



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**Balanceo de módulos de trabajo como estrategia para incrementar la eficiencia en la
producción de calzado en la empresa Cueros Vélez S.A.S**

Valentina Guarín Franco

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera Industrial

Modalidad de Práctica

Semestre de Industria

Orientador

Carmen Elena Patiño Rodríguez, PhD

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Industrial

Medellín

2026



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

Cita

(Guarin Franco, 2026)

Referencia

Guarin Franco, V. (2026). *Balanceo de módulos de trabajo como estrategia para incrementar la eficiencia en la producción de calzado en la empresa Cueros Vélez S.A.S* [Informe de práctica]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

Estilo APA 7 (2020)



Centro de Documentación de Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

A mi familia, por su apoyo incondicional y motivación durante este proceso académico;
especialmente a mi padre, quien desde el Cielo celebra este logro conmigo.

Agradecimientos

Agradezco en primer lugar a Dios por brindarme la fortaleza, la constancia y la sabiduría necesarias para culminar este proceso académico.

A la Universidad de Antioquia, por la formación académica y humana recibida, cuyas enseñanzas han sido fundamentales para mi desarrollo personal y profesional. Expreso también mi sincero agradecimiento a la profesora Carmen Patiño por su acompañamiento, orientación y valiosos consejos durante esta etapa de práctica académica, así como por los conocimientos compartidos a lo largo de mi formación profesional. De igual manera, extendiendo mi gratitud a todos los docentes que, a lo largo de mi vida universitaria, contribuyeron significativamente a mi desarrollo académico.

Expreso un especial agradecimiento a Cueros Vélez, y en particular a Laura Taborda y Sebastián Carvajal, por la confianza depositada en mí y por brindarme la oportunidad de vincularme a su equipo y a los proyectos desarrollados dentro de la empresa. Guardo con especial aprecio cada experiencia vivida en la planta de calzado, así como los consejos y momentos compartidos con mis compañeros, quienes me enseñaron el valor y la importancia de construir un sólido equipo de trabajo.

Asimismo, agradezco de manera especial a mis compañeros de carrera, por acompañarme durante este proceso, por el apoyo constante, las largas jornadas de estudio, los retos compartidos y las experiencias que fortalecieron no solo mi formación profesional, sino también mis valores humanos. Cada uno dejó una huella significativa en este recorrido.

Por último, agradezco profundamente a mi familia por su apoyo incondicional a lo largo de este proceso académico; sin la fortaleza y los valores que me han transmitido, no habría sido posible alcanzar este logro.

Tabla de contenido

Resumen	11
Abstract	12
1. Introducción	13
2. Objetivos	15
2.1 Objetivo general	15
2.2 Objetivos específicos.....	15
3. Marco Teórico	16
3.1. Estudio del Trabajo y Medición de Tiempos	16
3.2. Estudio de Tiempos y Movimientos.....	16
3.2.1 Tiempos Estándar.....	17
3.2.2. Asignación de Suplementos.....	17
3.3. Balanceo de Líneas de Producción.....	18
3.3.1. Tipos de Balanceo de Línea.....	18
Simple Assembly Line Balancing Problem type 1 (SALBP-1).	19
Simple Assembly Line Balancing Problem type 2 (SALBP-2).	19
Simple Assembly Line Balancing Problem type E (SALBP-E)	19
Simple Assembly Line Balancing Problem type F (SALBP-F).....	19
U-line Assembly Line Balancing Problem (UALBP U-line).....	19
Mixed model Assembly Line Balancing Problem (MALBP).	20
Robotic Assembly Line Balancing Problem (RALBP).....	20
Multi-objective Assembly Line Balancing Problem (MOALBP).....	20
Tiempo de Ciclo.	20

Estaciones.....	20
Carga de Trabajo.	20
Tiempo Ocioso.	20
3.3.2. Productividad y Eficiencia en Operaciones Industriales	21
3.3.3. Métodos y Técnicas de Balanceo de Línea.....	22
Largest Candidate Rule (LCR).....	22
Método Kilbridge y Wester.....	22
Ranked Positional Weight (RPW).....	22
3.4. Flujo del Proceso y Precedencias Operativas.....	22
3.4.1. Diagrama de precedencias	23
2.4 Producción de calzado.....	23
4. Metodología	26
4.1. Diagnóstico del proceso	28
4.1.1. AMEF	28
4.1.2. Diagrama Ishikawa	29
4.2. Análisis de la información.....	29
4.3. Diseño de propuestas.....	30
4.4 Fase 4. Piloto de aplicación.....	30
4.4.1. Asignación de tareas con flujo óptimo.....	30
4.4.2. Corrección de tiempos anteriormente estructurado	30
4.4.3. Documentación	31
5. Análisis de resultados	32

5.1. Estudiar los tiempos y movimientos de las operaciones que competen al proceso de guarnecida y preguarnecida.....	32
5.1.1. Preguarnecida.....	32
5.1.2. Guarnecida	34
5.2. Estudiar el comportamiento de las referencias trabajadas con relación a la eficiencia de los módulos de trabajo.	37
5.2.1. Guarnecida	37
5.3 Analizar el flujo y las precedencias de las operaciones asignadas a los colaboradores.	40
6. Conclusiones y recomendaciones.....	42
Referencias	44
Anexos.....	47

Lista de Figuras

Figura 1	Tipos de balanceos de línea	19
Figura 2	Esquema de operaciones.....	23
Figura 3	Fases de la metodología.....	26
Figura 4	Diagrama Ishikawa del proceso costura automática.....	33
Figura 5	<i>Resumen del balanceo antes de la corrección</i>	35
Figura 6	Resumen del balanceo después de la corrección	35
Figura 7	Eficiencia 1035024	36
Figura 8	Comparativo de eficiencia tras corrección	36
Figura 9	Diagrama de Pareto de Ineficiencia por línea.....	37
Figura 10	Eficiencia por línea	39
Figura 11	Pareto de Ineficiencia por referencia	40
Figura 12	Resumen de resultado para kit de estandarización	41

Lista de Tablas

Tabla 1 Detalle de la metodología.....27

Tabla 2 Matriz de tolerancia.....38

Tabla 3 Eficiencia por línea.....38

Siglas, acrónimos y abreviaturas

GALBP	<i>General Assembly Line Balancing Problem</i>
LCR	<i>Largest Candidate Rule</i>
MALBP	<i>Mixed model Assembly Line Balancing Problem</i>
MOALBP	<i>Multi-objective Assembly Line Balancing Problem</i>
RALBP	<i>Robotic Assembly Line Balancing Problem</i>
RPW	<i>Ranked Positional Weight</i>
SALBP	<i>Simple Assembly Line Balancing Problem</i>
SAM	<i>Standard Allowed Minutes</i>
SALBP-1	<i>Simple Assembly Line Balancing Problem Type 1</i>
SALBP-2	<i>Simple Assembly Line Balancing Problem Type 2</i>
SALBP-E	<i>Simple Assembly Line Balancing Problem Type E</i>
SALBP-F	<i>Simple Assembly Line Balancing Problem Type F</i>
UALBP	<i>U-line Assembly Line Balancing Problem</i>

Resumen

El presente proyecto se desarrolla en la planta de calzado de Cueros Vélez S.A.S, específicamente en las áreas de preguarnecida y guarnecida, las cuales son esenciales en el proceso de producción del calzado, dado que influyen directamente en la calidad del producto final y representan un alto porcentaje del tiempo total de fabricación. Es por tanto que el objetivo principal es diseñar un balanceo de línea que permita mejorar la eficiencia y estabilidad de los módulos de trabajo, a través de una mejor distribución de las tareas entre los operarios. La metodología contempla un diagnóstico inicial de la situación actual, el análisis de tiempos, movimientos y flujos de proceso, el diseño de propuestas de balanceo, su implementación piloto en líneas seleccionadas y una evaluación comparativa de los indicadores de eficiencia antes y después de la intervención. Con la ejecución del proyecto se espera lograr un incremento en la productividad, la estabilización de la eficiencia en los módulos, la reducción de reprocesos y una mejor organización del trabajo, generando además insumos para extender el balanceo a otras referencias y áreas de la planta.

Palabras clave: Eficiencia, balanceo de líneas, métodos y tiempos, productividad, producción, manufactura, calzado.

Abstract

This project was developed at the footwear manufacturing plant of Cueros Vélez S.A.S., specifically in the pre-assembly and assembly areas, which are essential in the footwear production process, as they directly influence the quality of the final product and represent a high percentage of the total manufacturing time. Therefore, the main objective of this project is to design a line balancing proposal aimed at improving the efficiency and stability of the work modules through better distribution of tasks among operators.

The methodology includes an initial diagnosis of the current situation, the analysis of times, motions, and process flows, the design of line balancing proposals, their pilot implementation in selected production lines, and a comparative evaluation of efficiency indicators before and after the intervention. The execution of this project is expected to result in increased productivity, stabilization of module efficiency, reduction of rework, and improved work organization, while also providing inputs to extend line balancing to other product references and areas of the plant.

Keywords: Efficiency, line balancing, work measurement, productivity, production, manufacturing, footwear.

1. Introducción

Cueros Vélez S.A.S es una empresa dedicada a la producción y comercialización de artículos de moda derivados del cuero, entre los que se incluyen prendas de vestir, calzado y marroquinería. Sus procesos productivos abarcan toda la cadena de valor: desde la fabricación del cuero, pasando por su transformación en producto terminado, hasta la distribución final en los diferentes puntos de venta.

Al tratarse de una gran empresa, Cueros Vélez cuenta con múltiples gerencias y áreas que soportan su operación. El presente proyecto se desarrolla en la Gerencia de Manufactura, conformada por las plantas y áreas de calzado, cinturones, bolsos, marroquinería, corte, mantenimiento, curtiembre e ingeniería de procesos. En particular, este trabajo se centra en la planta de calzado, espacio donde se fabrica una amplia variedad de referencias de la marca. Esta planta se encuentra organizada en las áreas de: suelas, preguarnecida, guarnecida y soladura.

El área de preguarnecida se encarga de darle la preparación inicial a las piezas que llegan de corte para que posteriormente sean ensambladas en el área de guarnecida. Siendo así, estas áreas son de vital importancia para el proceso productivo del calzado, pues influyen de manera representativa en la calidad percibida por el cliente y abarca un alto porcentaje del tiempo total de fabricación.

En esta planta de producción, uno de los indicadores más relevantes es la eficiencia, entendida como la relación entre los minutos disponibles de los colaboradores y el tiempo realmente invertido en completar sus tareas. Este indicador se mide de forma particular en cada línea de trabajo, ya que la producción se organiza bajo un sistema modular.

Ahora bien, se ha evidenciado que hay líneas de ensamble que constantemente tienen eficiencias por debajo de los niveles esperados y que una de las razones principales de esto es la

deficiencia del balanceo de tareas asignadas en cada módulo. Teniendo esto en cuenta, el presente proyecto buscará analizar y buscar oportunidades de mejora relacionadas al balanceo de cada una de las líneas en las áreas de la planta, con el fin de mejorar la distribución de tareas y a su vez, alcanzar estabilidad y/o aumento de la eficiencia en los procesos.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Diseñar un balanceo de línea para mejorar la eficiencia de las líneas pertenecientes a las áreas de guarnecida y preguarnecida de la planta de calzado de Cueros Vélez S.A.S.

2.2 Objetivos específicos

- Estudiar los tiempos y movimientos de las operaciones que competen al proceso de guarnecida y preguarnecida.
- Estudiar el comportamiento de las referencias trabajadas con relación a la eficiencia de los módulos de trabajo.
- Analizar el flujo y las precedencias de las operaciones asignadas a los colaboradores.

3. Marco Teórico

3.1. Estudio del Trabajo y Medición de Tiempos

La industria manufacturera enfrenta de manera constante grandes retos, principalmente debido a la alta competitividad del mercado y a la velocidad con la que evoluciona. Por tal razón, la productividad y la eficiencia de los procesos se convierten en ejes fundamentales dentro de las decisiones estratégicas de las organizaciones.

Algunas de las estrategias más relevantes para abordar estos desafíos se basan en teorías tradicionales de la ingeniería industrial, como el balanceo de líneas de producción y el estudio de métodos y tiempos. Cabe resaltar que, a pesar del paso de los años, estas herramientas continúan vigentes y demuestran ser de gran utilidad para el mejoramiento de la producción en las empresas.

3.2. Estudio de Tiempos y Movimientos

El estudio de los tiempos de las operaciones desempeña un papel importante dentro de la gestión de la producción, es aplicado comúnmente en procesos de fabricación repetitivos, ya que permite disminuir el desperdicio de tiempo, facilitar las labores de los trabajadores e identificar posibles dificultades dentro del desarrollo de la producción (Baykasoğlu, Şenol, & Kayhan, 2026).

Este tipo de estudios busca determinar el tiempo promedio que un trabajador promedio requiere para llevar a cabo un proceso o actividad, de esta manera se puede obtener el tiempo estándar de los procesos lo cual es esencial para la planificación y el control de la producción (Teshome, Meles, & Yang, 2024).

Por otro lado, el estudio del método de trabajo se hace mediante la observación de las operaciones y tiene como objetivo identificar características de los movimientos para estandarizar

los óptimos para el proceso, de esta forma se identifican y eliminan o cambian operaciones innecesarias o perjudiciales para los procesos (Ramírez Jaramillo et al., 2019).

El estudio de métodos generalmente va acompañado del estudio de tiempos, pues son complementarios, dado que los datos proporcionados por el estudio de tiempo, permite mostrar los resultados que generan las mejoras en los métodos y la estandarización de estos (Ramírez Jaramillo et al., 2019). Algunos de los pioneros en este tema son Frederick Taylor, Lilliam y Frank Gilbreth y Henri Fayol, a partir de sus aportes y los avances contemporáneos se pueden mencionar algunos términos importantes.

3.2.1 Tiempos Estándar

Es el tiempo necesario para que un trabajador realice una operación determinada (Coats Digital, 2023), en el sector de confección hay un tiempo que se utiliza con frecuencia, es el *Standard Allowed Minute* (SAM), el cual es usado para datar el contenido de trabajo de una prenda, es de gran utilidad pues permite calcular las capacidades de las máquinas y los costeo por unidad (Abtew et al., 2020)

3.2.2. Asignación de Suplementos

Primero, se debe escoger un operario al cual se le medirán los tiempos, este debe ser alguien que cumpla con un rendimiento estándar o también se le puede asignar un porcentaje subjetivo según su ritmo de trabajo.

Luego, se le asignan suplementos, los cuales son constantes y variables, los constantes son aquellos atribuidos a las necesidades personales y fatiga, mientras que los variables se dan según la posición de trabajo, condiciones del ambiente, sexo y otros criterios que el observador considere importante.

3.3. Balanceo de Líneas de Producción

Una de las principales dificultades en la industria consiste en incrementar la producción utilizando la menor cantidad posible de recursos, ya sean tiempo, dinero o esfuerzo operativo (Teshome, Meles, & Yang, 2024). Ante esto, resulta fundamental encontrar un equilibrio que permita alcanzar dicho objetivo (Orjuela-Cabrera et al., 2019). Ante esto, surgen los balanceos de línea, estrategia que busca asignar a cada operario una carga de trabajo equivalente, o en su defecto, procurar que las diferencias en los tiempos de ejecución entre ellos sean mínimas (López-Rocha et al. 2024).

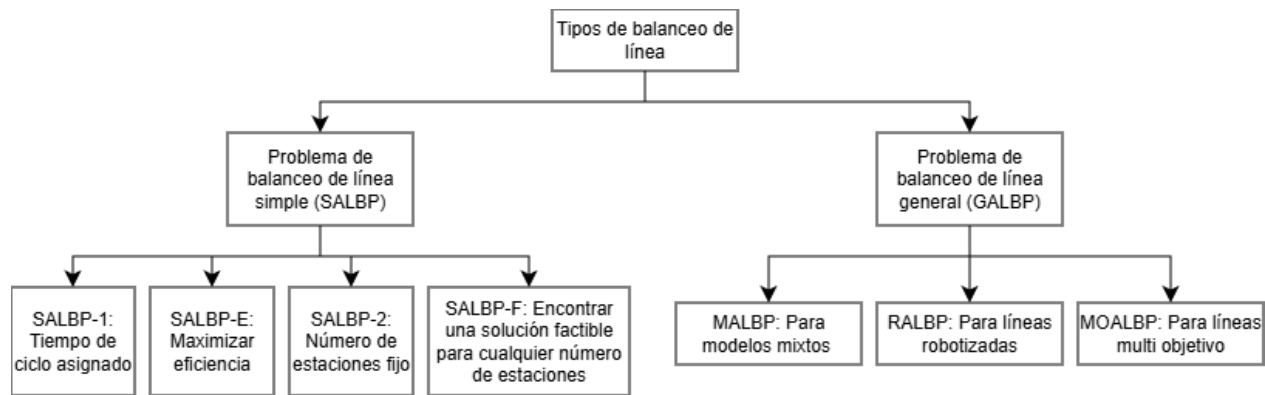
Una característica del sector confección y que compete también al calzado, es que son procesos complejos de muchas operaciones, lo cual implica muchos parámetros y capacidades de la persona, además, mejorar los factores que afectan el balanceo se traducen en efectos positivos para la eficiencia y la calidad (Teshome, Meles, & Yang, 2024).

3.3.1. Tipos de Balanceo de Línea

El problema del balanceo de líneas consta de dos tipos, el problema de balanceo de línea simple (SALBP, por sus siglas en inglés) o problema de balanceo de línea general (GALBP, por sus siglas en inglés). Los cuales a su vez se dividen en diversos casos (Baybars, 1986), estos, se detallan mejor en la **Figura 1**.

Figura 1

Tipos de balanceos de línea



Según Restrepo et al. (2008), están los problemas de balanceo de línea simple y general, los cuales se explican a continuación:

Simple Assembly Line Balancing Problem Type 1 (SALBP-1). Busca minimizar el número de estaciones conforme a un tiempo de ciclo dado (Orjuela-Cabrera et al., 2019).

Simple Assembly Line Balancing Problem Type 2 (SALBP-2). Partiendo de un número de estaciones, busca minimizar el tiempo de ciclo

Simple Assembly Line Balancing Problem Type E (SALBP-E). Tiene como objetivo maximizar la eficiencia de la línea, mientras minimiza el producto entre el número de estaciones y el tiempo de ciclo

Simple Assembly Line Balancing Problem type F (SALBP-F). Busca encontrar si existe una solución factible para cualquier combinación de tiempo de ciclo y número de estaciones

U-line Assembly Line Balancing Problem (UALBP U-line). Sirve para líneas tipo U, es decir, con procesos en paralelo. En este caso hay múltiples posibilidades para la asignación de tareas y puede complementarse con los casos SALBP-1, SALBP-2, SABP-E Y SALBP-F

Mixed model Assembly Line Balancing Problem (MALBP). Se caracteriza por tener fabricar unidades de diversos modelos de un producto en secuencia aleatoria, es decir, una producción muy flexible.

Robotic Assembly Line Balancing Problem (RALBP). Se da en líneas de producción que combinan mano de obra humana y robótica, se asignan entonces tareas para ambos.

Multi-objective Assembly Line Balancing Problem (MOALBP). Busca varios objetivos a la vez, es decir, minimizar el número de estaciones y el número de estaciones a la vez.

Este estudio, se enfocó en el caso SALBP-2, en el cual se asigna un tiempo de ciclo según la operación más larga y conforme a este, se distribuyen las tareas, de tal forma que cada estación realice tareas con un máximo de este tiempo (Restrepo et al., 2008).

Hay algunos datos claves con los cuales se debe contar para realizar un balanceo de línea, es allí donde se vincula con el estudio de tiempos.

Tiempo de Ciclo. Es la duración necesaria para completar cada tarea en una línea de producción (Teshome, Meles, & Yang, 2024).

Estaciones. Es la parte de la línea donde se llevan a cabo las tareas, pueden estar compuestas por operarios, ya sea de humano robótico y máquinas o procesos (Restrepo Correa et al., 2006).

Carga de Trabajo. Es la agrupación de tareas necesarias para la realización de la operación, las cuales se asignan a una estación (Teshome, Meles, & Yang, 2024).

Tiempo Ocioso. Es el tiempo en el que no queda asignada una tarea, calculado como la diferencia entre el tiempo de ciclo y los tiempos asignados a cada estación, se busca que el tiempo ocioso sea mínimo (Restrepo Correa et al., 2006).

3.3.2. Productividad y Eficiencia en Operaciones Industriales

Uno de los indicadores más significativos para medir las líneas de producción en la empresa es la eficiencia, Según la RAE (2025), eficiencia significa “capacidad de lograr los resultados deseados con el mínimo posible de recursos”. Bajo estos lineamientos, la medición de la eficiencia en este caso puntual es la relación entre tiempo establecido para producir la referencia de calzado indicado, entre el tiempo que la línea utilizó para esta.

$$Eficiencia = \frac{Minutos\ disponibles}{Minutos\ ocupados}$$

Los minutos disponibles son el tiempo estándar que se demoraría un módulo en hacer determinada cantidad de pares, este dato se obtiene según los balances anteriormente mencionados, a los cuales se les llama meta. Mientras que los minutos ocupados son el tiempo que ellos utilizaron realmente para fabricar el mismo número de pares.

En el contexto del balanceo de línea, se define como el punto en que la línea pueda alcanzar la máxima producción, minimizando el tiempo de desperdicio e inactividad. Este indicador es valioso para medir la productividad, como se menciona anteriormente, el punto de referencia del rendimiento es del 100%, es decir, que en cuanto la eficiencia más se acerque al 100% quiere decir que su rendimiento es óptimo, de esta manera, algunas estrategias para mejorar la eficiencia constan de reducir tiempo de inactividad, correcta secuencia de las tareas, capacitación de los trabajadores y la gestión de cuellos de botella (Teshome, Meles, & Yang, 2024).

3.3.3. Métodos y Técnicas de Balanceo de Línea

Largest Candidate Rule (LCR). Este método garantiza un flujo continuo del trabajo en proceso (WIP) en la línea, en este método, las operaciones cumplen con relación de precedencia y se asignan en función del tiempo de la tarea (Ayat et al., 2017). Según Saurabh, 2017 un paso a seguir para implementar el primer paso es, ordenar operaciones en orden descendente en función de la duración de esta, posteriormente, asignar una operación a la estación siempre y cuando no supere el tiempo de ciclo, sin embargo, debe cumplir con el requisito de precedencia según la operación inicial.

Método Kilbridge y Wester. Para este caso, los elementos se asignan a las estaciones teniendo como método de selección la posición en el diagrama de precedencia, por lo tanto, para la aplicación de este método se necesita, nombrar las operaciones y asignarles su precedencia, de igual forma, al conformar una estación, no puede superar el tiempo de ciclo (Saurabh, 2017).

Ranked Positional Weight (RPW). Se podría decir que este es una mezcla entre el método LCR y Kilbridge y Wester, ya que sus elementos, así como en LCR se ordenan de forma descendente según su peso posicional, es decir, según la diferencia entre el tiempo total y el tiempo de la operación (Saurabh, 2017).

3.4. Flujo del Proceso y Precedencias Operativas

La secuencia en que se realizan las tareas dentro del proceso productivo es fundamental para garantizar un flujo continuo y planear la producción, además cumple un papel crucial en cuanto a la eficiencia del balanceo de línea pues el hecho de reducir tiempos de una tarea se entenderá como una mejora general de la eficiencia (Teshome, Meles, & Yang, 2024). Para garantizar el flujo, se recurre a la observación para más tarde documentar y estandarizar la

secuencia de las operaciones, para ello se utilizan múltiples diagramas, como los diagramas de precedencias, diagramas de recorrido y diagramas de flujo

3.4.1. Diagrama de precedencias

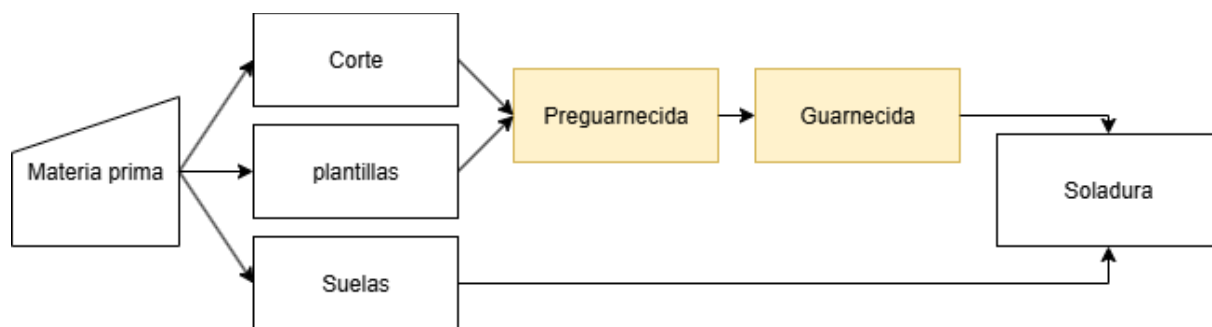
Ilustra la secuencia de tareas, teniendo en cuenta cuales procesos deben ir antes que otros o tienen un requisito con cierta operación, es de gran ayuda este diagrama para ordenar las operaciones, identificar y evitar cuellos de botella (Teshome, Meles, & Yang, 2024).

2.4 Producción de calzado

La industria de la moda tiene gran relevancia en Colombia, moviendo significativamente la economía del país, equivaliendo al 10% del PIB industria (Inexmoda, 2025). Dentro de esta industria, encontramos el sector de calzado, el cual tiene un alto impacto en la economía del país (Colombia productiva, s/f) y un papel representativo dentro de la producción de Cueros Vélez S.A.S. De manera sucinta, en la **Figura 2**, se representa un diagrama de las operaciones del proceso de calzado.

Figura 2

Esquema de operaciones



Luego de la llegada de la materia prima e insumos para la elaboración del producto, el cuero y demás implementos textiles pasan al área de corte, posteriormente estas piezas cortadas llegan al área de preguarneada donde se le hacen los procesos iniciales, estos implementos se

dirigen al área de guarnecida, donde se da el armado y costura de las pizas para construir la capellada. Por último, en soladura se ensambla las suelas y la capellada obteniendo así el producto final.

El área de preguarnecida hace referencia a los procesos que se realizan con anterioridad a las piezas necesarias para el armado y ensamblado del zapato. Algunas de las actividades que allí intervienen son:

- Marcación laser: El nombre de la marca se rotula en el cuero externo
- Adhesión de transfer: Se pega la etiqueta que indica talla y materiales del zapato a una de las piezas indicadas para ello.
- Camoga: Calibra el grosor del cuero según la indicación del instructivo
- Rayado de piezas: Se hacen las marcaciones guía para el armado y costura
- Tintada: Se tintura el borde del cuero cuando sea necesario
- Sublimado: Se adhiere a calor refuerzos de puntera o demás partes que lo necesiten
- Costura automática: Se hacen costuras o perforaciones especiales en cuanto a diseño del zapato

Por otro lado, el área de guarnecida es quien recibe las piezas procesadas en preguarnecida para ser armadas y cosidas. Esta área consta de varios módulos de trabajo, cada uno compuesto de cinco operarios, a quienes se les asignan tareas de diversas referencias de zapatos que maneja la empresa, los cuales deben seguir el instructivo de la construcción de la capellada y alcanzar unas metas de pares por turno.

La producción modular o también llamada fabricación celular es un tipo de producción utilizado frecuentemente en el sector confección y calzado, gracias a que aporta flexibilidad, lo cual es una característica de este tipo de industria dada a sus referencias y modelos cambiantes.

Balanceo de módulos de trabajo como estrategia para incrementar la eficiencia en la producción de calzado en la empresa Cueros Vélez S.A.S

Este tipo de fabricación ayuda a la reducción de desperdicios, acorta los plazos de entrega y aumenta la eficiencia y calidad (Teshome, Meles, & Yang, 2024).

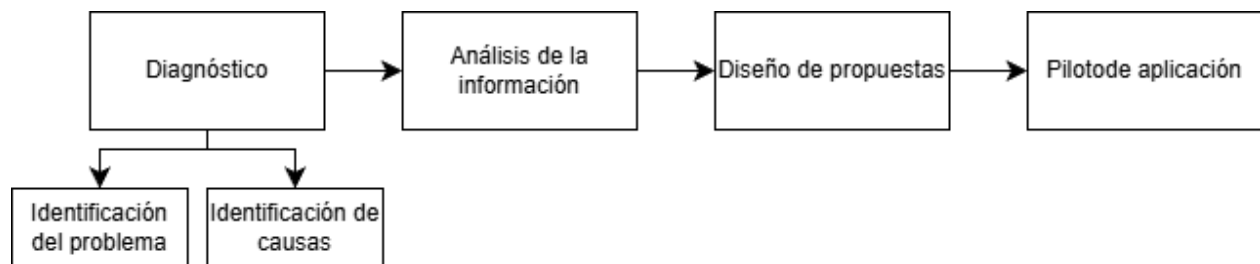
4. Metodología

El estudio se desarrolló bajo un enfoque mixto, por medio del cual se pudo analizar comportamientos dentro de las líneas de producción para generar iniciativas que mejoraran el flujo del proceso y por ende tener un crecimiento de la eficiencia. Los métodos implementaron fueron en su mayoría de carácter heurístico, pues fueron los que mejor se adaptaban a la necesidad de la planta.

El plan de trabajo se estructuró en cuatro fases, las cuales se encuentran definidas en la **Figura 3** y detalladas en la **Tabla 1**.

Figura 3

Fases de la metodología



Cada una de estas fases se sustentó en tres pilares para la recolección de información: el trabajo de campo operativo, el trabajo de campo táctico-estratégico y el análisis de datos existentes.

El trabajo de campo operativo tuvo como propósito comprender el proceso de manera directa e identificar oportunidades de mejora a partir del conocimiento de quienes lo ejecutan cotidianamente, es decir, los operarios. En esta fase se analizó la forma en que desarrollan sus actividades, las dificultades que enfrentan durante la ejecución de sus tareas, las estrategias que emplean para resolverlas y sus percepciones respecto de los problemas y las posibles soluciones.

El trabajo de campo táctico-estratégico presenta similitudes con el enfoque operativo; sin embargo, se aborda desde una perspectiva diferente. En este caso, se recurre a la experiencia de analistas, coordinadores, jefes y directores, quienes aportan una visión integral del proceso, pues, son quienes definen los objetivos y proyectos de mejora, lideran al personal y evalúan las estrategias que han resultado efectivas, así como aquellas con potencial de implementación futura.

Por último, el análisis de datos existentes consistió en la revisión sistemática de la información disponible, con el fin de identificar las causas raíz de las problemáticas detectadas. Este enfoque, predominantemente cuantitativo, permitió sustentar la toma de decisiones con mayor objetividad y certeza.

Tabla 1

Detalle de la metodología

Fase	Tareas	Recursos implementados
Diagnóstico	Identificación del problema	Observación
	Identificación de causas raíz	Diagrama ishikawa - AMEF
Análisis de la información	Estadística descriptiva de bases de datos de eficiencia histórica	SAP - Excel
Diseño de propuestas	Análisis de movimientos	Observación
	Análisis de tiempos	Observación y cronómetro
	Comportamientos del proceso	Observación y documentación
Piloto de aplicación	Asignación de tareas con flujo óptimo	Observación - Herramientas ofimáticas
	Corrección de tiempos anteriormente estructurado	Áreas involucradas
	Documentación	Herramientas ofimáticas

4.1. Diagnóstico del proceso

El objetivo de esta fase fue identificar las principales problemáticas que afectan la eficiencia de las líneas de producción en las áreas de guarnecida y preguarnecida.

Para ello, se desarrollaron actividades de observación directa en planta, orientadas a comprender el funcionamiento real de los procesos y la forma en que los operarios ejecutan sus tareas. De manera complementaria, se realizó trabajo de campo operativo mediante la interacción con los colaboradores, con el fin de identificar dificultades recurrentes, interrupciones del flujo y prácticas no estandarizadas, este tipo de grupos focales no se dan de una manera informal, mientras los operarios están haciendo sus labores, pues es una forma de poder comprender a profundidad las dificultades del proceso. En este caso, no se requería la presencia estricta de algunas personas en específico, sin embargo, si se buscó relacionamiento y este tipo de espacio con los operarios que efectúan diversas funciones dentro del proceso, como los guarnecedores, armadores, operarios de máquina y trabajadores de más tiempo en la compañía.

Como herramientas de apoyo para el diagnóstico se emplearon el Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF), el diagrama de Ishikawa y el análisis de bases de datos históricas de eficiencia, con el propósito de estructurar e identificar las posibles causas que inciden en el bajo desempeño de las líneas.

4.1.1. AMEF

Esta metodología, se implementa con la intención de estructurar las operaciones en las cuales se puede estar fallando dentro del proceso y afectan directamente a la eficiencia. Para la realización de este se cumplen los siguientes pasos:

1. Observación de la máquina en funcionamiento

2. Separación por operaciones del proceso, teniendo en cuenta que allí intervienen la operación humana y de una máquina era necesario delimitar muy bien los procesos que competen a este.
3. Para aquellas observaciones intervenidas por máquinas, se le realizó un análisis de los históricos de fallas de esta, con ayuda del área de mantenimiento quienes son los encargados de solucionar la mayoría de las fallas de la máquina. Para darle valores a los parámetros Severidad, ocurrencia y detección, se tomó como criterios, la cantidad de veces que se necesitó al área de mantenimiento para solucionar la falla y el tiempo de paro de la máquina si era el caso.
4. Las operaciones que estaban ligadas a la intervención humana, se les realizó el análisis con criterios en las fallas del proceso y bajo la información proporcionada por la observación y expresada por los operarios.

4.1.2. Diagrama Ishikawa

Como complemento del AMEF, el diagrama de ishikawa resultó útil para expresar aquellas dificultades de carácter cualitativo que también eran causas raíz de la falta de productividad de la operación, para cada una de las espigas se toman 5 de las 6M (Mano de obra, materiales, medición, método, máquina), pero se le anexa la variable tiempo, pues es de vital importancia dentro de los objetivos del proyecto y tiene un lugar representativo dentro de las dificultades del proceso.

4.2. Análisis de la información

A través de históricos de eficiencia por referencia y por líneas de producción y con ayuda de tablas dinámicas y gráficas descriptivas, se realiza un análisis con el fin de identificar

patrones, anomalías y criticidad, de esta manera se pueden corroborar hipótesis y distinguir enfoques para el proyecto.

4.3. Diseño de propuestas

Luego de recolectar información y analizarla, se proponen medidas necesarias para mitigar las fallas y consecuencias en la eficiencia, todas estas relacionadas al foco del proyecto, el balanceo de línea y el estudio de métodos y tiempos. Es en este punto en que se realizan diagramas de flujo, precedencias y desplazamientos; también comparaciones de los instructivos actuales y las tareas que realizan los operarios realmente; y por último los métodos de balanceo ya aplicados para confirmar su veracidad y buena aplicación. Algo importante es que la cultura dentro de estas áreas es un poco complicada pues en ocasiones los operarios son resistentes al cambio, esto influye en que luego de que su experiencia es generalmente empírica y adaptadora al equipo de trabajo, todos trabajan diferente; algunos cometen errores en cuanto al debido orden de las tareas y la velocidad para hacerlo.

4.4 Fase 4. Piloto de aplicación

4.4.1. Asignación de tareas con flujo óptimo

Para esta fase, se realizan formatos con los balanceos realizados, las operaciones están en orden de elaboración, se le agregan los diagramas de precedencia y de recorridos. Se escogieron dos líneas, una de un rendimiento alto y otra de medio, los primeros días hicieron las operaciones empíricamente, dos días después se les entrega la información del proceso balanceado.

4.4.2. Corrección de tiempos anteriormente estructurado

Por medio de la observación y contando con los listados operacionales realizados previamente por la empresa, se comparan referencias críticas para validar que los tiempos y operaciones tuviesen coherencia.

4.4.3. Documentación

La mayoría de los hallazgos y cosas realizadas dentro del proyecto se documentaron en bitácoras, para que en un futuro se le pueda dar continuidad a este o se pueda duplicar a otras áreas.

5. Análisis de resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en función de los objetivos que guiaron el proyecto.

5.1. Estudiar los tiempos y movimientos de las operaciones que competen al proceso de guarneceida y preguarneceida.

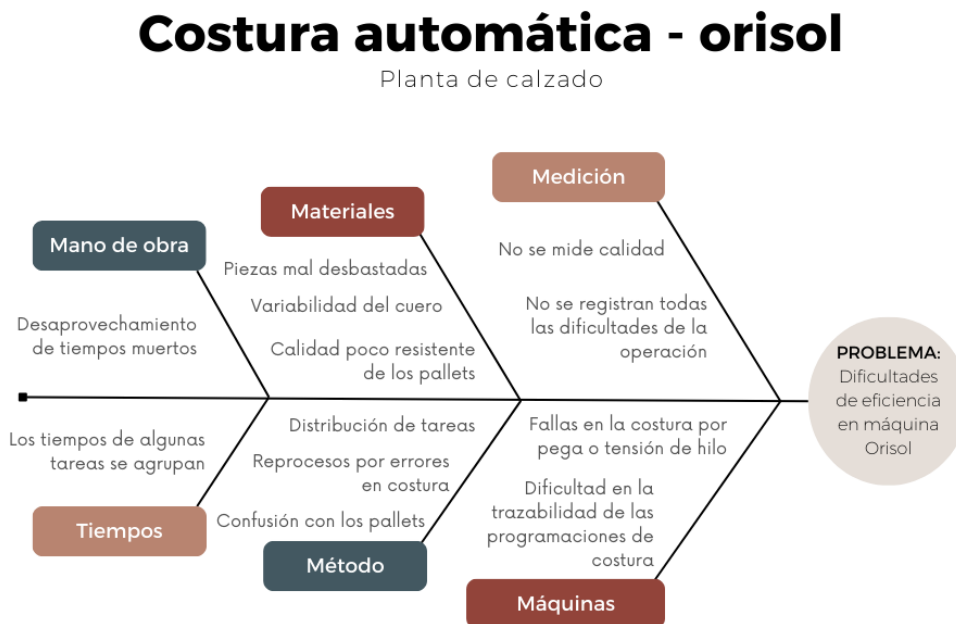
5.1.1. Preguarneceida

Con el objetivo de mejorar la eficiencia y la productividad del módulo de costuras automáticas del área de preguarneceida, se aplicó la metodología AMEF (Análisis de Modo y Efecto de Falla) con el fin de identificar las principales causales de desperdicio de tiempo durante la operación de esta máquina. Los resultados del AMEF se presentan en el Anexo 1 e indican que la causa raíz de la improductividad del proceso son dificultades propias de la programación de la máquina y el diseño de los moldes de las piezas.

Adicionalmente, se elaboró un diagrama de Ishikawa para detallar de manera estructurada las novedades que se presentan durante el proceso productivo, el cual se muestra en la **Figura 1**.

Figura 4

Diagrama Ishikawa del proceso costura automática



Fecha: Diciembre 2025
Elaboración: Valentina Guarín, Practicante

A partir de los resultados obtenidos mediante el AMEF, se evidencia que la causa raíz de la pérdida de tiempo, y por ende de la disminución de la eficiencia, está asociada principalmente a las dificultades y retrasos en las ediciones requeridas para cada referencia a procesar, así como a las condiciones de los pallets actualmente utilizados. Cabe resaltar que ambas problemáticas corresponden a áreas diferentes al departamento de producción, lo que implica que el desarrollo de las iniciativas de mejora puede ser más lento y exceder el alcance del presente proyecto.

No obstante, se han iniciado algunas acciones preliminares. Por un lado, se comenzó la gestión para la calibración de las máquinas, con el fin de que las ediciones se realicen de manera más ágil y bajo un enfoque preventivo. Por otro lado, en relación con los pallets, se dio inicio al

diseño de nuevos modelos que incorporan mejoras tanto en su diseño como en los materiales utilizados.

Adicionalmente, al observar el funcionamiento de las máquinas de costura automática y comparar su uso en Cueros Vélez con el de otras empresas del sector, se identificó una oportunidad de mejora relacionada con la eliminación de movimientos innecesarios y el aprovechamiento de ese tiempo en actividades de armado de piezas. El uso correcto de la máquina consiste en accionarla y evitar colocar las manos sobre los moldes hasta que la costura haya finalizado. Sin embargo, en la práctica actual esto no se cumple, debido al riesgo de daño en los pallets o al desplazamiento de las piezas durante la operación. Para una mayor ilustración, en el Anexo 2 se presenta la forma en que la máquina es utilizada actualmente en planta, mientras que en el Anexo 3 se muestra el método empleado en otras empresas. Cuando estos nuevos pallets estén finiquitados, se podrán hacer un piloto donde se asigne un ayudante de armado y quienes accionen la máquina puedan adelantar también en el armado.

Por último, luego de un estudio realizado con los tiempos que intervienen en este proceso, se pudo identificar que de las 7.16 horas de una jornada, aproximadamente solo 1 hora la máquina está siendo accionada, por tanto, si se optimizan los tiempos muertos y se proporciona un ayudante de armado, la producción podría aumentar hasta un 30%.

5.1.2. Guarnecida

En el contexto de estudiar los tiempos y las operaciones del proceso, mediante el trabajo de campo operativo, se identificó que algunas de las operaciones que hacían los trabajadores, no estaban en el listado operacional con el cual se calculan las metas, se hizo la validación de estas tareas y se pudieron organizar los tiempos, de esta manera, se logró aumentar la eficiencia para esta referencia.

En la **Figura 5** se puede observar el resultado del balanceo antes de la corrección y en la **Figura 6**, el nuevo balanceo, es visible que el tiempo ocioso disminuye pasa de 9% a 3% y la eficiencia de modelo aumenta cambiando del 91% a un 97%. Esto hace que la meta sea acorde a las operaciones realizadas y la eficiencia aumente. Esta referencia es muy trabajada en la planta, por lo cual los resultados de la validación tendrán alto impacto.

Figura 5

Resumen del balanceo antes de la corrección

N°	Estaciones de trabajo	Tiempo estándar	Máquinas necesarias	N° operarios teóricos (Reales)	Min estándar teórico por Operario	Tiempo que marca el ciclo	Tiempo no asignado por operario	
1	Ensamble	28,15	2	5	5,63	6,12	0,49	

Planta	CALZADO				Fecha de elaboración		
Referencia					Descripción		
N° de turnos	1				N° Operarios reales		5
Tiempo disponible turno (Min)	460				Tiempo que marca ciclo (Min)		6,12
Eficiencia Real	91%				Perdidas balanceo		9%
Meta en Unidades/Turno	76				Unidades/Hora		9,8

Figura 6

Resumen del balanceo después de la corrección

N°	Estaciones de trabajo	Tiempo estándar	Máquinas necesarias	N° operarios teóricos (Reales)	Min estándar teórico por Operario	Tiempo que marca el ciclo	Tiempo no asignado por operario	
1	Ensamble	31,502	2	5	6,30	6,51	0,21	

Planta	CALZADO				Fecha de elaboración		
Referencia					Descripción		
N° de turnos	1				N° Operarios reales		5
Tiempo disponible turno (Min)	430				Tiempo que marca ciclo (Min)		6,51
Eficiencia Real	97%				Perdidas balanceo		3%
Meta en Unidades/Turno	67				Unidades/Hora		9,2

Por otro lado, como se evidencia en la **Figura 7**, después del día 9, que fue la fecha en que se aplicó el cambio, la eficiencia general de esta referencia aumento y se mantuvo estable. En la **Figura 8**, se especifica que pasó la eficiencia pasó de un 72,6% a un 105,8%, cosa que es positiva para el área y la motivación de los operarios.

Figura 7

Eficiencia 1035024

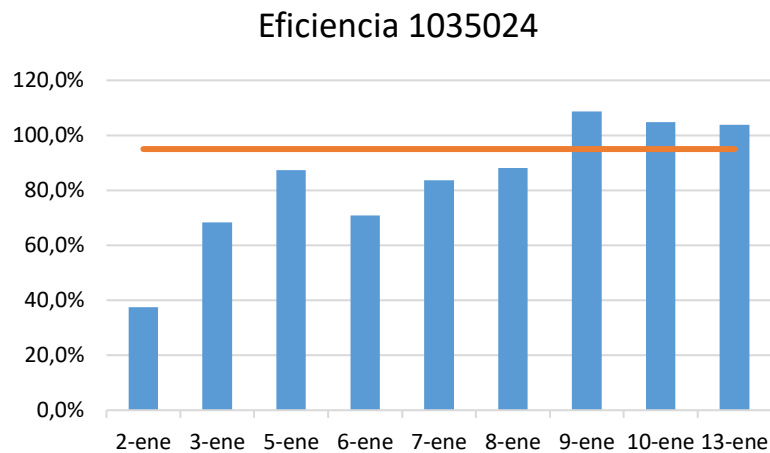
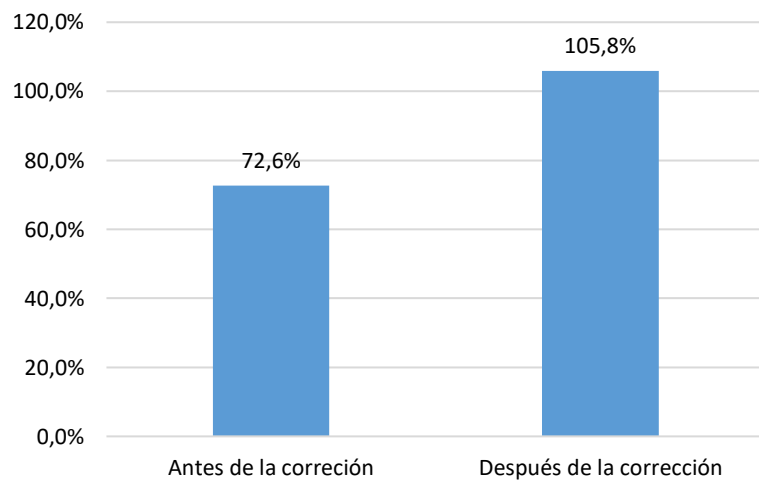


Figura 8

Comparativo de eficiencia tras corrección



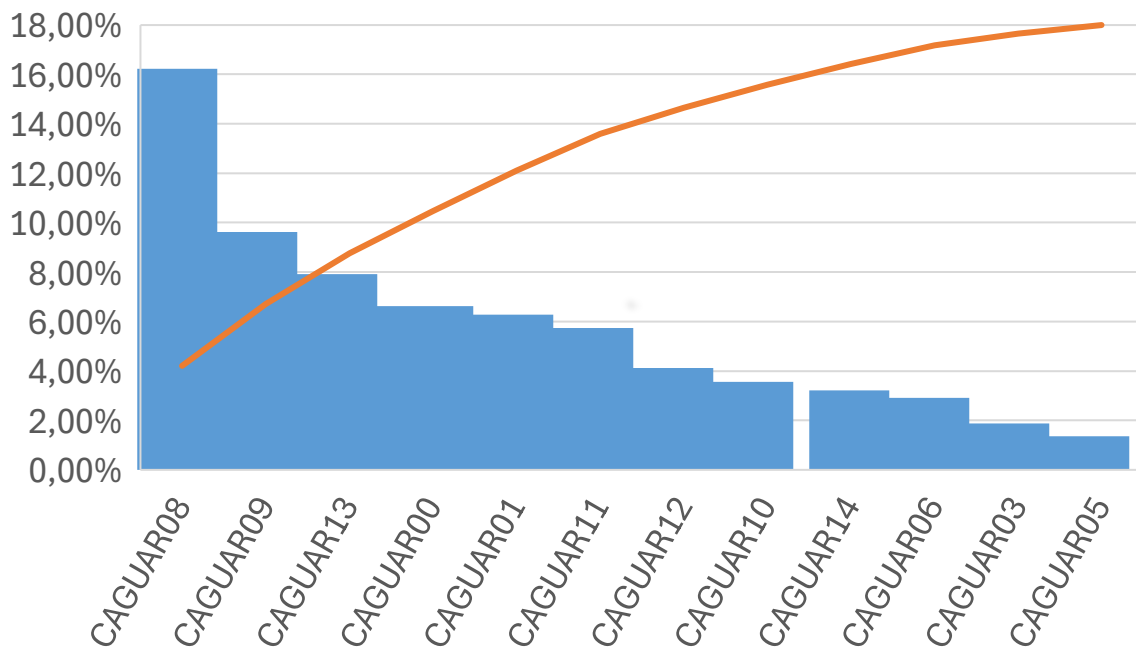
5.2. Estudiar el comportamiento de las referencias trabajadas con relación a la eficiencia de los módulos de trabajo.

5.2.1. *Guarnecida*

Se realizó un diagrama de Pareto con el fin de identificar las líneas en las cuales se debe prestar especial atención en términos de eficiencia, lo cual arrojó lo que se muestra en la **Figura 9**

Figura 9

Diagrama de Pareto de Ineficiencia por línea



Teniendo en cuenta la matriz de tolerancia parametrizada por los coordinadores del área, la cual se encuentra en la **Tabla 2**, cuyo contenido indica los criterios de clasificación según la

eficiencia. Se infiere que aquellas líneas que estén por debajo del 95% de eficiencia, serán objeto de observación.

Tabla 2

Matriz de tolerancia

< 85 %	Malo
85% - 95%	Regular
> 95 %	Bueno

Se puede observar en el diagrama de Pareto entonces que las líneas con menor eficiencia y por ende las que más afectan la eficiencia del área de la guarnecida, son los módulos 08, 09, 13, 00, 01 y 11, cuyo detalle se muestra en la **Tabla 3**.

Tabla 3

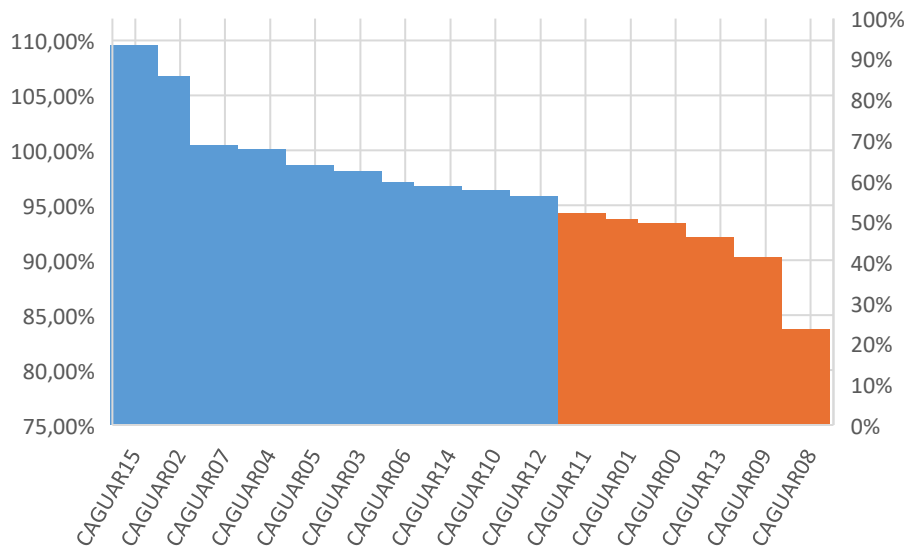
Eficiencia por línea

Línea	Eficiencia (%)
08	83,77
09	90,37
13	92,09
00	93,38
01	93,73
11	94,27

Además, la **Figura 10** ilustra la eficiencia por línea, evidenciando que la línea 15 presenta el mejor desempeño. De acuerdo con los datos y el trabajo de campo, dicha línea sea caracteriza por su experiencia en el oficio y por la cultura como equipo de “no conformismo”, es decir, buscan que su mínimo de eficiencia sea 100%, gracias a esto, mantienen eficiencias constantes por encima del 100%.

Figura 10

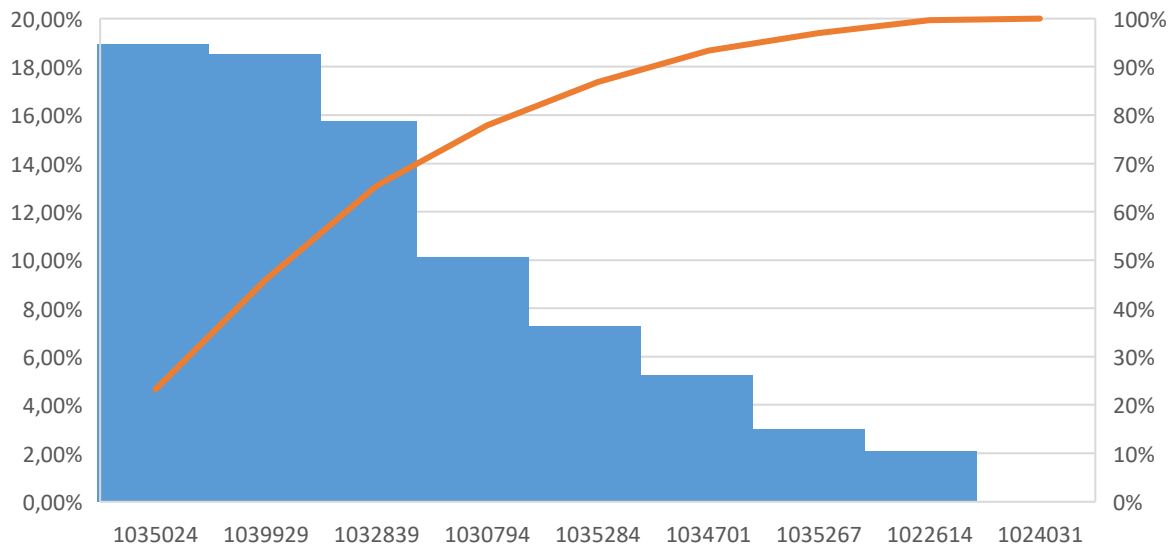
Eficiencia por línea



También se realiza un análisis por referencias, para identificar cuál de ellas afecta en mayor medida la eficiencia de las líneas, a estas las llamaremos, referencias críticas. No obstante, por la amplia cantidad de referencias que han trabajado, los datos no proporcionan información clara o relevante, por lo cual, se decide analizar las referencias para un grupo reducido, conocidos en la empresa como: “básicos e íconos”, las cuales se caracterizan por tener una periodicidad constante dentro de la planta y ser diseños simbólicos de la marca. Luego, como muestra la **Figura 11**, las referencias críticas son la 1035024, 1039929, 1032839, 1030794.

Figura 11

Pareto de Ineficiencia por referencia



Por último, a partir de esto y luego de un análisis de tablas combinadas entre eficiencia por línea y eficiencia por referencia, se obtuvo como conclusión de que para aumentar la eficiencia de la guarnecida el impacto es mayor cuando nos enfocamos en las referencias, no solo en la cooperación de las líneas de producción.

5.3 Analizar el flujo y las precedencias de las operaciones asignadas a los colaboradores.

A partir del diagnóstico para el área de guarnecida, se analizó el flujo para las algunas de las referencias críticas y otras de alta complejidad, mediante la observación de la línea con mejor eficiencia, es decir, la línea 15. Para estas, se realizaron diagramas de recorridos y detalle exhaustivo en las operaciones y tiempos con que se definen las metas de producción.

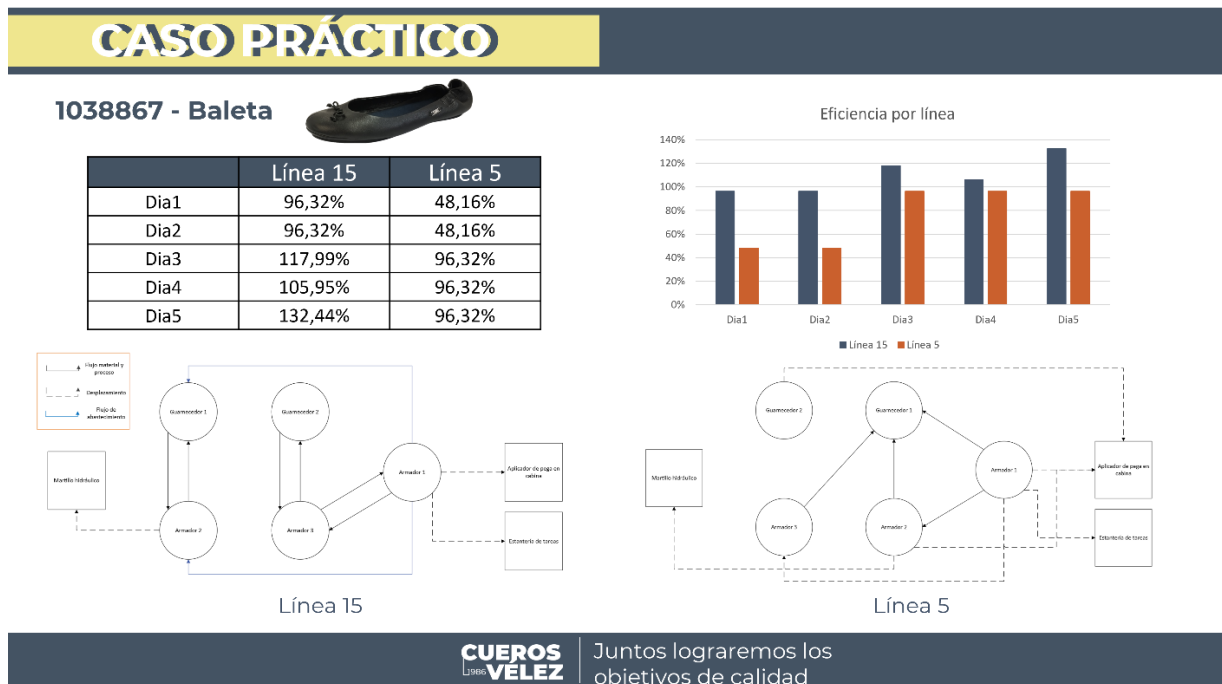
Luego de desarrollar esta información, se construyó una iniciativa llamada, “kit de estandarización”, el cuál asigna el lugar de trabajo de cada operario, los roles o tareas que este tiene como prioridad, las actividades que debe realizar, y a quién le debe entregar las piezas para la siguiente operación. Sin embargo, solo se pudo llevar a cabo un piloto parcial con una

referencia, ya que debido a novedades en la planta no se pudo hacer para todas las referencias preparadas, no obstante, la información quedó documentada para que se pueda implementar a futuro.

Por otro lado, como se menciona anteriormente, se alcanzó a aplicar una parte de esta propuesta con una referencia de alta complejidad, los resultados se muestran en la **Figura 12**, donde se evidencia que la línea a la cual se le dificultaba el proceso de ensamble de esta referencia conforme empieza a utilizar las herramientas de instrucción de flujo proporcionada, aumenta su eficiencia, sin embargo, su distribución en cuanto a movimientos es más redundante, es por esta razón que este fue un piloto parcial.

Figura 12

Resumen de resultado para kit de estandarización



6. Conclusiones y recomendaciones

Se concluye que las iniciativas enfocadas en el balanceo de línea en las áreas analizadas son viables y generan resultados positivos en términos de eficiencia y estabilidad operativa. No obstante, aún existen múltiples oportunidades de mejora que pueden ser implementadas para dar continuidad y mayor alcance a los objetivos planteados en el proyecto.

Se sugiere iniciar el estudio y aplicación de metodologías de *One Piece Flow*, con el propósito de optimizar el número de pares entregados al final de la jornada laboral. De esta manera, se busca asegurar que la mayor parte de los minutos invertidos durante el día se reflejen efectivamente en indicadores de eficiencia y productividad.

Como recomendación general, es importante resaltar que la interdisciplinariedad es un factor clave para el éxito de este tipo de proyectos. En consecuencia, resulta indispensable contar con el apoyo, la retroalimentación y la participación de diferentes áreas en la aplicación del balanceo de línea, particularmente en el caso de Cueros Vélez, con las áreas de ingeniería de producto e ingeniería de procesos, responsables de la parametrización de las tareas dentro de la planta.

Adicionalmente, se recomienda realizar revisiones periódicas de los listados operacionales, especialmente en aquellas referencias con mayor antigüedad, que suelen corresponder a productos básicos o íconos de la marca. Tal como se evidenció con la referencia 1035024, situaciones similares pueden presentarse en otras referencias y convertirse en la causa de la criticidad observada en las líneas seleccionadas.

Además, en el proceso de costuras automáticas, es fundamental dar continuidad al proyecto de mejora de pallets y de ediciones de costura, ya que esto permitirá un mejor aprovechamiento de la capacidad de la máquina. Cabe destacar que este tipo de tecnología será

determinante en el futuro de la industria del calzado, por lo que su correcta implementación resulta estratégica.

Otro aspecto importante por mencionar es que vale la pena empezar a evaluar formas de automatización del balanceo, por medio de teoría de investigación de operaciones, ya que es un proceso que se realiza de manera manual y constante, si esto se automatiza, las funciones de quienes los realizan podrían cambiar a mejor de un tipo más amplio.

Finalmente, se considera relevante continuar analizando de manera detallada el comportamiento de cada línea y referencia para desarrollar proyectos tipo evento Kaizen con la participación directa de los operarios. Esto permitirá identificar las particularidades de cada línea, promover mejoras sostenibles en la eficiencia y fortalecer el compromiso del personal con sus funciones. Este tipo de iniciativas ya se vienen implementando en el área de guarnecida, por lo que sería recomendable extenderlas a las demás áreas de la planta.

Referencias

- Abtew, M. A., Kumari, A., Babu, A., & Hong, Y. (2020). *Statistical analysis of standard allowed minute on sewing efficiency in apparel industry*. *AUTEX Research Journal*, 20(4), 359–365. <https://doi.org/10.2478/aut-2019-0045>
- Ayat, M., Sarfraz, T., Elmahim, A., & Ilyas, M. (2017, noviembre). *A case study of line balancing using Largest Candidate Rule algorithm in a manufacturing industry*. En *Proceedings of the 8th International Conference on Management Research (ICMR 2017)*, Superior University Lahore.
https://www.researchgate.net/publication/321194686_A_CASE_STUDY_OF_LINE_BALANCING_USING_LARGEST_CANDIDATE_RULE_ALGORITHM_IN_A_MANUFACTURING_INDUSTRY
- Baybars, I. (1986). *A survey of exact algorithms for the simple assembly line balancing problem*. *Management Science*, 32(8), 909–932. <https://doi.org/10.1287/mnsc.32.8.909>
- Baykasoğlu, A., Şenol, M. E., & Kayhan, B. M. (2026). *Solving assembly line balancing problems with reinforcement learning*. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*.
<https://doi.org/10.1016/j.engappai.2025.113110>
- Coats Digital. (2023, 4 de enero). *Definición de tiempo estándar*. Coats Digital.
<https://www.coatsdigital.com/es/blog/definiciones-de-tiempo-estandar/>
- Colombia Productiva. (s.f.). *Cuero, calzado y marroquinería*. Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. <https://www.colombiaproductiva.com/ptp-sectores/manufactura/cuero-calzado-marroquineria>
- Diccionario de la lengua española [RAE], 23.^a ed., [versión 23.8 en línea]. <<https://dle.rae.es>> [agosto 2025].

Inexmoda. (2025, 2 de abril). *El 2025 arrancó con pie derecho para el sistema moda*. Inexmoda.

<https://inexmoda.org.co/stories/el-2025-arranco-con-pie-derecho-para-el-sistema-moda/>

Jhan, P. S., Khan, M. S. (2017). *An experimental study on the automotive production line using assembly line balancing techniques*. 8(3), 22-23.

López Rocha, J. F., Martínez Ortega, O. F., & Gasca González, J. A. (2024). *Modelo de balanceo de línea de producción para el aumento de la productividad en una línea de calzado para caballero*. *Innovación y desarrollo tecnológico revista digital*, 16(4), 1699-1717

Ovalle Castiblanco, A. M., & Cárdenas Aguirre, D. M. (2016). *¿Qué ha pasado con la aplicación del estudio de tiempos y movimientos en las últimas dos décadas?: Revisión de la literatura*. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16(2), 12-31.

Orjuela Cabrera, J. P., & Flórez González, A. (2018). *Balanceo de líneas de producción en la industria farmacéutica mediante Programación por metas*, INGE CUC, 15(1), 109-122.
DOI: <http://doi.org/10.17981/ingecuc.15.1.2019.10>

Ramírez Jaramillo, S., Lasso Garcia, J. D., García Delgado, R. A., & Tavera, C. (2019). *Propuesta para el estudio de tiempos y movimientos en la línea 1 en la fabricación de sandalias en una PYME* (Trabajo de grado, Universidad Santiago de Cali). Repositorio Institucional Universidad Santiago de Cali.
<https://repositorio.usc.edu.co/server/api/core/bitstreams/e145efca-8bce-4196-a79e-22847ef83976/content>

Rehman, A., Ramzan M. B., Shafiq, M., Rasheed, A., Naeem, M., Savino, M. M. (2019). *Productivity Improvement Through Time Study Approach: A Case Study from an Apparel Manufacturing Industry of Pakistan*. *Procedia Manufacturin*, (39), 1447-1454. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.306>

- Restrepo Correa, J. H., Cruz Trejos, E. A., & Saracho Almada, C. (2006). *Una heurística de balanceo de línea de producción aplicada a una malla curricular. Scientia et Technica, 1*(30). <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/6533>
- Restrepo, J. H., Medina, P. D., & Cruz, E. A. (2008). *Problemas de balanceo de línea SALMP –1 y SALBP –2: un caso de estudio. Scientia et Technica, 1*(40).
<https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/3077>
- Teshome, M. M., Meles, T. Y., & Yang, C.-L. (2024). *Productivity improvement through assembly line balancing by using simulation modeling in case of Abay garment industry Gondar. Heliyon, 10*, Article e23585. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23585>

Anexos

Anexo 1. AMEF módulo de costura automática

Disponible en: [AMEF orisol calzado.xlsx](#)

Anexo 2. Video de funcionamiento de máquina de costura automática en la planta

Disponible en: [costura automática.MP4](#)

Anexo 3. Video de funcionamiento de máquina de costura automática en otras empresas

Disponible en: https://youtu.be/QzyWcWKWJck?si=H8poVaAhl2XNys_1