esta regla experimentan adelantos con valores por encima de las 205 horas, excepto el trabajo 1, que tiene un adelanto de 28,73 horas.

Estas tendencias se pueden evidenciar al analizar el porcentaje de los trabajos que presentan tardanzas por cada escenario en las reglas de despacho desarrolladas:

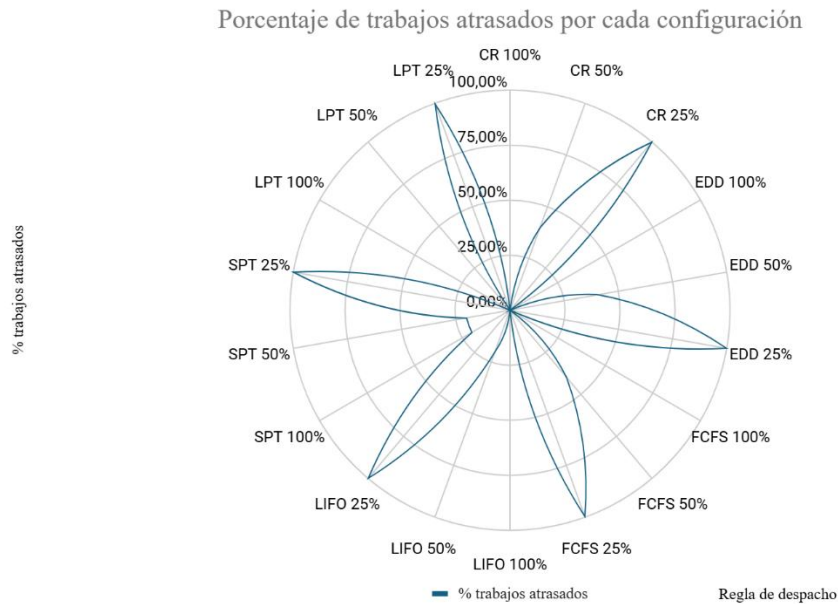


Figura 8. Porcentaje de trabajos atrasados por cada una de las asignaciones propuestas

Como se anticipó, los trabajos programados con una asignación del 25% de la maquinaria presentan un 100% de atrasos, independientemente de la regla de despacho utilizada. En contraste con esta configuración, la asignación del 100% elimina completamente los atrasos en todas las reglas de despacho, con excepción de SPT, que registra atrasos en el 25% de sus trabajos.

Al emplear la programación del 50%, se puede observar que, en todos los casos, el porcentaje de trabajos atrasados no supera el 40% en la Tabla 8, exhibiendo un mejor comportamiento la regla de despacho LPT, que como ya se mencionó, no presenta trabajos atrasados.

Adicionalmente, se analiza el comportamiento de las reglas de despacho desde la perspectiva de los tiempos de espera, los cuales se muestran en la Figura 9:

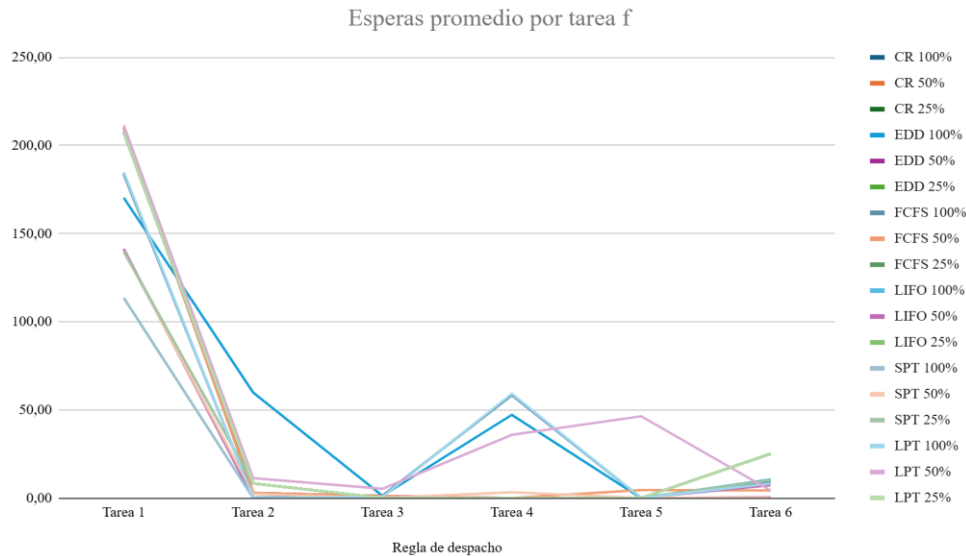


Figura 9. *Esperas promedio por tarea*

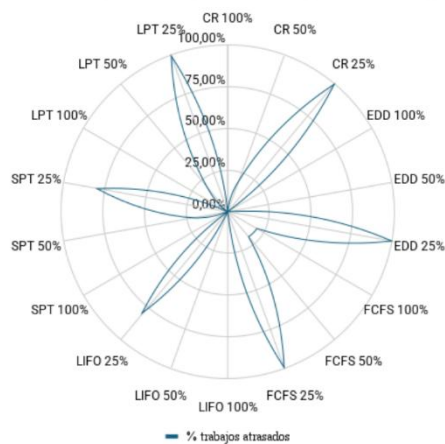
En la tarea 1, la mayor espera se presenta en la configuración LPT con una programación del 25%, alcanzando un valor de 211,37 horas. A lo largo de la ejecución, se observa que los trabajos programados con esta asignación del 25% presentan, en general, los menores tiempos de espera acumulados, ya que solo obtienen esperas en las tareas 1, 2 y 6, mientras que en el resto tienden a cero. En particular, para la tarea 2, la mayoría de las reglas de despacho registran un tiempo de espera promedio de 8,31 horas. Este comportamiento, lejos de ser anómalo, es coherente con las condiciones del sistema, ya que los tiempos de procesamiento hacen que, en el desarrollo del proceso, el orden de asignación de los trabajos en las máquinas coincida progresivamente.

Con el fin de reducir posibles sesgos asociados a una única configuración y obtener una perspectiva más amplia sobre el desempeño de las reglas de despacho, se definieron dos casos adicionales (ver Tabla 16). Estos casos fueron diseñados para explorar variaciones en los parámetros correspondiente a la demanda y las fechas de entrega, lo que tiene un impacto en las condiciones de operación, permitiendo contrastar los resultados (ver el desarrollo de los casos 2 y 3). Esta estrategia contribuye a una mayor claridad en la interpretación de los resultados y brinda

soporte para una toma de decisiones más informada respecto a la selección de la mejor configuración.

Los resultados obtenidos son comparados y analizados en la Figura 10. Como puede observarse, en los tres casos evaluados cuando se implementa la asignación del 25%, se presentan tardanzas, lo que permite concluir que, bajo esta configuración el sistema es más propenso a generar demoras, manteniendo una tendencia a registrar los valores más elevados entre las alternativas analizadas de la Figura 11.

Caso 2 - Porcentaje de trabajos atrasados por cada configuración



Caso 3 - Porcentaje de trabajos atrasados por cada configuración

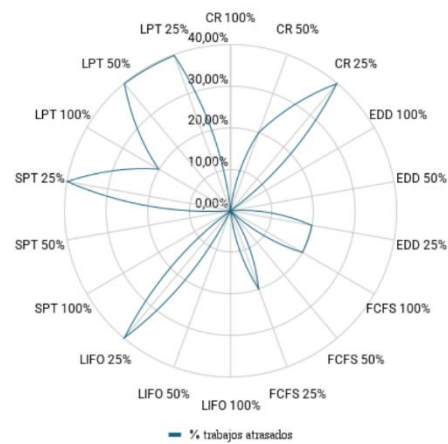


Figura 10. Comparación de los porcentajes de trabajos atrasados por cada una de las asignaciones propuestas del caso 2 y 3

Es importante resaltar que, en los tres casos analizados, la asignación del 100% presenta las mayores tardanzas promedio, siendo SPT la regla de despacho que presenta los mayores adelantos en casi todos los casos, con excepción del caso 1 (ver Figura 7), donde ocupa la segunda posición con un valor de 251,65 horas. A diferencia del caso uno, los adelantos en el caso 2 y 3 presentan los mayores valores registrados (ver Figura 11).

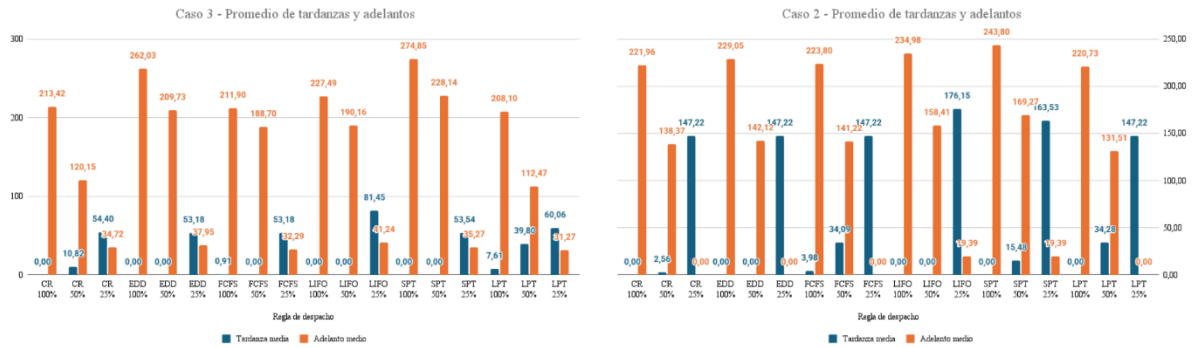


Figura 11. Comparación del promedio de las tardanzas y los adelantos de caso 2 y 3

Para determinar cuál de las reglas de despacho analizadas presenta un mejor desempeño, se consideró como criterio principal la ausencia total de las tardanzas en los tres casos evaluados, ya que dicho comportamiento indica una tendencia consistente en el cumplimiento de las entregas bajo distintos escenarios operativos. Desde esta perspectiva, se destacan CR, EDD y LIFO en la asignación del 100% por no presentar atrasos en ninguno de los casos. En contraste, otras reglas de despacho como FCFS y LPT en la asignación del 100% y EDD y LIFO en la asignación del 50% presentaron al menos un atraso en alguno de los casos ejecutados.

Una vez identificadas CR, EDD y LIFO como las reglas más viables en cuanto a cumplimiento de entregas, se procede a comparar sus tiempos de espera con el fin de seleccionar la mejor alternativa entre ellas. Para ello, se tomó como referencia el promedio global registrado para cada regla, donde se observa que la regla LIFO presenta los valores más bajos en dos de los tres casos (18,92, 16,63 y 17,17 horas), lo que da como resultado un promedio general de 17,57 horas.

Con base en los resultados obtenidos, la regla de despacho LIFO con asignación del 100 % de capacidad se posiciona como la alternativa más favorable, al no presentar tardanzas en ninguno de los tres casos analizados y registrar los tiempos de espera promedio más bajos, lo que favorece la fluidez del sistema (ver análisis comparativo). Por su parte, las reglas CR y EDD, también con asignación del 100 %, se consideran opciones viables al mantener la ausencia de tardanzas y presentar adelantos moderados en comparación con otras reglas evaluadas.

8. CONCLUSIONES

Los modelos de programación heurística permiten, mediante su resolución, ayudar a la toma de decisiones generando soluciones óptimas dadas las prioridades establecidas por la organización. A lo largo del trabajo se ha desarrollado un modelo heurístico para el control de la producción de una PYME industrial, diseñado específicamente para abordar el problema de los incumplimientos en los tiempos de entrega, una problemática recurrente en el sistema productivo de la empresa en cuestión. Este modelo, implementado con el uso de técnicas de programación heurística, ha demostrado ser una herramienta valiosa para optimizar los procesos, mejorando el cumplimiento de los plazos de entrega.

El análisis comparativo entre los distintos niveles de capacidad desmonta la idea intuitiva de que liberar todas las órdenes al inicio del proceso garantiza mejores resultados. En la práctica, esta estrategia puede reducir las colas internas, pero también incrementar los adelantos y, en ciertos casos, las tardanzas. De manera consistente, las configuraciones con una asignación del 25 % de la capacidad se identificaron como las menos efectivas, al presentar en la mayoría de los casos las mayores tardanzas promedio a pesar de presentar bajas esperas, las cuales equivalen a cero en la mayoría de las tareas.

Dentro de la asignación plena de la capacidad, la regla LIFO se posiciona como la más robusta cuando el objetivo primario es eliminar atrasos, porque concentra la espera en la primera operación lo que facilita un balanceo dirigido y suprime las demoras. Por su parte, las reglas CR y EDD brindan un equilibrio más conservador, sin generar tardanzas.

En síntesis, este estudio no sólo permite diagnosticar con rigor las ineficiencias presentes en el sistema productivo, sino también establecer un marco de programación orientado a armonizar la capacidad instalada con las reglas de secuenciación, porque la implementación de un método de control fundamentado en evidencia cuantitativa dota a la empresa de una herramienta analítica

estratégica, capaz de proyectar las mejoras operativas hacia un crecimiento sostenible, ya que la producción puntual y optimizada de cada guante representa, en este contexto, una evidencia tangible de la integración entre los principios de la ingeniería industrial y las prácticas de gestión organizacional.

En definitiva, la adopción del enfoque propuesto en este estudio representa un avance sustancial respecto a la práctica previa, la cual carecía de criterios técnicos estandarizados y respondía a factores externos como el orden de pago de contado. A diferencia de dicho esquema empírico y desorganizado, el nuevo modelo introduce una lógica de programación más eficiente, estructurada y alineada con los objetivos operativos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Altamirano Zanipatín, I. A. (2017). *Programación de la producción para el proceso de troquelado en Industrias Manufactureras de Calzado de Cuero* [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/eb6e3933-03b9-4415-bf89-1d51407d9943/content>
2. Báez Godoy, J. C., & Barrera Oliveros, D. F. (2021). Programación de un Job Shop flexible en un taller de mecanizado.
3. Berry, W. L., & Rao, V. (1975b). Critical Ratio Scheduling: An Experimental analysis. *Management Science*, 22(2), 192-201. <https://doi.org/10.1287/mnsc.22.2.192>
4. Chambers Stuart, Harrison Alan, Johnston Robert y Slack Nigel (1999). *Administración De Operaciones*. 02400, México: Compañía Editorial Continental
5. Chase, F. R. Jacobs, y N. J. Alquilano, *Administración de Operaciones: producción y cadena de suministros*, 13.a ed. 2010.
6. E. L. Sandoval, «Modelo de planificación y programación para la producción de la empresa MATEC S.A», *Revista Ingeniería*, vol. 8, n.o 20, pp. 60-70, doi: 10.33996/revista ingeniería.v8i20.118.
7. E. S. Buffa y R. Sarin, *Modern production/operations management*, 11.a ed. 2013.
8. D. Bonilla, C.J. Tamayo, C. J. Vidal (2012). Análisis de la apertura de centros de distribución internacionales con base en precios de transferencia. *Revista Entre Ciencia e Ingeniería*. ISSN, 1909-8367.
9. Escobar J. W. (2020). Modelo matemático para la programación de la producción en compañías fabricantes de alambres y cables para la construcción. *Revista ESPACIOS*. ISSN, 798, 1015.
10. Feng, Y., & Kong, J. (2023). Multi-objective hybrid flow-shop scheduling in parallel sequential mode while considering handling time and setup time. *Applied Sciences*, 13(6), 3563.
11. Fernández, P. A. (2023). *Inteligencia computacional en la programación de la producción con recursos adicionales* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
12. Flórez, M. Á. & Prieto, E. D. (2014). Propuesta aplicada para la disminución de la Tardanza de Entregas Ponderada de IberoPharma LTDA por medio de un modelo de programación de la producción. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10554/16447>

13. Frontiers in Industrial Engineering. (2024). Enhancing multi-objective evolutionary algorithms with machine learning techniques for scheduling problems. *Frontiers in Industrial Engineering*.
14. Galindo Martínez, A. C., & Rosario Vélez, C. M. (2012). *Modelo de Programación Matemática para la optimización de la planificación y programación de la producción en la empresa Grace Colombia S.A. Planta Cartagena* [Universidad Tecnológica de Bolívar]. <https://repositorio.utb.edu.co/server/api/core/bitstreams/367bcf99-f0b0-40e1-a52d-81b03c1f8605/content>
15. Garnier, J. M. (2022). *Propuesta de un modelo de programación de operaciones para sistemas de producción tipo taller* [Universidad Nacional de Mar del Plata]. <https://rinfi.fi.mdp.edu.ar/handle/123456789/717>
16. G. Arredondo y K. Ocampo, «Propuesta metodológica de planeación y control de la producción a mediano plazo para una empresa del sector textil en un ambiente make to order», 2014. Accedido: 1 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/e094c818-115d-466b-8720-f1d6e0ea3980/content>
17. Hamidi, M. (2016). *Two New Sequencing Rules for the Non-Preemptive Single Machine Scheduling Problem*. *Journal of Business Inquiry*, 15(2), 116-127. Recuperado de <https://journals.uvu.edu/index.php/jbi/article/download/88/68/>
18. Herrmann, J. W. (2006). *Handbook of Production Scheduling*. Springer.
19. Iñigo Carrión, J. A., & Berasategi, I. (2010). Adelantos y retrasos en la gestión de proyectos. *Revista de Dirección y Administración de Empresas*, (17), 65–78.
20. Katina, P. F., Gardner, B. J., & Keating, C. B. (2023). *A Systematic Review of Advanced Manufacturing Management Practices and Their Impact on Organizational Performance*. *Sustainability*, 15(6), 4702. <https://doi.org/10.3390/su15064702>
21. Kumar, A., Singh, R. K., & Mishra, N. (2025). *Adoption and Impact of Quick Response Manufacturing Across Industry Sector*. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*. <https://doi.org/10.1007/s43069-025-00463-8>
22. L. Bongaerts, «Integration of scheduling and control in holonic manufacturing systems», Artículo, Katholieke Universiteit Leuven, 1998.
23. L. Krajewski, L. Ritzman, y M. Malhotra, *Administración de operaciones*, 8.a ed. 2005. [En línea]. Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/566458/Administracion_De_Operaciones - LEE J. K-comprimido.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/566458/Administracion_De_Operaciones_-_LEE_J._K-comprimido.pdf)
24. Macro, «Investigación de operaciones - modelos heurísticos y simulación - macro», Macro, 19 de enero de 2021.

<https://editorialmacro.com/catalogo/investigacion-de-operaciones-modelos-heuristicos-y-simulacion/>.

25. Martí, R., Pardalos, P. M., & Resende, M. G. C. (2018). Handbook of Heuristics. *En Springer eBooks* . <https://doi.org/10.1007/978-3-319-07124-4>
26. Mota, I., Nugraha, I., & Pulansari, F. (2024). *Single Machine Production Scheduling Analysis Using FCFS, SPT, LPT, and EDD Methods To Increase Work Productivity in Furniture Companies*. *Nusantara Science and Technology Proceedings*, 2024(45), 15-19.
27. Oliveira, M., et al. (2020). *Comparison of Dispatching Rules in a Flow Shop Scheduling*. *En Proceedings of the 2020 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 1-6. Recuperado de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-9809-8_36
28. Pinedo, M. L. (2016). *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems*. Springer.
29. Peña Tibaduiza, E., Garavito Hernández, E. A., Pérez Figueredo, L. E., & Moratto Chimenty, E. (2017). Revisión de la Literatura Sobre el Problema de Programación de "Flow Shop" Híbrido con Máquinas Paralelas no Relacionadas. *Revista Ingeniería*, 22(1), 8-24.
30. Redacción Milformatos. (2022, 27 de julio). Manual de funciones: ejemplos, formatos Word, Excel. *Milformatos*. Recuperado de <https://milformatos.com/empresas-y-negocios/manual-de-funciones/>
31. Ruiz, R., & Maroto, C. (2005). Una revisión de heurísticas para el problema de secuenciación flowshop permutacional. *Revista de Ingeniería de la Universidad de Valencia*.
32. Quality Analytics. (2023). *Aplicaciones y análisis de modelos de teoría de colas en sistemas de espera*.
33. Sánchez, J. A. (2019). Minimización de Makespan en Sistema Flow Shop Flexible con Máquinas Paralelas no Relacionadas de Diferente Capacidad. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11349/22513>
34. Silberschatz, A., Galvin, P. B., & Gagne, G. (2018). *Operating System Concepts* (10th ed.). Wiley.
35. Schlenkrich, R., Seiringer, W., Altendorfer, K., & Parragh, S. N. (2024). Enhancing Rolling Horizon Production Planning Through Stochastic Optimization. arXiv preprint arXiv:2402.14506. <https://arxiv.org/abs/2402.14506>
36. T. E. Vollman, W. L. Berry, y D. C. Whybark, *Sistemas de Planificación y Control de la Fabricación*, 3.a ed. 1995.
37. Uribe, A., Duque, S. L., López, J. P. M., & Echeverry, J. A. M. (2024). Optimización de la tardanza total en máquinas paralelas: caso de estudio en la industria del café. *Revista EIA*, 21(41), 4102-pp.

38. Valenciano, C. B., Núñez, M. V. G., Mora, L. D. M., Solano, A. V., & Rodríguez, L. E. V. (2023). Optimización de la secuenciación con penalizaciones por adelanto y atraso con trabajos que se traslapan. *Revista de Iniciación Científica: RIC*, 9(1), 90-102.
39. W. J. Stevenson, *Operations Management*, 10.a ed. McGraw-Hill/Irwin, 2009.

9. ANEXOS

9.1. Anexo A

Tabla 9. *Manual de funciones para el supervisor.*

Nombre del cargo	Supervisor de producción	
Dependencia	Área de producción	
Número de personas en el cargo	1	
Reporta a	Asistente de gerencia	
Personas a cargo:	Si ☒ No ☐	Cuántas (50)
Objetivo principal		
Garantizar el cumplimiento de los objetivos de producción mediante la supervisión y coordinación del equipo.		
Funciones esenciales		
1. Planificar las actividades diarias del equipo de producción. 2. Verificar la calidad en cada etapa del proceso de fabricación. 3. Gestionar eficientemente los recursos y minimizar desperdicios. 4. Capacitar y supervisar al personal en procedimientos y seguridad. 5. Asegurar el cumplimiento de normas de seguridad y mantener el orden. 6. Monitorear y reportar el avance y desempeño de la producción. 7. Controlar el inventario de materiales y coordinar reabastecimientos. 8. Resolver problemas operativos para asegurar el cumplimiento de tiempos.		

Tabla 10. *Manual de funciones para el troquelador.*

Nombre del cargo	Troquelador
Dependencia	Área de producción
Número de personas en el cargo	4
Reporta a	Supervisor de producción
Personas a cargo	Si ☐ Cuántas (0) No ☒
Objetivo principal	
Realizar cortes precisos de las piezas de cuero de acuerdo con las especificaciones requeridas.	
Funciones esenciales	
1. Preparar el cuero y los materiales según las especificaciones de cada orden de producción. 2. Realizar cortes precisos en el cuero utilizando las máquinas troqueladoras asignadas. 3. Organizar las piezas cortadas para facilitar el flujo eficiente hacia el área de ensamblaje. 4. Reportar cualquier desperfecto o falla en el equipo para asegurar una operación segura. 5. Cumplir con las normas de seguridad y mantener el área de trabajo ordenada y limpia.	

Tabla 11. *Manual de funciones para el armador.*

Nombre del cargo	Armador
Dependencia	Área de producción
Número de personas en el cargo	26
Reporta a	Supervisor de producción
Personas a cargo:	Si ☐ Cuántas (0) No ☒
Objetivo principal	
Asegurar el ensamblaje preciso y de calidad de los guantes mediante la alineación, costura y acabado de las piezas troqueladas.	
Funciones esenciales	
1. Seleccionar y alinear las piezas troqueladas de acuerdo con las especificaciones de ensamblaje. 2. Coser los dedos y unir la palma con el dorso del guante utilizando la máquina de coser plana. 3. Colocar y asegurar el resorte de caucho en la muñeca para proporcionar elasticidad. 4. Recortar los hilos sobrantes para obtener un acabado limpio. 5. Mantener el área de trabajo ordenada y la máquina en condiciones óptimas.	

Tabla 12. *Manual de funciones para el cerrador.*

Nombre del cargo	Cerrador
Dependencia	Área de producción
Número de personas en el cargo	9
Reporta a	Supervisor de producción
Personas a cargo	Si ☐ Cuántas (0) No ☒
Objetivo principal	
Garantizar la unión definitiva y firme de todas las piezas del guante para asegurar un producto terminado.	
Funciones esenciales	
1. Unir el dorso y la palma del guante con la máquina de coser plana. 2. Coser los dedos y el contorno del guante para asegurar su estructura. 3. Realizar una inspección de calidad para verificar la precisión del ensamblaje. 4. Ajustar la máquina de coser y mantener el área de trabajo en condiciones óptimas. 5. Informar cualquier defecto o problema identificado durante el proceso de cierre.	

Tabla 13. *Manual de funciones para el volteador.*

Nombre del cargo	Volteador
Dependencia	Área de producción
Número de personas en el cargo	8
Reporta a	Supervisor de producción
Personas a cargo	Si ☐ Cuántas (0) No ☒
Objetivo principal	
Voltear los guantes cerrados para preparar su presentación y facilitar las etapas finales de producción.	
Funciones esenciales	
1. Voltear cada guante aplicando presión en una base metálica alargada. 2. Comprobar que ambos lados del guante estén correctamente volteados. 3. Apilar los guantes volteados en docenas para agilizar el siguiente proceso. 4. Mantener el área de trabajo ordenada y libre de obstrucciones. 5. Reportar cualquier anomalía observada en los guantes durante el volteo.	

Tabla 14. *Manual de funciones para el auxiliar logístico.*

Nombre del cargo	Auxiliar logístico
Dependencia	Área de producción
Número de personas en el cargo	3
Reporta a	Supervisor de producción
Personas a cargo	Si ☐ Cuántas (0) No ☒
Objetivo principal	
Realizar el transporte y agrupamiento de materiales - productos en las diferentes etapas de producción para garantizar un flujo eficiente y continuo de trabajo.	
Funciones esenciales	
1. Transportar pieles a la zona de troquelado en múltiples viajes. 2. Seleccionar y agrupar piezas troqueladas en pilas según su tipo. 3. Llevar las piezas agrupadas a la zona de armado. 4. Transportar guantes volteados y apilados a las distintas áreas de cerrado. 5. Trasladar guantes a la zona de empaque, agrupándolos y preparando bolsas para empaque. 6. Verificar el estado de los materiales y reportar cualquier irregularidad. 7. Mantener el área de trabajo ordenada y asegurarse de la correcta disposición de los materiales.	

Tabla 15. *Secuencia de trabajos en las reglas de despacho de las 5 tareas restantes del primer caso.*

Regla de despacho	Asignación	Tarea	Secuencia de trabajo
CR	100%	2	
		3	
		4	1,3,4,2,5
		5	
		6	
CR	50%	2	3,2,1,5,4,5
		3	3,2,5,1,5,4
		4	3,5,2,5,1,4
		5	3,5,2,5,4,1
		6	3,5,5,2,4,1
CR	25%	2	
		3	2,3,4,5,1
		4	
		5	4,2,3,5,1
		6	4,5,2,3,1
EDD	100%	2	
		3	
		4	3,1,2,4,5
		5	
		6	
EDD	50%	2	3,2,1,5,4,5
		3	3,2,5,1,5,4
		4	3,5,2,5,1,4
		5	3,5,2,5,4,1
		6	3,5,5,2,4,1
EDD	25%	2	
		3	2,3,4,5,1
		4	
		5	4,2,3,5,1
		6	4,5,2,3,1

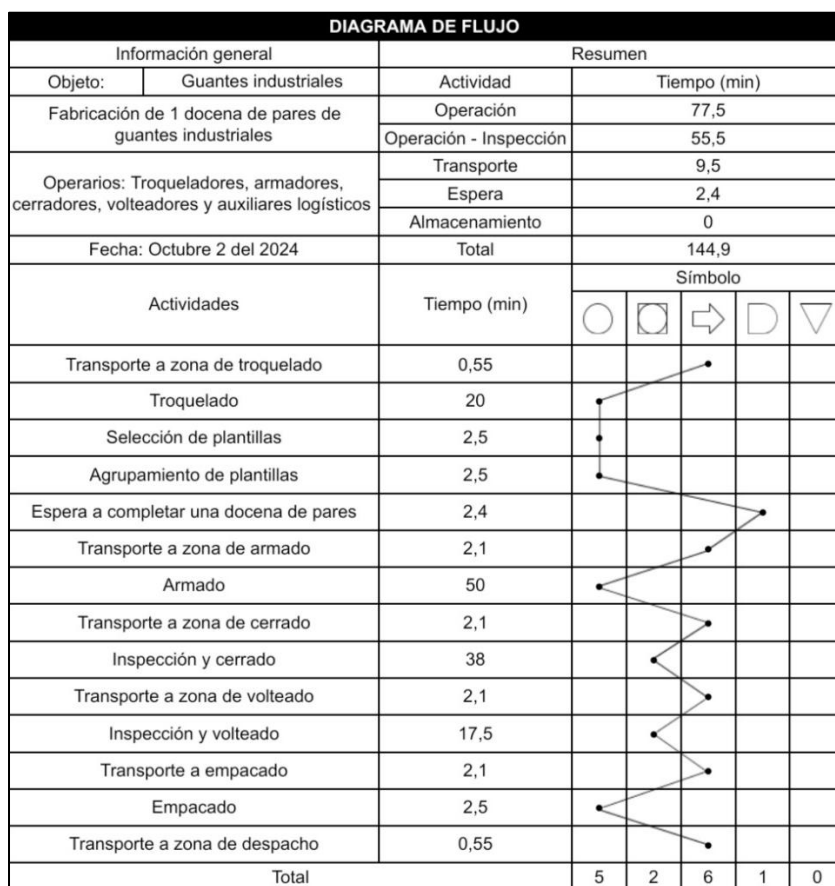
		2	
		3	
FCFS	100%	4	1,2,3,4,5
		5	
		6	
		2	2,3,1,5,4,5
		3	2,3,5,1,5,4
FCFS	50%	4	2,5,3,5,1,4
		5	
		6	2,5,3,5,4,1
		2	
		3	2,3,4,5,1
FCFS	25%	4	
		5	4,2,3,5,1
		6	4,5,2,3,1
		2	
		3	
LIFO	100%	4	5,4,3,2,1
		5	
		6	
		2	
		3	
LIFO	50%	4	5,4,3,2,1
		5	
		6	
		2	
		3	5,2,3,4,1
		4	
LIFO	25%	5	
		6	5,4,2,3,1

SPT	100%	2	
		3	
		4	5,2,3,4,1
		5	
		6	
SPT	50%	2	
		3	
		4	5,2,3,4,1
		5	
		6	
SPT	25%	2	
		3	5,2,3,4,1
		4	
		5	
		6	5,4,2,3,1
LPT	100%	2	
		3	
		4	1,4,3,2,5
		5	
		6	
LPT	50%	2	4,1,3,5,2,5
		3	4,3,1,5,5,2
		4	4,3,5,1,5,2
		5	
		6	4,5,3,5,1,2
LPT	25%	2	
		3	2,3,4,5,1
		4	
		5	4,2,3,5,1
		6	4,5,2,3,1

Tabla 16. Demandas y fechas de entrega por trabajo para los casos 2 y 3.

Trabajos	Demanda (pares de guantes)		Fecha de entrega (horas)	
	Caso 2	Caso 3	Caso 2	Caso 3
1	512	620	413	543
2	600	239	520	455
3	404	302	380	200
4	468	127	250	290
5	391	550	700	621

9.2. Anexo B

**Figura 12.** Diagrama de flujo

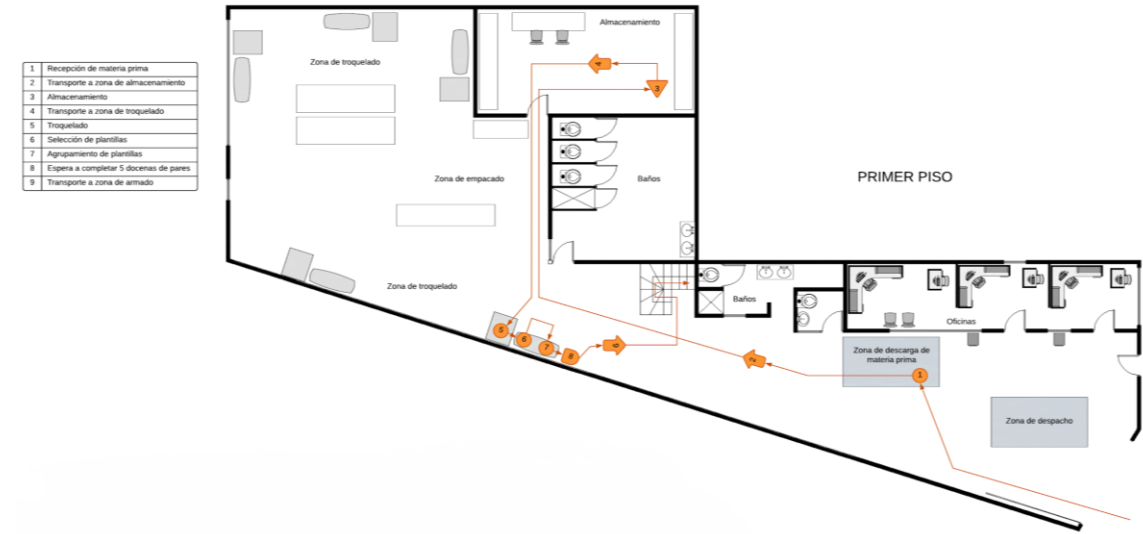


Figura 13. Diagrama de recorrido del primer piso

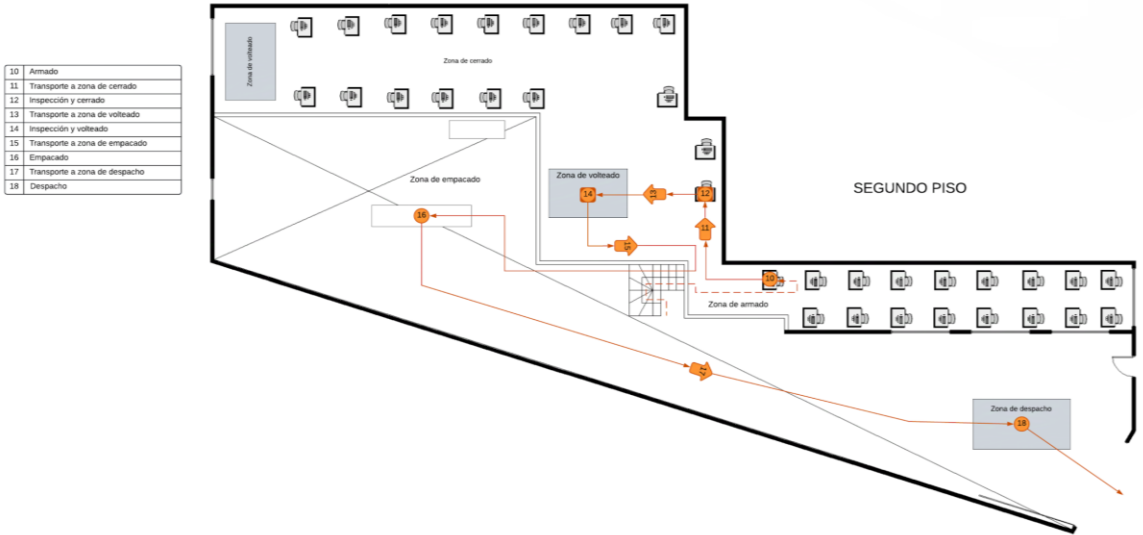


Figura 14. Diagrama de recorrido del segundo piso

DIAGRAMA HOMBRE - MÁQUINA				
Hoja N° __1__ De: __1__ Diagrama N°: __1__			Proceso: Troquelado	
Fecha:	octubre - 2024		Operario:	
Área:				
Operario			Máquina 1	
Tiempo	Uso	Actividad	Uso	Actividad
5	x	Cortar el cuero		
10			x	Troquelado del cuero
15			x	
20			x	
25			x	
30	x	Selección de piezas		
	x	Transportar el cuero al area de armado		

Figura 15. Diagrama hombre-máquina del proceso de troquelado

DIAGRAMA HOMBRE - MÁQUINA				
Hoja N° __1__ De: __1__ Diagrama N°: __2__			Proceso: Armado	
Fecha:	octubre - 2024		Operario:	
Área:				
Operario			Máquina 1	
Tiempo	Uso	Actividad	Uso	Actividad
5			x	Armado
10			x	
15			x	
20			x	
25			x	
30			x	
35			x	
40			x	
45			x	
50	x	Transporte a zona de cerrado		

Figura 16. Diagrama hombre-máquina del proceso de armado

DIAGRAMA HOMBRE - MÁQUINA				
Hoja N° __1__ De: __1__ Diagrama N°: __3__			Proceso: Cerrado	
Fecha:	octubre - 2024		Operario:	
Área:			Máquina 1	
Operario			Máquina 1	
Tiempo	Uso	Actividad	Uso	Actividad
5	x	Separar las partes unidas por hilo		
10			x	
15			x	
20			x	
25			x	
30			x	
35			x	
40			x	
45			x	
50	x	Transporte al área de volteado		

Figura 17. Diagrama hombre-máquina del proceso de cerrado

DIAGRAMA HOMBRE - MÁQUINA				
Hoja N° __1__ De: __1__ Diagrama N°: __4__			Proceso: Volteado	
Fecha:	octubre - 2024		Operario:	
Área:			Máquina 1	
Operario			Máquina 1	
Tiempo	Uso	Actividad	Uso	Actividad
5	x	Revisión de las docenas de pares		
10			x	
15			x	
20			x	
25	x	Organización de los guantes por docenas de pares		
	x	Transporte a zona de empacado		

Figura 18. Diagrama hombre-máquina del proceso de volteado

DIAGRAMA HOMBRE - MÁQUINA				
Hoja N° __1__ De: __1__ Diagrama N°: __5__			Proceso: Empacado	
Fecha:	octubre - 2024			
Área:			Operario:	
	Operario		Máquina 1	
Tiempo	Uso	Actividad	Uso	Actividad
5			x	Empacado
	x	Transporte a zona de despacho		

Figura 19. Diagrama hombre-máquina del proceso de empacado