



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**PROPUESTA DE REDISEÑO DE LAS ÁREAS DE
PRODUCCIÓN Y ALMACENAJE DE LA EMPRESA INMECH**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del título de
Ingeniero Industrial

Autores:

Alex David Moposita Bombón

Daniel Alberto Rodas Tanguila

Tutor:

Ing. Ángel Marcelo Tello Condor

LATACUNGA - ECUADOR

AGOSTO - 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Moposita Bombón Alex David, con número de cédula 1805432281 declaro ser autor del presente proyecto de investigación: **Propuesta de rediseño de las áreas de producción y almacenaje de la empresa INMECH**, siendo **Ing. Ángel Marcelo Tello Condor**, tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.



Moposita Bombón Alex David

CC:1805432281

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Rodas Tanguila Daniel Alberto, con número de cédula 2200111751 declaro ser autor del presente proyecto de investigación: **Propuesta de rediseño de las áreas de producción y almacenaje de la empresa INMECH**, siendo **Ing. Ángel Marcelo Tello Condor**, tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.



Rodas Tanguila Daniel Alberto

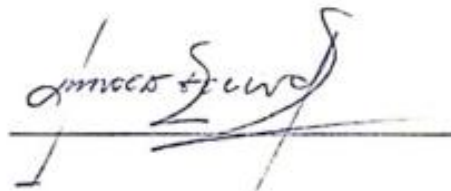
CC:2200111751

AVAL DEL TUTOR

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“Ing. Ángel Marcelo Tello Condor”, de Moposita Bombón Alex David, Rodas Tanguila Daniel Alberto de la carrera Ingeniería Industrial considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, agosto 2026

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Ángel Marcelo Tello Condor', is written over a horizontal line.

Ing. Ángel Marcelo Tello Condor

0501518559

AVAL DE MIEMBROS DEL TRIBUNAL

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD de CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS; por cuanto, los postulantes: de Moposita Bombón Alex David, Rodas Tanguila Daniel Alberto con el título de Proyecto de titulación: Propuesta de rediseño de las áreas de producción y almacenaje de la empresa INMECH han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, junio 2026

Para constancia firman:



Lector 1 (Presidente)

Naranjo Robalino José Ezequiel

CC:1804710463



Lector 2

Eugenio Pilliza Cristian Iván

CC: 1723727473



Lector 3

Constante Armas Josué Jonnatan

CC:0502034564

CARTA DE AVAL INSTITUCIONAL

INMECH

Latacunga, 28 de abril de 2026

A quien corresponda:

Por medio de la presente, la empresa **INMECH**, dedicada a actividades de **metalmecánica**, representada por el **Sr. Luis Chuquilla**, en calidad de **representante legal de la empresa INMECH**, manifiesta su conformidad y otorga el **aval institucional** a los estudiantes **Moposita Bombón Alex David** con C.I. **1805432281** y **Rodas Tanguila Daniel Alberto** con C.I. **2200111751**, para el desarrollo del trabajo de titulación denominado:

"PROPUESTA DE REDISEÑO DE LAS ÁREAS DE PRODUCCIÓN Y ALMACENAJE DE LA EMPRESA INMECH"

Para el desarrollo del presente trabajo, la empresa autoriza a los estudiantes a realizar visitas a las instalaciones, observaciones de los procesos, levantamiento de información y demás actividades necesarias relacionadas con la distribución actual de las áreas de producción y almacenaje.

INMECH manifiesta su disposición para proporcionar la información necesaria que se encuentre disponible y que sea pertinente para el desarrollo del proyecto, especialmente aquella relacionada con la distribución de máquinas y equipos, áreas de trabajo, almacenamiento de materiales, circulación de personal y materiales, y demás aspectos relacionados con el objeto de estudio.

La información recopilada durante el desarrollo del proyecto será utilizada exclusivamente con **finés académicos**, respetando la confidencialidad de aquella información que la empresa considere pertinente.

En virtud de lo expuesto, la empresa expresa su respaldo y autorización para que los estudiantes desarrollen el trabajo de titulación dentro de las instalaciones de **INMECH**, de acuerdo con las condiciones y disposiciones establecidas por la institución.

Para constancia de lo señalado, se firma la presente carta.

Atentamente,

Nombre del representante de INMECH

Cargo: PROPIETARIO

C.I.: 050211808-6



AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios, por brindarme fortaleza, sabiduría y perseverancia para culminar esta etapa de mi formación profesional, y por permitirme superar cada uno de los desafíos que se presentaron durante este camino.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, por abrirme sus puertas y brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente, así como por los conocimientos y experiencias adquiridas a lo largo de mi carrera, que han contribuido significativamente a mi crecimiento académico y personal.

Expreso mi sincero agradecimiento a mi tutor, Ing. Marcelo Tello, por su orientación, acompañamiento y disposición durante el desarrollo de este trabajo de investigación. Sus conocimientos y observaciones fueron fundamentales para encaminar y culminar satisfactoriamente este proyecto.

A la empresa Metalmecánica Inmech, por permitirme desarrollar la presente investigación en sus instalaciones y facilitar la información necesaria para llevar a cabo el estudio. Agradezco especialmente la colaboración y disposición de quienes forman parte de la empresa, ya que su apoyo fue fundamental para el desarrollo de este trabajo.

Finalmente, agradezco de manera especial a mi familia, por su amor, apoyo incondicional, paciencia y confianza durante todo este proceso.

Alex Moposita

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación, con profundo cariño y gratitud, a mis padres, Agustín Moposita y Rosa Bombón, quienes han sido un pilar fundamental a lo largo de mi vida. Su amor, esfuerzo, sacrificio y confianza me han enseñado a perseverar ante las dificultades y a continuar adelante incluso en los momentos más desafiantes. Este logro también es reflejo de todo aquello que me han brindado y de los valores que han cultivado en mí.

A mis hermanos y sobrinos, por formar parte importante de mi vida, por su cariño, compañía y por ser una fuente de motivación para seguir creciendo y alcanzar mis objetivos. Cada uno, desde su manera de ser y estar presente, ha contribuido a que este camino sea más significativo.

Con especial gratitud, dedico este logro a mi familia, por acompañarme durante este proceso y por recordarme que, detrás de cada meta alcanzada, existe el apoyo y el amor de quienes creen en nosotros.

Este logro es también de ustedes.

Alex Moposita

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, mi gratitud eterna se la debo a mis padres, quienes han sido y siempre serán mi pilar fundamental, mi roca y mi mayor fortaleza. A ellos les agradezco cada desvelo, cada sacrificio silencioso y cada palabra de aliento que me impulsó a seguir adelante incluso en los momentos más difíciles. Su confianza inquebrantable en mí y su ejemplo de perseverancia y trabajo honrado han sido la brújula que guió cada uno de mis pasos. Gracias por creer en mis sueños y por darme las herramientas no solo para ser un buen profesional sino sobre todo una mejor persona. Sin su amor y respaldo, este logro no habría sido posible.

A mi hermana, le agradezco de manera especial por ser mi cómplice y mi fuente inagotable de alegría en el hogar. Su apoyo no solo se limitó a brindarme sus valiosos conocimientos académicos y su claridad para resolver dudas, sino que también supo llenar de luz y calidez cada rincón de nuestra casa, haciendo llevaderos los días de estrés y cansancio. Su presencia ha sido un bálsamo para el alma y su generosidad, un regalo que atesoro profundamente.

Expreso mi más profundo y sincero agradecimiento a todas las personas que de una u otra manera han sido parte fundamental de este largo y enriquecedor camino que hoy culmina con la obtención de mi título como ingeniero.

Hoy, al mirar atrás veo un camino sembrado de aprendizajes y al mirar adelante veo un horizonte lleno de posibilidades, gracias por todo lo que me han brindado. A todos, infinitas gracias.

Daniel Rodas

DEDICATORIA

De manera muy especial, dedico este trabajo a mi madre Jheny Tanguila por su paciencia, amor y cuidado incondicional. Gracias por estar a mi lado en los momentos más difíciles por cuidarme cuando estuve enfermo y por nunca dejar de creer en mí, sin importar las veces que haya fallado o los errores que haya cometido. Tu amor y apoyo han sido fundamentales para llegar hasta aquí.

A mi padre José Rodas por estar siempre presente, por su paciencia y por enseñarme a ver siempre lo mejor de mí, incluso cuando yo mismo no podía hacerlo. Gracias por brindarme tu apoyo incondicional, por tus consejos y por acompañarme en cada etapa de este camino. Este logro también es fruto de todo lo que me has enseñado.

A mi hermana Lizeth Rodas por regalarme siempre esas risas incondicionales que hicieron más felices tantos momentos de mi vida. Gracias por enseñarme desde pequeño el valor de compartir, por estar presente durante toda mi infancia y por ser, desde aquellos primeros años, mi primera amiga y una persona fundamental en mi vida.

A mi amigo Richard, por acompañarme durante mi etapa universitaria y brindarme su apoyo siempre que lo necesité. Gracias por las ayudas en las tareas, por los consejos, por cada “acolite” y por estar dispuesto a ayudarme sin esperar nada a cambio. Tu amistad hizo la universidad fueran más llevaderos.

Finalmente, dedico este logro a todas aquellas personas que, de una u otra manera estuvieron presentes durante este camino. Cada palabra de aliento, cada consejo, cada ayuda y cada momento compartido contribuyeron a que hoy pueda alcanzar esta meta.

Daniel Rodas

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA.....	viii
AGRADECIMIENTO	ix
DEDICATORIA.....	x
1 INFORMACIÓN GENERAL	1
2 INTRODUCCIÓN.....	2
2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	5
2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	5
2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN.....	5
2.3.1 Objeto de Investigación:.....	5
2.3.2 Campo de Acción:	5
2.4 BENEFICIARIOS	6
2.4.1 Directo	6
2.4.2 Indirecto.....	6
2.5 JUSTIFICACIÓN	7
2.6 OBJETIVOS.....	7
2.6.1 General.....	7
2.6.2 Específicos.....	7
2.7 SISTEMAS DE TAREAS	8
3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	12
3.1 ANTECEDENTES	12
4 MARCO CONCEPTUAL	18
4.1 Descripción de la empresa metalmecánica.....	18
4.2 Características del sector metalmecánico ecuatoriano	19
4.3 Procesos productivos en una empresa metalmecánica	19
4.4 Distribución en planta (Layout).....	20
4.4.1 Definición y características	20
4.4.2 Objetivos de la distribución en planta	21
4.4.3 Tipos de distribución en planta.....	21
4.4.4 Principios de una buena distribución en planta	22
4.5 Distribución en línea por producto	23
4.5.1 Definición y características	23

4.5.2	Ventajas de la distribución en línea	23
4.6	Aplicación de la distribución en línea en empresas metalmecánicas	24
4.7	Métodos de rediseño de distribución en planta	25
4.7.1	Systematic Layout Planning (SLP)	26
4.7.2	CRAFT	27
4.7.3	CORELAP	27
4.7.4	Método de criterios ponderados	28
4.8	Flujo de materiales	28
4.9	Análisis de tiempos de proceso mediante diagramas analíticos	30
4.10	Identificación de ineficiencias	31
4.11	Almacenamiento en la planta	31
4.12	Mejora de procesos productivos	32
5	MÉTODO Y PROCEDIMIENTO	34
5.1	Descripción del proyecto	34
5.2	Variables de investigación	35
5.2.1	Variable independiente	35
5.2.2	Variable dependiente	35
5.3	Flujo metodológico del proyecto	35
5.4	Datos de entrada para el desarrollo del proyecto	36
5.5	Información del proceso productivo	37
5.5.1	Datos de la distribución física de la planta	38
5.5.2	Datos operacionales usados en el estudio	40
5.5.3	Criterios técnicos para el diseño de la propuesta	41
5.6	Método del cálculo para la evaluación del rediseño	41
5.6.1	Cálculo de la distancia recorrida del material	42
5.6.2	Cálculo del tiempo total del transporte interno	42
5.6.3	Cálculo de la reducción de la distancia por la comparación de los escenarios	43
5.6.4	Cálculo de la reducción del tiempo de transporte interno	44
5.6.5	Matriz de comparación de los indicadores de desempeño	45
5.6.6	Aplicación de la metodología Layout	45
5.6.7	Aplicación del método de criterios ponderados	47
5.6.8	Procedimiento de validación de la propuesta de distribución	49
6	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	51

6.1	Información general de la empresa.....	51
6.1.1	Historia.....	51
6.1.2	Misión.....	51
6.1.3	Visión	51
6.1.4	Política.....	51
6.1.5	Alcance	52
6.2	Diagnóstico de la situación actual de la empresa	52
6.2.1	Diagnóstico.....	52
6.2.2	Checklist 5S por área productiva (diagnóstico rápido)	53
6.2.3	Análisis ABC para justificación del producto de referencia (volumen de facturación por contrato)	53
6.2.4	Caracterización del proceso productivo actual.....	55
6.2.5	Análisis del proceso de ajuste y preparación.....	56
6.2.6	Análisis del proceso de cortado	59
6.2.7	Análisis del proceso de doblado	62
6.2.8	Análisis del proceso de soldado.....	65
6.2.9	Análisis del proceso de pintado	68
6.2.10	Análisis del proceso de ensamble.....	71
6.3	Análisis de los procesos productivos.....	74
6.3.1	Análisis de los movimientos y transporte del proceso productivo- tiempos del proceso productivo	75
6.3.2	Identificación de cuellos de botella del proceso productivo.....	76
6.4	Propuesta de rediseño de distribución de la planta por SLP	76
6.4.1	Identificación de las relaciones de las áreas productivas	76
6.4.2	Matriz de relaciones SLP.....	77
6.4.3	Resumen de relación de actividad	79
6.4.4	Propuesta del nuevo flujo productivo	80
6.5	Generación de la alternativa de distribución mediante el método CRAFT.....	82
6.6	Generación de la alternativa de distribución mediante el método CORELAP.....	85
6.7	Selección de la propuesta de distribución mediante criterios ponderados	88
6.8	Evaluación de la viabilidad económica de la propuesta seleccionada.....	91
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	96
7.1	Conclusiones.....	96

7.2	Recomendaciones	97
8	BIBLIOGRAFÍA	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Modalidad de titulación	1
Tabla 2.	Áreas Conocimientos Unesco.	1
Tabla 3.	Tabla de beneficiarios.	6
Tabla 4.	Sistema de Tareas del Plan de Titulación.	8
Tabla 5.	Información del proceso productivo	38
Tabla 6.	Datos de la distribución física de la planta	39
Tabla 7.	Parámetros considerados en el análisis operacional	40
Tabla 8.	Parámetros considerados en el análisis operacional	41
Tabla 9.	Estructura de comparación	45
Tabla 10.	Etapas del método SLP aplicadas en el proyecto	46
Tabla 11.	Etapas del método CRAFT aplicadas en el proyecto	46
Tabla 12.	Etapas del método CORELAP aplicadas en el proyecto	47
Tabla 13.	Criterios de evaluación utilizados para la selección de la alternativa	48
Tabla 14.	Procedimiento de calificación de las alternativas	49
Tabla 15.	Indicadores usados en la validación	49
Tabla 16.	Procedimiento del desarrollo del proyecto	50
Tabla 17.	Información de la empresa	51
Tabla 18.	Checklist 5S por área productiva – Resultado cuantificado (escala 1-5)	53
Tabla 19.	Análisis ABC por volumen de facturación (contratos 2024-2026) – Agrupado por elemento. Clasificación A hasta ~80% acumulado, B hasta ~95%, C resto	54
Tabla 20.	Procedimiento del desarrollo del proyecto	55
Tabla 21.	Diagrama analítico del proceso de ajuste y preparación.	58
Tabla 22.	Diagrama analítico del proceso de cortado	61
Tabla 23.	Diagrama analítico del proceso de doblado	64
Tabla 24.	Diagrama analítico del proceso de soldado	67
Tabla 25.	Diagrama analítico del proceso de pintado	70
Tabla 26.	Diagrama analítico del proceso de ensamble	73
Tabla 27.	Resumen de los diagramas analíticos	74

Tabla 28. Análisis de movimientos y tiempos de procesos	75
Tabla 29. Procesos críticos identificados	76
Tabla 30. Relación de proximidad de las áreas productivas	77
Tabla 31. Descripción de relación de cercanía entre áreas	77
Tabla 32. Relación de escalas	77
Tabla 33. Resumen de relación de actividad	79
Tabla 34. Propuestas del nuevo flujo productivo	80
Tabla 35. Comparación del recorrido actual y propuesto	80
Tabla 36. Matriz de flujo de materiales entre áreas (CRAFT)	82
Tabla 37. Matriz de distancias reales entre áreas, situación actual (m) (CRAFT)	83
Tabla 38. Costo de transporte de la distribución actual (CRAFT)	83
Tabla 39. Ronda 1 de intercambio por pares de áreas, costo base 69,60 m·viaje (CRAFT)	83
Tabla 40. Ronda 2 de intercambio por pares de áreas, costo base 57,04 m·viaje (CRAFT)	84
Tabla 41. Resumen de las rondas de intercambio y alternativa final de distribución (CRAFT)	85
Tabla 42. Áreas y superficie ingresadas al software CORELAP	86
Tabla 43. Matriz de relaciones entre áreas, según el software CORELAP	86
Tabla 44. Calificación total de cercanía (TCR) por área y comprobación de superficie (CORELAP)	87
Tabla 45. Distribución en cuadrícula generada por CORELAP	87
Tabla 46. Pesos asignados a los criterios de evaluación	88
Tabla 47. Calificación ponderada de las alternativas SLP, CRAFT y CORELAP	88
Tabla 48. Presupuesto de inversión inicial de la propuesta SLP	92
Tabla 49. Parámetros utilizados para estimar el beneficio operativo anual	94
Tabla 50. Flujo de caja proyectado de la propuesta SLP (tasa de descuento 9,35 % anual)	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujo metodológico	36
Figura 2. Layout actual de las áreas de trabajo de la planta	39
Figura 3. Situación actual de la empresa	56
Figura 4. Diagrama de flujo del proceso de ajuste y preparación.	57
Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de cortado.....	59
Figura 6. Diagrama de flujo del proceso de doblado.....	63
Figura 7. Diagrama de flujo del proceso de soldado	66
Figura 8. Diagrama de flujo del proceso de pintado.....	69
Figura 9. Diagrama de flujo del proceso de ensamble.	71
Figura 10. Matriz de relación de actividades.....	78
Figura 11. Diagrama relacional SLP de áreas productivas.....	78
Figura 12. Diagrama adimensional de bloques	79
Figura 13. Espacio propuesto para el rediseño.	90
Figura 14. Rediseño en base al SLP propuesto a la empresa.	91
Figura 15. Señalización propuesta.....	93

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: “PROPUESTA DE REDISEÑO DE LAS ÁREAS DE PRODUCCIÓN Y ALMACENAJE DE LA EMPRESA INMECH”

Autores: Moposita Bombón Alex David

Rodas Tanguila Daniel Alberto

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo proponer el rediseño de las áreas de producción y almacenaje de la empresa metalmecánica INMECH, para la mejora del flujo productivo, mediante la comparación de métodos de distribución en planta. La metodología se desarrolló en cuatro etapas: primero, se diagnosticó la situación actual de la empresa mediante observación directa y levantamiento de información de campo; segundo, se analizaron los procesos productivos mediante diagramas analíticos y el análisis de tiempos de proceso mediante diagramas analíticos; tercero, se elaboró y comparó una propuesta de rediseño aplicando los métodos Systematic Layout Planning (SLP), CRAFT y CORELAP, seleccionando la alternativa mediante un método de criterios ponderados; y cuarto, se evaluó la viabilidad económica de la propuesta seleccionada mediante el cálculo del valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR). Los resultados mostraron que la distribución actual no seguía la secuencia del proceso productivo, que los procesos de pintado y ensamble constituirían los principales cuellos de botella, y que la alternativa SLP obtuvo la mayor puntuación ponderada (3,90 sobre 5, frente a 3,35 de CORELAP y 3,10 de CRAFT), reduciendo el recorrido interno de materiales en un 42 % esperado (de 85 a 49 m) sin reubicar equipos fijos de alto costo. La evaluación económica arrojó un VAN positivo de 774,10 USD y una TIR de 14,48 % anual, superior a la tasa de descuento utilizada. Se concluyó que la propuesta de rediseño mejora el flujo productivo de la empresa INMECH y resulta económicamente viable para su implementación.

Palabras claves. Almacenaje, distribución, metalmecánica, producción.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

**TITLE: “PROPOSAL FOR THE REDESIGN OF THE PRODUCTION AND
STORAGE AREAS OF THE INMECH COMPANY”**

Author (s): Moposita Bombón Alex David

Rodas Tanguila Daniel Alberto

ABSTRACT

The purpose of this study was to propose the redesign of the production and storage areas of the metalworking company INMECH to improve production flow through the comparison of plant layout methods. The methodology was developed in four stages: first, the current situation of the company was diagnosed through direct observation and field data collection; second, the production processes and processing times were analyzed using analytical diagrams; third, a redesign proposal was developed and compared by applying the Systematic Layout Planning (SLP), CRAFT, and CORELAP methods, with the final alternative selected using a weighted criteria method; and fourth, the economic feasibility of the selected proposal was evaluated through the calculation of Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR). Results revealed that the current layout did not follow the sequence of the production process, with painting and assembly identified as the main bottlenecks. The SLP alternative achieved the highest weighted score (3.90 out of 5, compared to 3.35 for CORELAP and 3.10 for CRAFT), reducing the internal material flow by an expected 42% (from 85 m to 49 m) without relocating high-cost fixed equipment. The economic evaluation yielded a positive NPV of USD 774.10 and an annual IRR of 14.48%, exceeding the discount rate applied. It was concluded that the redesign proposal improves the production flow of INMECH and is economically viable for implementation.

Keywords: Storage, layout, metalworking, production.

1 INFORMACIÓN GENERAL

Tema del proyecto: PROPUESTA DE REDISEÑO DE LAS ÁREAS DE PRODUCCIÓN Y ALMACENAJE DE LA EMPRESA INMECH

Modalidad de Titulación:

Tabla 1. Modalidad de titulación

MODALIDAD DE TITULACIÓN	HOMOLOGACIONES PARA INFORME FINAL DE TITULACIÓN	SELECCIÓN
Propuesta tecnológica	Informe de propuesta tecnológica	
	Patente, Modelo de utilidad, Certificado de propiedad intelectual.	
	Artículo científico	
Proyecto de investigación	Informe de Proyecto de investigación	x
	Artículo científico	
	Patente, Modelo de utilidad, Certificado de propiedad intelectual.	
Examen de indicadores de RDA		

Equipo de Trabajo del Trabajo de Titulación:

Moposita Bombón Alex David

Rodas Tanguila Daniel Alberto

Tutor: Ing. Ángel Marcelo Tello Condor

Área de Conocimiento:

Tabla 2. Áreas Conocimientos Unesco.

33 Ingeniería y Ciencias Tecnológicas	3310 tecnología Industrial	3310.03 Procesos Industriales 3310.05 Ingeniería de Procesos 3310.07 análisis de tiempos de proceso mediante diagramas analíticos
---------------------------------------	----------------------------	---

Línea de investigación: Tecnología industrial, gestión de la producción, riesgos y seguridad laboral.

Sublíneas de investigación de la Carrera: Sistemas integrados de producción y operaciones industriales para el desarrollo sostenible.

2 INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, las empresas industriales han adoptado metodologías como Lean manufacturing, 5S, value stream mapping y rediseño de layout, como las estrategias para la eliminación de los desperdicios de transporte, esperas, movimientos innecesarios de inventarios de procesos. De acuerdo con los principios de Lean, la actividad que consume recursos como espacio, tiempo o material es un desperdicio si no genera valor o se lo puede reducir; aproximadamente entre el 60% y el 80% de las actividades hechas en un proceso productivo representan los desperdicios cuando no producen valor directo para los clientes, especialmente relacionados con los movimientos, inventarios en exceso y transporte [1].

A nivel internacional, esta necesidad de optimizar los procesos productivos se ve agravada por el contexto de sobrecapacidad que atraviesa la industria del acero y la manufactura metálica. De acuerdo con hallazgos de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) difundidos en 2026, el exceso de capacidad siderúrgica mundial alcanzó 640 millones de toneladas en 2025 y se proyecta que llegue a 745 millones de toneladas en 2028, un incremento del 75 %, impulsado principalmente por el aumento de las exportaciones chinas, que crecieron un 153 % desde 2020. Este escenario de sobreoferta presiona a las empresas metalmecánicas de todos los tamaños a mejorar su eficiencia interna y reducir sus costos operativos para mantenerse competitivas [2].

En América Latina, las empresas manufactureras tienen dificultades con relación a la optimización de los procesos internos a causa de que muchas organizaciones tienen distribuciones tradicionales que son modificadas conforme aumenta la producción, sin una planificación técnica del espacio. De acuerdo con, aplicaciones de métodos y diseños de layout genera mejoras de 15% al 40% con respecto a la reducción de recorridos internos, a la vez, favorece la disminución importante en los tiempos de transporte y la manipulación de los materiales [3]. Esto debido a que distintos productos con el tiempo se están construyendo en base a estructuras metálicas del sector de la construcción, accesorios domésticos como; puertas enrollables, parrillas metálicas, carpas, escaleras, rejas, pasamanos, además inmobiliario para instituciones educativas u oficinas, y se logra identificar que en los procesos de elaboración de los distintos productos presenta tiempos de espera, exceso de movimientos, cuellos de botella y un área subutilizada.

El texto contiene tres ideas en este orden: (A) brecha de productividad en Ecuador entre empresas grandes y microempresas + cifras con cita [4], (B) implicación de esa brecha para PYMES manufactureras como INMECH, (C) importancia del rediseño de planta como

intervención para cerrar la brecha. El orden es parcialmente necesario (A sustenta a B, y B sustenta a C), pero la presentación de A puede reorganizarse internamente para que las cifras aparezcan antes de la conclusión sobre la brecha, en vez de después.

En Ecuador, la diferencia de rendimiento entre empresas según su tamaño representa un desafío estructural para el sector productivo. De acuerdo con una nota técnica del Banco Interamericano de Desarrollo, en 2022 el valor agregado por trabajador en las empresas grandes alcanzó los USD 160 653, mientras que en las microempresas apenas llegó a USD 30 095, lo que se traduce en que las primeras fueron, en promedio, cinco veces más productivas que las segundas [4]. En tal sentido, las pequeñas y medianas empresas manufactureras, como INMECH, se encuentran en una posición de mayor desventaja para aprovechar eficientemente sus recursos productivos, por lo que acciones de mejora de índole técnica, como el rediseño de la distribución en planta, cobran especial relevancia para reducir esa diferencia.

El sector metalmecánico se erige como uno de los factores que integran la economía productiva, dado que los procedimientos que caracterizan el desempeño de este sector persiguen de un modo u otro la transformación de las materias metálicas mediante procesos tales como el soldadura, el corte de piezas o el ensamble de piezas elaboradas. En el caso ecuatoriano, esta actividad contribuye al desarrollo local de la misma, y también a la ", "integración horizontal entre sus diferentes actores dentro de su entramado industrial llegando a constituirse en una de las actividades claves para el desarrollo productivo del país que también muestra un aumento en su tendencia a lo largo del tiempo. Sin embargo, un considerable número de las pymes que forman parte del sector todavía trabaja en base a la tradicional, debido a lo cual, en la práctica, incluso además de ser actual, sus procesos están gobernados en gran parte por la capacidad del operario, careciendo además de organización espacial estandarizada [5].

En este caso, la empresa INMECH representa un ejemplo claro dentro de este contexto, puesto que se trata de una organización dedicada al sector metalmecánico, la cual mantiene su sede en el cantón de Saquisilí, provincia de Cotopaxi. Su actividad principal consiste en la fabricación de estructuras metálicas destinadas a la construcción; asimismo, elabora mobiliario para instituciones y oficinas. De igual modo, esta empresa produce diversos accesorios domésticos, entre los cuales se encuentran puertas enrollables, parrillas, carpas y pasamanos, evidenciando así la amplitud de su línea productiva.

Por otra parte, en lo que respecta al sistema de producción de esta empresa, es relevante mencionar que este se lleva a cabo en modalidad de fabricación bajo pedido, en lotes de baja cantidad. De esta modalidad, la organización debe convivir con muchísima variedad de

productos porte y poco espacio físico; En este sentido, esta necesidad implica una organización muy cuidada de los recursos. Por lo tanto, que la variedad de artículos de fabricación, junto con el ante abajo de espacio, se constituyen como uno de los condicionantes importantes para la operativa de INMECH.

Hoy por hoy, el sistema productivo de INMECH tiene ineficiencias operativas, que se traducen en tiempos de espera, movimientos excesivos, cuellos de botella, y un manifiesto infra funcionamiento de los espacios de trabajo.

En este contexto, la ubicación de las materias primas y los insumos de soldadura constituye un factor crítico, ya que se encuentran alejados de las estaciones principales de trabajo, y a esto se suma que las zonas de soldadura, corte y almacenamiento carecen de una distribución adecuada, lo cual afecta de forma directa el flujo continuo de los materiales y prolonga los tiempos de producción.

Por otra parte, la planta no cuenta con una zona claramente delimitada para el almacenamiento de los productos terminados, situación que genera desorden dentro de las instalaciones y dificulta el manejo logístico final.

Ante esta situación, el presente trabajo de investigación plantea como objetivo principal el rediseño de las áreas de producción y almacenaje pertenecientes a la empresa INMECH; dicha propuesta adquiere sentido debido a la exigencia de lograr un uso más eficiente del espacio físico existente. Paralelamente, esta iniciativa busca mejorar el flujo de las materias, así como disminuir de forma clara los tiempos improductivos que afectan a la organización. Por ello, resulta determinante abordar esta problemática desde una perspectiva técnica que permita fortalecer el desempeño general de la empresa.

Siguiendo este mismo orden de ideas, dado los principios técnicos que por su relación directa se dieron para la aplicación de la distribución en planta (a modo de una construcción de la distribución previa que permitiera analizar en que se fallaba), se estudió para llevar a cabo un orden que permitiera minimizar los desplazamientos no operacionales que vienen dados a las instalaciones, como resultado se pretende cerciorar unas condiciones operativas de trabajo, aún más óptimas y seguras para los trabajadores permitiendo que el trabajo de taller y la producción mantengan un orden a través de la distribución; en este caso hay que resaltar que tal reorganización se torna un aspecto o elemento fundamental para mejorar los procesos productivos de INMECH.

2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

La falta de una distribución física adecuada en las áreas productivas constituye una de las principales causas de ineficiencia operativa en la industria manufacturera, generando recorridos innecesarios, tiempos de espera y una baja utilización del espacio disponible. Estudios sobre la aplicación de métodos de distribución en planta reportan mejoras de entre el 15 % y el 40 % en la reducción de recorridos internos y en los tiempos de transporte y manipulación de materiales cuando se corrigen este tipo de deficiencias [3].

En las pequeñas y medianas empresas del sector metalmecánico esta problemática se agrava por el crecimiento no planificado de sus instalaciones, lo que produce que las áreas de trabajo se ubiquen sin seguir la secuencia lógica del proceso productivo. Esta condición, descrita en la introducción para el caso específico de la empresa INMECH, impacta directamente en el flujo de materiales, los tiempos de producción y el aprovechamiento del espacio, lo que evidencia la necesidad de abordar el problema mediante un rediseño técnico de la distribución de sus áreas de producción y almacenaje.

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El foco del problema radica en que las áreas de corte, soldadura y almacenamiento de la empresa metalmecánica INMECH presentan una disposición física que no guarda correspondencia con la secuencia real en que se desarrolla el proceso productivo, de manera que esta desalineación produce diversas consecuencias en la operativa, entre las que destacan la infrautilización del espacio existente, el desafío de los recorridos no eficientes y la disponibilidad de tiempos de producción, muertos, es decir, sin que exista una causa justificada.

2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.3.1 Objeto de Investigación:

Propuesta de rediseño del área de producción y almacenaje. En concordancia con lo planteado en el título del trabajo de titulación, el objeto de investigación abarca el desarrollo de una propuesta técnica orientada a rediseñar la distribución física de la planta, para lo cual se emplea la metodología Systematic Layout Planning (SLP) como herramienta de soporte en su elaboración.

2.3.2 Campo de Acción:

3310.03 Procesos Industriales.

El presente trabajo de estudio se lleva a cabo en la empresa metalmecánica INMECH, situada en la ciudad de Saquisilí, de la provincia de Cotopaxi, el cual pertenece al área de procesos

industriales y trata las áreas concretas de corte, soldadura y almacenamiento. En consecuencia, esta delimitación del presente trabajo es coherente con el alcance que se expresa en el título del presente trabajo de titulación y, por lo tanto, permite tener un enfoque nítido sobre los procesos a intervenir.

2.4 BENEFICIARIOS

En la tabla 3, se muestra los beneficiarios directos e indirectos del proyecto de investigación:

Tabla 3. Tabla de beneficiarios.

Directos	Cantidad
Gerente/propietario de INMECH	1
Trabajadores de las áreas productivas de INMECH	18
Indirectos	Cantidad
Entidades contratantes de INMECH (2024-2026)	5

2.4.1 Directo

Los beneficiarios directos del proyecto son el personal de operación y la dirección de la empresa INMECH, que incluye a los 18 operarios que operan en las áreas de corte, soldadura, pintura, cerrajería y almacenamiento junto al gerente y propietario de la empresa.

Se considera que son los beneficiarios directos ya que son quienes realizan las actividades de tipo productivo en las zonas afectadas por la distribución existente y, por ello, son quienes se van a ver beneficiados de manera inmediata con los resultados en torno al rediseño, tales como una mayor eficiencia en las operaciones, unas condiciones laborales más agradables y una reducción bastante importante de los desplazamientos que restan valor al procedimiento.

2.4.2 Indirecto

Los beneficiarios indirectos corresponden a las entidades contratantes de INMECH registradas en los contratos ejecutados por la empresa durante el periodo 2024-2026: Empresa Pública de Aseo y Gestión Ambiental del cantón Latacunga (EPAGAL), Universidad Técnica de Cotopaxi, Secretaría de Educación Intercultural Bilingüe, Ministerio de Educación zona 3 y la Dirección Distrital 05D06 Salcedo-Educación, así como las empresas del sector metalmecánico dedicadas a la fabricación de mobiliario similar, que podrían tomar como referencia el modelo de distribución propuesto. Se consideran indirectos porque no participan directamente en el

proceso productivo, pero se benefician de una entrega más ágil y de mejor calidad por parte de INMECH, o pueden replicar la propuesta en sus propias instalaciones.

2.5 JUSTIFICACIÓN

La justificación de este proyecto descansa en dos dimensiones, una teórica y otra práctica. En lo que hace referencia a la primera, el trabajo comporta ser una instancia para aplicar todos los conocimientos adquiridos a lo largo de la formación en Ingeniería Industrial, principalmente aquellos relacionados con el diseño y localización de plantas, proceso de manufactura e investigación de operaciones y en este sentido el uso de la metodología Systematic Layout Planning (SLP) posibilita poder entrar a la comprensión técnica de la situación actual por la que atraviesa la empresa INMECH, además de su análisis desde bases disciplinarias sólidas.

Desde el punto de vista práctico, el estudio es factible debido a que se cuenta con el acceso autorizado a las instalaciones de la empresa INMECH, así como con la información operativa, de personal y de contratos necesaria para desarrollar el diagnóstico y la propuesta de rediseño. Su ejecución no representa mayores costos para la empresa, dado que se limita a un trabajo de análisis técnico e investigación de campo, mientras que su implementación futura constituye una alternativa de bajo costo frente a los beneficios esperados en la reducción de tiempos improductivos y en el mejor aprovechamiento del espacio disponible.

2.6 OBJETIVOS

2.6.1 General

Proponer el rediseño de las áreas de producción y almacenaje de la empresa INMECH, para la mejora del flujo productivo, mediante la comparación de métodos de distribución en planta.

2.6.2 Específicos

- Diagnosticar la situación actual de la empresa INMECH, para la identificación de las deficiencias en la distribución de las áreas de producción y almacenaje, mediante la observación directa, la aplicación de un checklist de la metodología 5S y el levantamiento de información de campo.
- Analizar los procesos productivos de la empresa, para la determinación de los movimientos innecesarios, los cuellos de botella y las deficiencias en el flujo de materiales, mediante diagramas analíticos y el análisis de tiempos de proceso.

- Elaborar una propuesta de rediseño de las áreas de producción y almacenaje, para la selección de la alternativa de distribución óptima, mediante la aplicación y comparación de los métodos SLP, CRAFT y CORELAP, y un método de criterios ponderados.
- Evaluar la viabilidad económica de la propuesta de rediseño seleccionada, para la determinación de su factibilidad de implementación en la empresa INMECH, mediante el cálculo de indicadores financieros (VAN y TIR).

2.7 SISTEMAS DE TAREAS

En la tabla 4, se muestran las actividades a realizarse para este trabajo de investigación de acuerdo con los objetivos específicos.

Tabla 4. Sistema de Tareas del Plan de Titulación.

Objetivos Específicos	Actividades	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos.
Diagnosticar la situación actual de la empresa INMECH, para la identificación de las deficiencias en la distribución de las áreas de producción y almacenaje, mediante la observación directa, la aplicación de un checklist de la metodología 5S y el levantamiento de información de campo.	Reconocimiento de las instalaciones y del proceso productivo de la empresa INMECH.	Estado actual identificado, incluyendo instalaciones, equipos y máquinas.	Inspección visual; observación directa
	Identificación del diseño y distribución actual de la empresa.	Informe detallado de los espacios subutilizados, fallas y deficiencias en las áreas de producción y almacenaje.	Análisis documental; técnicas de revisión
	Aplicación de un checklist de la metodología 5S en las áreas productivas.	Diagnóstico cuantificado del nivel 5S por área (Tabla 18 - Checklist 5S), con porcentaje por principio y porcentaje general por área. Ver capítulo de Diagnóstico, subsección 'Checklist 5S por área productiva'.	Checklist 5S; registro fotográfico
	Levantamiento de la información de los contratos de mobiliario estudiantil ejecutados por la empresa (2024-2026), para justificar el objeto del rediseño.	Informe ABC por facturación (Tabla 19) que evidencia que mobiliario estudiantil concentra ~92% del valor contratado; justificación del pupitre/kit como producto de referencia.	Análisis documental de contratos; base de datos de ventas

Objetivos Específicos	Actividades	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos.
Analizar los procesos productivos de la empresa, para la determinación de los movimientos innecesarios, los cuellos de botella y las deficiencias en el flujo de materiales, mediante diagramas analíticos y el análisis de tiempos de proceso mediante diagramas analíticos.	Observar y levantar la información sobre el proceso productivo.	Información detallada del proceso actual.	Visitas de campo; registros
	Elaborar diagramas de flujo, recorrido y diagramas analíticos del proceso productivo.	Representación de los procesos productivos y distribución actual de la empresa.	Diagramas de flujo; software (AutoCAD, Visio, Bizagi Modeler)
	Medir y analizar los tiempos de operación, espera y traslado del proceso productivo.	Tiempos de operación, espera y traslado determinados por proceso.	Hoja y formato de registro de tiempos de proceso mediante diagramas analíticos
	Identificar los movimientos innecesarios y los cuellos de botella del proceso productivo.	Procesos críticos y actividades sin valor agregado identificados.	Diagramas analíticos de proceso; análisis comparativo
Elaborar una propuesta de rediseño de las áreas de producción y almacenaje, para la selección de la alternativa de distribución óptima, mediante la aplicación y comparación de los métodos SLP, CRAFT y CORELAP, y un método de criterios ponderados.	Determinar las relaciones de proximidad entre las áreas productivas.	Matriz de relaciones de actividades establecida.	Metodología SLP; matriz de relaciones
	Aplicar la metodología SLP para generar una primera propuesta de distribución.	Propuesta de distribución mediante SLP elaborada.	Metodología SLP; diseño planimétrico
	Llevar a cabo el método CRAFT para realizar una segunda propuesta de distribución.	Propuesta de distribución mediante MPA-CRAFT llevada a cabo.	Método CRAFT; software de simulación
	Aplicar el método CORELAP para generar una tercera propuesta de distribución.	Propuesta de distribución mediante CORELAP elaborada.	Método CORELAP
	Comparar las tres propuestas mediante un método de criterios ponderados.	Alternativa de distribución óptima seleccionada.	Método de criterios ponderados; matriz comparativa
	Entregar la nueva distribución de planta	Redistribución de planta con el nuevo layout entregada.	Nuevo layout; informe técnico

Objetivos Específicos	Actividades	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos.
	seleccionada al administrador de la empresa.		
Evaluar la viabilidad económica de la propuesta de rediseño seleccionada, para la determinación de su factibilidad de implementación en la empresa INMECH, mediante el cálculo de indicadores financieros (VAN y TIR).	Estimar los costos de adecuación, movilización y señalización requeridos para implementar la propuesta.	Presupuesto de inversión inicial determinado.	Cotizaciones; análisis de costos
	Proyectar el flujo de caja esperado a partir de los beneficios operativos de la propuesta.	Flujo de caja proyectado a 5 años.	Análisis financiero; hoja de cálculo
	Calcular el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) de la propuesta.	Indicadores VAN y TIR calculados.	Fórmulas financieras; software de cálculo
	Determinar la viabilidad económica de la propuesta con base en los indicadores obtenidos.	Viabilidad económica de la propuesta establecida.	Análisis comparativo de indicadores

El comportamiento de la cartera de contratos aplicados por INMECH entre 2024 y 2026 responde claramente a la elección de la referencia del pupitre escolar como producto de referencia para el diagnóstico del proceso productivo tal y como se trató en el capítulo 7. Si bien el ítem de la mesa pupitre completa un importe de USD 331.285 dentro de un volumen global de aproximadamente USD 968.897 en el conjunto de ese periodo, es junto a otras referencias la que representa el 34,2 % del importe total. Por lo tanto, este producto se convierte en el más destacado del comportamiento general de la actividad contractual de la empresa, siendo de difícil obviación con respecto al resto de las categorías de productos elaborados.

Si decidimos extender el análisis al conjunto de la familia de productos de mobiliario escolar, donde también se encuentran los kits de mobiliario escolar, las sillas estudiantiles, las sillas para docentes y las pizarras (aunque la composición exacta de los kits no aparece desglosada por componente en la información disponible), el monto acumulado alcanza los USD 958 815, cifra que equivale a cerca del 99 % del total contratado, frente a la participación marginal de otros productos como archivadores, armarios, basureros y escritorios.

Esta concentración pone de manifiesto que el mobiliario escolar, y en especial el pupitre, representa la línea con mayor demanda y mayor generación de ingresos para la organización, en consecuencia, emplear este producto como referencia para el diagnóstico resulta coherente con la realidad productiva de INMECH, mientras que el rediseño de las áreas de producción y almacenaje, cuyo impacto favorece a toda esta familia de productos, queda enfocado de manera prioritaria en dicha línea.

3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 ANTECEDENTES

Pincay en su investigación "Propuestas de la mejora en la gestión de inventarios en la empresa de equipos domóticos", del cual fue un estudio cuantitativo con un método exploratorio, que busca identificar el modelo que ayude a la empresa a obtener datos más precisos sobre todos los productos que tiene en su sistema, y también le ayude a la empresa cuando se le informa que tiene que hacer una auditoría interna; Con este modelo ABC o diagrama de Pareto que se pretende implementar, ayudará a la empresa a reducir los costes de importación y también le ayudará a no importar productos de la marca Control que no tienen mucha rotación en el mercado ecuatoriano [6].

El trabajo de Calle propone una propuesta orientada a la aplicación de herramientas Lean Manufacturing cuya finalidad principal sea disminuir los tiempos de preparación de la línea de ensamble de cocinetas, y que con la misma idea incorpora esas herramientas en la filosofía Lean, evaluar su efecto sobre el proceso productivo de la línea de cocinas y cocinetas de la empresa analizada: por lo que este enfoque es muy adecuado para precisar el comportamiento operativo del área tratada.

Respecto al desarrollo del estudio, este parte de un diagnóstico que permitirá caracterizar las condiciones con las que se opera la línea a partir de la modalidad de entrega y de la correspondencia con lo planificado. Igualmente se analiza el historial de interrupciones de la línea para conocer aquel elemento que provoca con mayor frecuencia paradas en la producción y retrasos en la preparación de los materiales. Entonces, el tiempo recuperado por dicha identificación puede ser destinado a la fabricación de una mayor cantidad de productos, o bien se puede darle como resultado la reducción de la jornada laboral, y así gestionar mejor el tiempo disponible.

Finalmente se lleva a cabo un análisis técnico-económico, en el cual a través de unos indicadores se determina si la propuesta es viable. Así, de acuerdo a lo dicho anteriormente, el análisis técnico-económico es una etapa de suma importancia para determinar la viabilidad real de la puesta en marcha. Consecuentemente, los resultados alcanzados permiten también reforzar la toma de decisiones del proceso de producción estudiado [7].

La investigación desarrollada por dicho artículo se dedicó a la reducción del tiempo de manejo de inventario a través de un rediseño del espacio de almacenamiento de la empresa estudiada y, para ello, optamos por el sistema de diseño de tipo preexperimental, longitudinal. La

población estuvo constituida por los tiempos de manejo de inventario de todos los dispositivos móviles y, por su parte, la muestra fue delimitada por la medición de tiempos de manejo de inventario de un único dispositivo. En cuanto a las herramientas empleadas, el diagnóstico inicial se apoyó en el diagrama de Ishikawa y en una guía de observación directa, a partir de lo cual se procedió a tomar tiempos para establecer el tiempo estándar de cada proceso, se aplicó el análisis ABC y se recurrió al método de planificación del diseño de sistemas para definir el rediseño de la distribución, culminando con la consolidación de las mejoras identificadas.

Los resultados mostraron una reducción del 44,29 % en el tiempo de desplazamiento entre áreas, en tanto que el tiempo de descarga y almacenamiento disminuyó de 6 a 4 horas, lo que equivale a una mejora del 36,51 %, y el proceso de recolección y envío pasó de 5 horas a un promedio de 3 horas, con una reducción del 46,43 %, todo ello con un nivel de confianza del 95 %. En consecuencia, el estudio permitió concluir que el reordenamiento de la distribución física contribuyó directamente a acortar las distancias recorridas entre las distintas zonas del almacén [8].

La investigación analizó la administración de inventarios de una organización dedicada a los servicios a partir de un diagnóstico global que integró un checklist estándar con un análisis del tipo de radar, herramienta *leaned* para resumir las diferencias de rendimiento en forma de un análisis comparativo en los km. Para ello, se detectaron deficiencias importantes en cuatro frentes: la administración de inventarios, las condiciones de seguridad, la eficiencia operativa y la documentación de los procesos, siendo que los mayores déficits fueron los que se registraron en administración de inventarios (42 % por debajo del estándar), seguridad laboral (38 %) y flujos de materiales (35 %).

Dentro de los resultados más significativos del estudio, el mismo pone de manifiesto que la utilización del espacio para las funciones simultáneas de almacenamiento y estacionamiento provoca ineficiencias que afectan hasta el 25 % de los costes logísticos, y que la falta de sistemas automatizados y de protocolo de documentación dio cuenta del 68 % de las diferencias detectadas en el inventario físico. Ante esta situación, el estudio propone la utilización de un WMS básico, el diseño de la distribución de acuerdo a los principios *lean* y la capacitación del personal en las buenas prácticas de almacenamiento, intervenciones que podrían permitir, conforme a la documentación existente en el sector, que el nivel de productividad aumentase hasta el 30 %.

De este modo, el trabajo presenta un modelo transferible a otras organizaciones que deseen llevar a cabo un diagnóstico del inventario en el sector de los servicios de las pequeñas y

medianas empresas, enfatizando la necesidad de hacer coincidir las operaciones logísticas de la empresa con la estrategia de la organización [9].

El proyecto "Optimización de la gestión de inventarios de la empresa PULPAMOL S.A." con el objetivo optimizar la gestión de inventarios de repuestos y materias primas de mantenimiento de la empresa PULPAMOL S.A., la cual se dedica a la producción de cubetas para huevos con material reciclado, debido al bajo nivel de gestión de inventarios, la falta de información manipulable y la compra de información manipulable y repuestos, lo cual es un método de parada de tiempo inesperado, que es un método inesperado. Este trabajo investigativo se ha desarrollado utilizando una metodología descriptiva que permite describir y caracterizar los avances del trabajo investigativo presentado para optimizar la gestión de inventarios y la gestión de adquisiciones de repuestos y consumibles. La estructura de este trabajo consta de tres etapas, divididas en recolección de información, manipulación, control del ingreso de datos digitales y el desarrollo de dos métodos que resaltan la necesidad de compra de repuestos y materiales importantes. La primera fase refina el inventario para incluir repuestos y consumibles que no se han tenido en cuenta en la recopilación de información, la segunda fase mejora el control del inventario al permitir la búsqueda y manipulación de los datos recopilados, también permite la diferenciación única de repuestos y consumibles mediante el desarrollo de un código y, finalmente, la tercera fase del inventario permite refinar las condiciones del inventario [10].

El estudio tuvo como propósito optimizar el sistema de almacenamiento de una empresa distribuidora de pescado con miras a mejorar sus procesos logísticos, para lo cual se plantearon objetivos específicos orientados a identificar los problemas existentes, elaborar un diagnóstico de la situación actual, evaluar la organización del almacén y analizar el efecto de los cambios propuestos. En cuanto a la metodología, se emplearon la clasificación ABC y el diagrama de Ishikawa como herramientas para detectar y abordar las dificultades identificadas, se llevó a cabo un análisis de la cantidad de productos manejados y se recogió información mediante entrevistas al personal del área de almacenamiento. Como resultado principal, se formuló una propuesta de reestructuración del espacio de almacén acompañada de la incorporación de nuevas tecnologías, con el fin de lograr una gestión de inventario más eficiente y reducir los tiempos de entrega, lo que derivó en una mejora de la satisfacción de los clientes y del desempeño general del almacén, contribuyendo de esta forma a fortalecer la posición competitiva de la empresa [11]

En su estudio "Diseño de distribución de planta en las nuevas instalaciones de la compañía metalmecánica Solutions", Padilla planteó como objetivo la elaboración de una propuesta para

la disposición en las instalaciones de esta nueva empresa, empleando el método del Systematic Layout Planning (SLP). Este trabajo se concretó como resultado de un diagnóstico de sus procesos productivos y del cálculo de las relaciones de cercanía entre las distintas áreas. Por tanto, el trabajo pretende elaborar y examinar alternativas de distribución de planta que se adecúen al flujo de producción de la empresa para reforzar la estructura física de sus instalaciones.

Como resultado, se logró una propuesta de distribución óptima orientada a mejorar el aprovechamiento del espacio y a disminuir los recorridos y los tiempos de transporte de materiales dentro de las nuevas instalaciones. [12].

Caiza, en su investigación “Propuesta de distribución de instalaciones para un nuevo taller de mecanizado y construcciones metálicas en la Unidad Educativa del Milenio Santiago de Pillaro”, se propuso como objetivo plantear una distribución física adecuada para un nuevo taller de mecanizado y construcciones metálicas, para lo cual diagnosticó las necesidades espaciales y funcionales del taller. La propuesta tomó en cuenta la secuencia de los procesos de mecanizado y soldadura, así como los requerimientos de seguridad propios de un taller educativo, con miras a plantear una distribución que facilitara el flujo de trabajo y el uso seguro del espacio disponible. [13].

Cevallos orientó su investigación a reducir los cuellos de botella, los tiempos improductivos, el desperdicio de material y los retrasos generados por una planificación deficiente y la ausencia de estandarización en una empresa dedicada a la fabricación de estructuras metálicas en Quito, aplicando para ello herramientas de Lean Manufacturing. El estudio adoptó un enfoque cuantitativo con diseño no experimental, basado en la toma directa de datos en planta y en el seguimiento de indicadores clave de desempeño. A partir de este proceso, se detectaron desperdicios en las etapas de soldadura, corte, pintura y ensamblaje, en tanto que el mapeo del flujo de valor futuro arrojó una reducción estimada del 10 % en los ciclos productivos, a lo que se sumó la propuesta de implementar la metodología 5S como mecanismo de estandarización y mejora de las condiciones de seguridad laboral [5].

Álvarez y colaboradores realizaron un caso de estudio preparado para el tratamiento de los problemas de la distribución física planteados en la microempresa colombiana (del sector de marroquinería), como el uso deficiente del espacio, los retrasos en las operaciones, o las dificultades para brindar un mantenimiento correcto a la planta.

Con el fin de abordar este problema, emplearon la metodología Systematic Layout Planning (SLP) de Richard Muther, con la cual establecieron las relaciones de cercanía entre las áreas y

los requerimientos espaciales que existían entre ellas. Con base en esto, emplearon las técnicas de estudio del trabajo para crear y contrastar diferentes opciones de redistribución. En esta línea de pensamiento, este proceso posibilitó una fundamentación clara de las resoluciones tomadas respecto a la reorganización de la planta. En consecuencia, la propuesta obtenida logró aumentar el potencial de producción con el objetivo de reducir los recorridos y facilitar la disminución de la congestión en el flujo interno. Esta propuesta, a la vez, mejora el control y la conservación de los procesos; además, optimiza la utilización general del espacio que tiene la planta. Es fundamental subrayar que, en su totalidad, estos beneficios son cruciales para mejorar el funcionamiento integral de la empresa. [14].

Muñoz, en su investigación “Modelo de distribución en planta basado en la metodología CRAFT para la empresa Collina Products S.A.”, se planteó como objetivo optimizar el flujo de operaciones de la empresa a través de un nuevo modelo de distribución en planta, con miras a incrementar su capacidad productiva de 205 kg a 900 kg mensuales de producto deshidratado. El estudio aplicó y comparó los métodos SLP, CRAFT, CORELAP y ALDEP, evaluando el costo de transporte de los materiales entre áreas a partir del diagrama de relaciones y del cálculo de las áreas totales requeridas.

Entre las diferentes alternativas analizadas, la que obtuvo los resultados más óptimos fue el método CRAFT. Utilizando como base el diseño sugerido, se estimó una inversión total de USD 76,995 con un tiempo de reembolso de 2 años, 1 mes y 10 días [15].

Plua et al. en su investigación “Estimación de la superficie requerida y distribución de planta de una industria metalmecánica” tuvieron como objetivo determinar la superficie estática, gravitacional y de evolución necesaria para optimizar la movilización de maquinaria y personal en una industria metalmecánica, considerando además sus planes de expansión operativa. Mediante la aplicación del método de Guerchet, calcularon la proporción entre la cantidad de máquinas y el área total requerida, lo que permitió optimizar la superficie disponible y cumplir con los requerimientos mínimos de espacio para el funcionamiento de la planta [16].

Delgado et al. en su investigación “Evaluación de la distribución del espacio en la planta incubadora ESPAM-MFL mediante el algoritmo CORELAP” tuvieron como objetivo examinar la organización del espacio de una planta incubadora de pollitos mediante la aplicación de técnicas computarizadas de planificación. El estudio identificó los nueve procesos realizados en la planta, registró los tiempos de cada actividad y elaboró un plano en AutoCAD, para posteriormente aplicar el algoritmo CORELAP, que ubica los departamentos según su proximidad requerida. Los resultados determinaron que la distribución actual de la incubadora

es adecuada bajo un esquema de distribución por procesos, aunque la distribución ideal generada por el algoritmo CORELAP ubicaría el área de recepción rodeada de otros espacios, condición que no resultaría óptima desde el punto de vista operativo [17].

Calvo y Torres en su investigación “Aplicación de metodología 5S para aumentar la productividad de una empresa metalmecánica, Lima, 2022” tuvieron como objetivo demostrar que la aplicación del método 5S contribuye al incremento de la productividad en los procesos de manufactura de una empresa metalmecánica. El estudio empleó una investigación aplicada de nivel explicativo, con enfoque cuantitativo y diseño preexperimental, tomando como muestra los proyectos ejecutados en un periodo determinado. Por lo tanto, la productividad de la empresa creció del 53 % al 96 %, es decir, un crecimiento del 43 %. Esto demuestra que el personal está comprometido con las modificaciones introducidas y que han mejorado la eficacia y la eficiencia organizacional [18].

En la investigación llevada a cabo por Rubio y León, bajo la denominación de "Optimización de la distribución de planta para poder reducir el tiempo de traslado en la fabricación de piezas de desgaste mediante SLP en una empresa metalmecánica", se buscaba principalmente disminuir los tiempos empleados en el transporte interno de los insumos dentro de una industria, con el propósito de mejorar la eficacia global del taller. En relación con esto, el estudio partía de un análisis cuidadoso del esquema físico existente, mediante el cual se constataban de forma clara las distancias recorridas por los materiales en las diferentes partes del recinto. Por ello, fue posible identificar las dificultades operativas presentes; en consecuencia, se propuso un reordenamiento del espacio orientado a fortalecer la movilidad diaria de los recursos.

En este sentido, la reestructuración física propuesta permitió reducir los trayectos innecesarios, permitiendo así un tránsito continuo del trabajo. Así, esta mejora favoreció un flujo bastante más ágil en la producción del taller. Es importante resaltar que estos resultados evidencian la relevancia determinante de una adecuada distribución física para el desempeño operativo de este tipo de industrias [19].

4 MARCO CONCEPTUAL

4.1 Descripción de la empresa metalmecánica

La transformación de metales es un sector que abarca una serie de acciones enfocadas en transformar insumos, como el aluminio, el acero y varios tipos de aleaciones metálicas, en productos finales destinados para ser utilizados en la industria, la casa o el comercio. Para esto, se utilizan sobre todo métodos mecánicos, térmicos y químicos. En esta línea, Groover afirma que este tipo de organización se incluye en las organizaciones de fabricación independiente y se define por la utilización de tareas como la deformación, el corte, la unión de partes, el ensamblaje y el acabado. Por esta razón, los materiales iniciales pasan por un proceso gradual en el que adquieren formas y propiedades muy diferentes a las originales, lo cual permite obtener componentes estructurados con medidas específicas para el mercado. Esto sucede porque, si se aplican estos procedimientos de manera ordenada, la transformación de los componentes básicos será la apropiada. Como consecuencia, se facilita la producción de una variedad de productos que son capaces de satisfacer los diferentes requerimientos operativos del sector [20].

En el contexto de la producción moderna, el cambio hacia la modernización de la tecnología provocó que las fábricas comenzaran a incorporar herramientas digitales de sofisticación, mediante la combinación de la conexión de equipos en red, la programación de las máquinas mediante la utilización de computadoras, así como la automatización de las tareas. En este ámbito, el país también muestra una distancia importante. En la mayoría de los talleres pequeños y medianos, como el caso del establecimiento INMECH, la utilización de herramientas de corte manual es predominante. Decimos esto ya que la producción de bienes depende en su totalidad de la experiencia técnica del trabajador, así, los métodos de trabajo de los obreros no se rigen por un patrón común. En este sentido, la continuidad de los antiguos sistemas de trabajo entorpece la precisión de las entregas, de tal forma que la capacidad de respuesta a la demanda queda coartada y, en consecuencia, las jornadas no son homogéneas [21].

La compañía INMECH es un taller metalmecánico pequeño ubicado en el cantón Saquisilí, provincia de Cotopaxi. Su actividad principal es la producción de muebles para espacios administrativos y académicos. Asimismo, esta compañía fabrica una variedad de accesorios para el hogar, incluyendo pasamanos, puertas plegables de metal, peldaños y parrillas. También produce soportes metálicos orientados hacia la construcción. Por lo tanto, la forma de trabajo

de la firma se basa sobre todo en pedidos específicos que implican cantidades reducidas de mercancía.

La compañía, debido a esta modalidad, gestiona un extenso repertorio de artículos e intervenciones en un área física bastante reducida. Por lo tanto, los encargados de la dirección y administración de la empresa deben planificar los recorridos internos con mucho cuidado para poder coordinar las distintas actividades cotidianas de manera organizada. Por lo tanto, esta organización posibilita eludir demoras innecesarias, lo que tiene un impacto significativo en la optimización de los espacios dentro de la instalación.

4.2 Características del sector metalmecánico ecuatoriano

El sector metalmecánico en Ecuador ha crecido de manera sostenida en las últimas décadas, aunque históricamente ha ocupado un papel secundario en comparación con sectores exportadores tradicionales como la floricultura o la agroindustria. Según Chasi Carbo, la cadena metalmecánica resulta prioritaria para el desarrollo industrial del país, ya que su integración horizontal con otros sectores productivos permite la generación de empleo y el desarrollo de proveedores locales de insumos y servicios [22].

Niebel y Freivalds señalan que las empresas metalmecánicas de pequeño y mediano tamaño se caracterizan por producir bajo pedido en lotes pequeños con alta variabilidad de productos, emplear maquinaria de propósito general que permite adaptarse a distintos procesos, y requerir una distribución de planta flexible capaz de reorganizarse ante cambios frecuentes en los requerimientos de producción [23]. Estas características son plenamente aplicables a INMECH, donde la variedad de productos fabricados y la irregularidad de los pedidos hacen necesaria una distribución que facilite los cambios de configuración sin interrumpir el flujo productivo general.

4.3 Procesos productivos en una empresa metalmecánica

Los procesos productivos de una empresa metalmecánica comprenden una cadena de operaciones que transforman progresivamente la materia prima hasta obtener el producto terminado. Groover clasifica dichas operaciones en cuatro grupos principales: procesos de conformado (doblado, troquelado, laminado), procesos de corte (sierra, plasma, oxicorte), procesos de unión (soldadura MIG, TIG, por arco eléctrico o por puntos) y procesos de acabado superficial (lijado, pintura, galvanizado) [20].

En INMECH, la secuencia típica de producción inicia con la recepción y el almacenamiento de materias primas (tubos, láminas y perfiles de acero), continúa con el corte de los elementos

según especificaciones del pedido, prosigue con el ensamble y la soldadura en los puestos de trabajo y finaliza con el acabado y el almacenamiento del producto terminado. Actualmente esta secuencia presenta interrupciones frecuentes originadas por la inadecuada ubicación de las áreas y los materiales, lo que genera tiempos de espera, movimientos innecesarios y cuellos de botella que reducen la productividad general de la empresa [8].

4.4 Distribución en planta (Layout)

4.4.1 Definición y características

La organización de las instalaciones comprende, según la perspectiva planteada por Muther, el arreglo espacial de los componentes que integran un centro de fabricación en un área definida, buscando fundamentalmente alcanzar un desempeño superior en las operaciones diarias. En cuanto a esto, dicha distribución abarca el acondicionamiento de zonas destinadas al desplazamiento del personal y de los insumos, los espacios de depósito, el mobiliario de trabajo, los aparatos principales, así como las áreas dedicadas a las diferentes tareas complementarias que apoyan el proceso. Debido a esto, cada sección del recinto debe ser dispuesta de tal forma que se mantenga un flujo continuo de las labores, de esta manera se reduce el esfuerzo físico en las rutinas de trabajo, permitiendo en tal sentido un aprovechamiento totalmente eficiente de la infraestructura física y favoreciendo en consecuencia un ambiente laboral equilibrado para la gestión de bienes [24].

Como respaldo a esta última posición, Chase et al. añaden que organizar físicamente un espacio requiere identificar el sitio más apropiado para los equipos, los departamentos de apoyo interno, las áreas de trabajo y los almacenes. El propósito principal de esto es facilitar un traslado sin problemas de los materiales, el personal y las comunicaciones durante las tareas cotidianas. Respecto a esto, la localización adecuada persigue principalmente la reducción de los traslados innecesarios dentro del taller, para que así se disminuyan notablemente los tiempos de inactividad en las distintas áreas de la compañía.

En otras palabras, el esquema ordenado de los espacios tiene un impacto directo en la velocidad del trabajo, lo que permite una mayor fluidez en las operaciones cotidianas. Como resultado, esta entidad ayuda a eliminar la pérdida de tiempo, lo que garantiza un uso más eficiente de las instalaciones. Es crucial enfatizar que esta organización es esencial para mejorar el rendimiento global del taller [25].

4.4.2 Objetivos de la distribución en planta

Un ordenamiento apropiado de los métodos laborales persigue la consecución simultánea de diversos objetivos, los cuales, juntos, mejoran el desempeño y benefician las condiciones de trabajo del personal. En esta línea, Niebel y Freivalds argumentan que los objetivos fundamentales se enfocan sobre todo en conseguir la máxima rentabilidad del espacio disponible y en preservar el bienestar de los empleados a lo largo de su jornada laboral. Por eso, la distribución equilibrada de los elementos tiene como objetivo disminuir de manera significativa los desplazamientos largos dentro del recinto, lo que facilita acelerar las diversas tareas diarias de la empresa.

En consecuencia, una organización que tiene una buena estructura reduce significativamente las interferencias en el flujo diario; por lo tanto, esto permite un progreso sin interrupciones en las tareas que se llevan a cabo. Además, este ordenamiento asegura que no ocurran problemas, lo cual resulta en un ambiente de trabajo para la empresa más seguro, cómodo y coordinado. Es crucial subrayar que estas ventajas son fundamentales para mejorar el rendimiento global del taller [23]:

- Minimizar el manejo y el transporte interno de materiales, reduciendo la distancia total recorrida por los materiales durante el proceso productivo.
- Aprovechar eficientemente el espacio disponible, tanto en superficie como en altura.
- Garantizar la seguridad y comodidad de los trabajadores, reduciendo los riesgos de accidentes laborales.
- Facilitar la supervisión y el control del proceso, ubicando las áreas de manera que permitan visibilidad y accesibilidad adecuadas.
- Mantener la flexibilidad suficiente para adaptarse a futuros cambios en el volumen de producción o en la variedad de productos.
- Reducir los tiempos de ciclo eliminando cuellos de botella y esperas innecesarias entre operaciones.

4.4.3 Tipos de distribución en planta

Chase et al. identifican cuatro tipos principales de distribución en planta, cada uno adecuado para un perfil específico de proceso productivo [25]:

La distribución por posición fija se caracteriza porque el producto permanece en un lugar estático mientras son los trabajadores, las herramientas y los materiales quienes se trasladan hasta él, modalidad que resulta adecuada cuando el producto tiene dimensiones o peso que

impiden su desplazamiento, como ocurre en la construcción naval o en proyectos de infraestructura civil de gran escala.

Esta disposición funcional, por otra parte, organiza los equipos o las actividades con atributos similares en una misma área; además, proporciona una gran habilidad de adaptación para crear productos muy variados. No obstante, este modelo puede provocar que los insumos recorran largas distancias entre las distintas áreas del taller, convirtiéndose de esta manera en el método más empleado en aquellas empresas que fabrican pedidos específicos en cantidades reducidas. En consecuencia, al implementarlo, es fundamental tener en cuenta sus beneficios y limitaciones.

Con respecto a la disposición secuencial, las estaciones y herramientas de trabajo están ubicadas en función de la ruta particular que siguen los trabajos diarios, para garantizar un transporte ininterrumpido y directo de los materiales. En consecuencia, este sistema disminuye las necesidades de trayectos internos y acorta significativamente los tiempos de espera entre actividades. Por lo tanto, este modelo tiene una alta adecuación cuando hay productos similares para administrar y una demanda relativamente constante.

En este contexto, la opción de celdas constituye una maquinaria totalmente distinta, estructurada en unidades de trabajo pequeñas que procesan conjuntos de elementos con características parecidas. Asimismo, esta opción combina la flexibilidad que distingue al primer sistema con la velocidad que proporciona el desplazamiento secuencial; como se ha expuesto antes, esto posibilita mejorar el movimiento de recursos sin sacrificar la capacidad para adaptarse a diversas demandas. De este modo, este esquema posibilita el fortalecimiento del avance en la producción de insumos, lo que a su vez favorece un rendimiento organizacional superior.

4.4.4 Principios de una buena distribución en planta

Muther establece seis principios fundamentales que deben guiar todo diseño o rediseño de distribución en planta [24]:

- Integración total: Integrar completamente todos los factores (personas, productos, máquinas y servicios) en un sistema que sea coherente.
- Mínima distancia recorrida: La distancia que recorren los materiales entre operaciones debe ser la menor posible.
- Flujo de materiales: Las zonas tienen que organizarse de acuerdo con el orden en que los materiales ocurren, evitando intersecciones y retrocesos..

- Espacio cúbico: Aprovechar tanto la superficie como la altura disponible de la instalación.
- Satisfacción y seguridad: Garantizar condiciones de trabajo seguras y cómodas para los operarios.
- Flexibilidad: La disposición debe ser tal que permita realizar las oportunas modificaciones en caso de que los productos, volúmenes o tecnología cambien en un futuro.

4.5 Distribución en línea por producto

4.5.1 Definición y características

Tal y como lo indicaron Heizer y Render la secuencia continua de disposición de los medios disponibles, la organización se realiza de acuerdo con las necesidades del bien que se quiere elaborar, se hace que los materiales vayan avanzando por las distintas secciones de forma directa, recta y constante. En cuanto a esto, los elementos recorren una trayectoria totalmente fija a lo largo del proceso, evitando cualquier tipo de desvío o retorno en la ruta establecida. Debido a esto, los equipos y las estaciones de labor se instalan principalmente en la posición exacta que exige el desarrollo de las tareas, de tal forma que cada acción previa entrega su resultado al paso posterior sin pausas innecesarias. En tal sentido, dicha organización resulta ideal para elaborar un objeto específico o un grupo de bienes con métodos de trabajo semejantes, estructurando de esta manera la actividad diaria de forma integrada, lo cual permite en consecuencia mantener un desplazamiento fluido y eficiente dentro de la fábrica [26].

Chase et al. destacan que las principales características de la distribución en línea son: (1) el flujo de materiales es continuo y unidireccional; (2) cada estación de trabajo realiza siempre la misma operación sobre el producto que pasa por ella; (3) el volumen de producción es relativamente alto y el tiempo de ciclo de cada estación es aproximadamente igual, lo que equilibra la carga de trabajo a lo largo de la línea; y (4) los tiempos de transporte y de espera entre operaciones son mínimos, ya que las estaciones están ubicadas de forma contigua y secuencial [25].

4.5.2 Ventajas de la distribución en línea

La secuenciación de instalaciones en función de una trayectoria directa reporta evidencias notables frente a la instalación adecuada para la disposición por función, en especial en aquellas situaciones donde se producen productos diferentes con un orden de operaciones igual o muy semejante. En este sentido, Muther considera que las aportaciones de la secuenciación son

fundamentalmente las que se relacionan con una mejoría en la simplificación de la actividad operativa habitual, conjuntamente con una buena aportación en el orden del circuito de la materia entre las secciones. Este hecho provoca que la secuenciación del proceso de elaboración tienda a la minimización del recorrido de procesos, omitiéndose en consecuencia el tiempo de espera entre operaciones. En el mismo sentido, la disposición ordenada de las herramientas de trabajo oportunidades un mejor seguimiento de los procesos, ganando así en el ritmo cotidiano de producción y, en consecuencia, aumentando la capacidad de la compañía para el avance de los compromisos de trabajo asumidos [24]:

- En la medida en la que las áreas de trabajo están situadas en el orden de trabajo en que ha de realizarse la operación, los tiempos de transporte y de manejo material se vean reducidos enormemente.
- Menor acumulación de inventario en proceso, pues el material avanza de forma continua de una estación a la siguiente sin esperas prolongadas.
- Mayor facilidad para la programación y el control de la producción, dado que el flujo es predecible y unidireccional.
- Reducción de la congestión en las áreas de trabajo y mejor aprovechamiento del espacio disponible.
- Mejor control visual del proceso, facilitando la identificación inmediata de cuellos de botella y desviaciones del flujo productivo.
- Condiciones de trabajo más ordenadas y seguras, pues cada operario tiene asignada una estación fija con los materiales y herramientas necesarios para su tarea.

4.6 Aplicación de la distribución en línea en empresas metalmecánicas

La organización espacial basada en un recorrido en secuencia directa representa una referencia bastante conveniente para establecimientos de transformación metálica que, como el taller INMECH, elaboran un conjunto de bienes siguiendo un orden de tareas muy parecido. Este proceso abarca el corte de la materia prima, el traslado a la zona de labor, la unión de piezas junto con el montaje, el pulido o retoque final, así como el almacenamiento de los productos terminados. Por ello, resulta importante considerar esta similitud operativa al momento de definir el esquema más adecuado.

En cuanto a esto, si bien es cierto que la entidad INMECH atiende pedidos específicos con variadas alternativas de fabricación, la notable semejanza en el trayecto operativo de la mayoría de sus productos, entre los que destacan estructuras metálicas, puertas, pasamanos y mobiliario

para recintos diversos, sugiere que un ordenamiento orientado al avance continuo del trabajo resultaría sumamente ventajoso. Debido a esto, la alineación lógica de las diferentes secciones permitiría reducir demoras innecesarias, permitiendo así que las labores cotidianas se desarrollen sin tropiezos.

En este sentido, la elección final sobre el esquema de ordenamiento más apropiado para la empresa INMECH se basará fundamentalmente en el empleo de las opciones que se describen a continuación. Por lo tanto, este procedimiento posibilitará establecer una propuesta precisa y, por ende, fortalecer un desempeño decisivo en la organización. Es relevante subrayar que esta determinación es crucial para mejorar la eficacia operativa de la empresa en el largo plazo [4]. Aimacaña Alomoto, en una investigación de remodelación de planta hecha en una compañía metalmecánica con propiedades parecidas situada en la provincia de Cotopaxi, evidenció que la reestructuración de las zonas laborales según el orden lógico del proceso productivo generó varias mejoras operativas bastante importantes. Entre ellas, sobresale sobre todo el aumento de la capacidad de producción sin necesidad de comprar nueva maquinaria, así como la disminución de los cuellos de botella en las estaciones de soldadura. En consecuencia, también se consiguió reducir el tiempo que toma el transporte de materiales, lo cual posibilitó mejorar el flujo interno del proceso.

Asimismo, este rediseño resultó en una mejora significativa de las condiciones laborales del equipo involucrado. Es fundamental destacar que estos hallazgos demuestran la importancia de implementar una reestructuración organizada en este tipo de compañías. Por lo tanto, este estudio refuerza el fundamento técnico de propuestas parecidas enfocadas en optimizar la actuación operativa de los talleres metalmecánicos [8].

4.7 Métodos de rediseño de distribución en planta

Reestructurar la distribución física significa revisar y modificar a fondo la disposición actual de un establecimiento industrial para eliminar las deficiencias en el transporte de insumos. Simultáneamente, esta reestructuración tiene como objetivo maximizar el uso de las instalaciones existentes; además, busca elevar los niveles de protección laboral. Por esta razón, este procedimiento es fundamental para mejorar especialmente la eficacia global de las operaciones cotidianas.

Muther sostiene que es indispensable realizar dicha modificación cuando una compañía enfrenta circunstancias adversas, como espacios no aprovechados, acumulaciones excesivas de piezas a medio terminar o tiempos largos entre las operaciones diarias. Asimismo, se toman en

cuenta circunstancias como espacios de trabajo inadecuados, aglomeraciones en los lugares de trabajo o desplazamientos excesivamente largos entre un puesto laboral y el siguiente. Es crucial destacar que el reconocimiento oportuno de estas circunstancias es bastante valioso para argumentar la necesidad de una redistribución apropiada [24]. La presencia de estas complicaciones dentro del taller INMECH conduce, por consiguiente, a una reorganización espacial cuidadosamente planificada, con el propósito de acortar de forma clara los recorridos internos. Como resultado, esta reorganización permitiría una circulación continua entre las distintas secciones, favoreciendo así una gestión diaria más ordenada, eficaz y segura para el personal. En vista de lo anteriormente planteado, esta mejora resulta de vital importancia para fortalecer, en consecuencia, la productividad general de la empresa.

Existen diversos métodos estructurados para abordar el rediseño de la distribución en planta, entre los que destacan el Systematic Layout Planning (SLP), el Computerized Relative Allocation of Facilities Technique (CRAFT) y el Computerized Relationship Layout Planning (CORELAP). Los tres métodos comparten el objetivo de generar alternativas de distribución a partir del flujo de materiales y de las relaciones de proximidad entre áreas, pero difieren en su procedimiento y en el tipo de resultado que producen. En el presente proyecto se aplicarán y compararán los tres métodos, seleccionando la alternativa más adecuada mediante un método de criterios ponderados.

4.7.1 Systematic Layout Planning (SLP)

El Planeamiento Sistemático de la Distribución (Systematic Layout Planning, SLP), desarrollado por Muther, es la metodología de distribución en planta más utilizada en la práctica industrial. Este método parte del análisis del flujo de materiales entre las áreas y de las relaciones de proximidad entre actividades, expresadas mediante una tabla relacional con calificaciones de cercanía (A, E, I, O, U y X); a partir de esta información, y del cálculo de los requerimientos de espacio de cada área, el método genera alternativas de distribución que se evalúan y comparan hasta seleccionar la más adecuada para los objetivos de la empresa [24].

La aplicación del método SLP a INMECH comprenderá las siguientes etapas: (1) análisis de los flujos de materiales entre áreas mediante diagramas de recorrido y diagramas de espagueti; (2) elaboración de la tabla relacional de actividades para determinar la conveniencia de ubicar ciertas áreas de forma contigua; (3) cálculo de los requerimientos de espacio de cada área de trabajo, almacenamiento y servicio; y (4) generación de una alternativa de distribución con base en los resultados anteriores.

4.7.2 CRAFT

El método CRAFT (Computerized Relative Allocation of Facilities Technique) es un algoritmo computarizado de mejora que, a diferencia del SLP, no genera una distribución desde cero, sino que parte de una distribución inicial (la actual o una propuesta previa) y evalúa el efecto de intercambiar la ubicación de pares de departamentos entre sí. Para cada intercambio posible, el método calcula el costo total de transporte, obtenido como el producto de la distancia recorrida entre departamentos por el volumen de flujo de materiales movido entre ellos, y conserva únicamente los intercambios que reducen dicho costo, repitiendo el proceso hasta que ya no es posible obtener una mejora adicional [15].

En el contexto de INMECH, el método CRAFT se empleará tomando como punto de partida la distribución física actual de la planta, con el propósito de evaluar, a través del intercambio sucesivo de áreas, si es viable disminuir el costo asociado al transporte de materiales sin necesidad de construir una distribución completamente diferente, por consiguiente, esta característica lo posiciona como un recurso complementario al SLP a la hora de contrastar las distintas propuestas generadas.

4.7.3 CORELAP

El método CORELAP (Computerized Relationship Layout Planning) es un algoritmo de construcción que, al igual que el SLP, parte de una tabla o diagrama de relaciones entre las áreas, pero automatiza la ubicación de los departamentos mediante el cálculo de una calificación total de cercanía (Total Closeness Rating, TCR) para cada uno, obtenida al sumar los valores de relación que dicho departamento mantiene con el resto. El método ubica primero el departamento con la mayor calificación total y, a partir de él, incorpora sucesivamente los demás departamentos según su grado de relación con los ya ubicados, priorizando la adyacencia entre las áreas con mayor afinidad [17].

La herramienta CORELAP se aplicará en INMECH para establecer una estructura de organización espacial única en función del nivel de proximidad deseado entre las áreas de corte, unión metálica, acabado en color, ensamblaje de cierres y almacén. La idea fundamental consiste en que esta propuesta de base se configure de forma completamente independiente de las alternativas que puedan derivarse de las metodologías propuestas por dos herramientas como son SLP y CRAFT. Ahora bien, esta separación de análisis busca ampliar de manera directa el conjunto de soluciones que están al alcance de la organización y que puedan llevar a hacerse con un marco de comparación más amplio por parte de los responsables de la toma de decisiones para la realización de la comparación final. Por este mismo motivo, la suma de estas formas de

análisis refuerza la apreciación más completa del taller, permitiendo en esta línea una exhaustiva evaluación de las interacciones internas existentes entre los diversos departamentos productivos y favoreciendo de este modo la elección de la disposición física más adecuada a la cual, en consecuencia, se le garantizará un movimiento fluido y continuo del trabajo en la planta.

4.7.4 Método de criterios ponderados

El método de criterios ponderados es una técnica de decisión multicriterio que se emplea para identificar la mejor opción entre varias alternativas que persiguen un mismo objetivo, cuando la evaluación debe contemplar más de un factor de forma simultánea. Su aplicación sigue una secuencia definida que parte de la identificación de los criterios relevantes para el problema, la asignación de un peso relativo a cada uno de ellos de modo que la suma total sea igual al 100 %, la calificación de cada alternativa frente a cada criterio mediante una escala numérica, y finalmente la obtención de una puntuación global para cada opción a partir de la sumatoria de las calificaciones multiplicadas por su peso correspondiente [24].

En el marco del presente proyecto, este método se utilizará para determinar cuál de las alternativas de distribución generadas mediante SLP, CRAFT y CORELAP se adapta mejor a la realidad de INMECH, tomando en cuenta criterios como el aprovechamiento del espacio disponible, la reducción del recorrido y del tiempo de transporte de materiales, el costo asociado a la implementación y la facilidad para llevarla a cabo.

De esta forma, la evaluación objetiva de las tres propuestas a través del método de criterios ponderados permitirá seleccionar la distribución que mejor responda a las necesidades operativas de la empresa, sin asumir de antemano cuál de los métodos producirá el resultado más favorable.

4.8 Flujo de materiales

El flujo de materiales representa el movimiento organizado de materia prima, materiales en proceso y productos terminados a lo largo de las distintas etapas del proceso productivo. Heizer y Render señalan que un flujo de materiales bien gestionado es esencial para garantizar la continuidad de la producción, reducir los tiempos de ciclo y minimizar los costos de transporte interno. El análisis del flujo debe identificar la secuencia de operaciones, las cantidades de material que se mueven entre cada par de áreas, las distancias recorridas y los medios de transporte utilizados dentro de la planta [26].

Se emplean diversos diagramas visuales para ilustrar y examinar el flujo de suministros en un centro laboral, que responden sobre todo a la necesidad de representar el movimiento cotidiano

con claridad. Siguiendo este orden de ideas, el dibujo de las trayectorias entrelazadas es predominante. Este ilustra con bastante claridad todos los desplazamientos que ocurren dentro de la fábrica. Por lo tanto, este esquema posibilita identificar de manera precisa los cruces interrumpidos, las distancias excesivas y los regresos innecesarios que se encuentran en el trayecto. En cuanto a esto, se emplea el plano de recorridos físicos, que representa el movimiento de los elementos en la planta general del recinto, lo que permite observar con claridad cómo se desplazan en el espacio. Como resultado de esto, se presenta también la representación secuencial de las actividades cotidianas, que muestra en secuencia las operaciones, los movimientos internos, los tiempos de espera y los almacenamientos temporales que forman parte de la rutina diaria. Así, se brinda una representación bastante clara del proceso general, lo que resulta en una organización más eficiente de las tareas. Simultáneamente, esta representación promueve la supervisión efectiva de las tareas ejecutadas. Es importante enfatizar que estos instrumentos son fundamentales para mejorar la gestión operativa en el taller [20].

En la realidad operativa de INMECH, la circulación actual de insumos muestra problemas bastante importantes que impactan directamente en el rendimiento regular de la producción. Con respecto a esto, los insumos y componentes necesarios para unir piezas están ubicados en sitios remotos de las estaciones de trabajo; por lo tanto, se ven forzados a desplazarse largas distancias e innecesariamente durante la jornada de trabajo. Por lo tanto, esta circunstancia produce pérdidas de tiempo que afectan de manera significativa el ritmo diario de trabajo. Dado que no hay un espacio definido para las mercancías acabadas, como resultado de lo anterior, se producen acumulaciones de productos en todas las áreas de producción. Por lo tanto, esta circunstancia dificulta considerablemente la circulación constante del proceso productivo y reduce el espacio disponible en el taller. Por lo tanto, es fundamental reconsiderar la organización actual de las áreas implicadas. En esta línea, la idea de reorganización física tiene como objetivo resolver estos problemas a través de una distribución de los talleres que esté alineada con la secuencia del trabajo estándar. Con este propósito, se busca que los componentes progresen de forma constante desde la recepción inicial hasta el almacenamiento final de las mercancías, asegurando así una práctica metódica a diario. Por consiguiente, esto posibilita una administración del espacio mucho más rentable para las diversas actividades que se realizan en la instalación.

4.9 Análisis de tiempos de proceso mediante diagramas analíticos

El examen de la duración de las actividades mediante representaciones detalladas consiste principalmente en revisar en qué forma se hacen los deberes, eliminando los lapsos inactivos o perdidos, determinando lapsos típicos de trabajo para cada labor, elevando al mismo tiempo el rendimiento global del trabajo en conjunto. En este sentido, Niebel y Freivalds expresan que esta valoración de la duración del trabajo consiste en la producción ordenada de mirar, tomar la medida, reseñar el lapso exacto que un empleado capacitado usa para completar una tarea determinada, siguiendo un ritmo habitual y siguiendo una forma de trabajar que se haya preparado previamente. Por su parte, el examen de los desplazamientos analiza los movimientos físicos de la persona cuando lleva a cabo un trabajo, teniendo como principal objetivo desechar aquellos ademanes superfluos o causantes de fatiga, de tal manera que se ajusten perfectamente los movimientos que añaden valor real a la elaboración establecida. A partir de aquí, el desarrollo continuo de la rutina diaria mejora las capacidades del personal, porque a partir de ese momento será más fluido el plan diario, favoreciendo de esta manera la evolución continua de la rutina diaria en las tareas que, del mismo modo, genera un aprovechamiento de los recursos en todas las secciones del trabajo.

En la metodología de esta propuesta, la herramienta se utilizará para calcular los periodos de trabajo, las pausas y los desplazamientos que corresponden a las rutinas laborales del taller INMECH. Asimismo, se especificarán con claridad los traslados del personal entre las diferentes áreas, así como las paradas improductivas vinculadas a la búsqueda de suministros y componentes. Además, se tendrán en cuenta las esperas causadas por la acumulación de tareas en las estaciones de soldadura y corte, un factor que es muy importante para el estudio. En este contexto, los datos recopilados servirán como la base cuantitativa imprescindible para justificar la propuesta de reorganización del espacio. Por lo tanto, cuando el rediseño esté en funcionamiento, se podrá verificar que la disminución de paradas obtenida ocurre en relación con el contexto original del taller. Por esta razón, esta comparación es fundamental para corroborar de manera objetiva los resultados alcanzados. Por lo tanto, la información recolectada se utilizará principalmente para respaldar la reestructuración propuesta; así, será factible demostrar el efecto positivo que esta reestructuración logra generar. De esta manera, se asegura un progreso continuo en el trabajo de la compañía, lo que, a su vez, promueve un rendimiento superior dentro de la misma.

4.10 Identificación de ineficiencias

Identificar las ineficiencias presentes en un proceso productivo es un paso previo e indispensable antes de diseñar cualquier acción de mejora. Bajo la filosofía Lean Manufacturing, estas ineficiencias reciben el nombre de desperdicios o "Muda" en japonés, y se agrupan en siete categorías: movimientos innecesarios del operario, defectos o reprocesos, sobreproducción, inventario en exceso, tiempos de espera, transporte innecesario y procesamiento incorrecto. En tal sentido, Womack y Jones precisan que toda actividad que consuma recursos, ya sea tiempo, espacio o materiales, sin agregar valor al producto desde la perspectiva del cliente, debe considerarse un desperdicio susceptible de ser eliminado o reducido [27].

Para identificar sistemáticamente estos desperdicios se utiliza el mapeo del flujo de valor (Value Stream Mapping, VSM), herramienta visual que representa el flujo de materiales e información desde el proveedor hasta el cliente, distinguiendo las actividades que agregan valor de las que no. En el caso de INMECH, los desperdicios más evidentes identificados en el diagnóstico preliminar son: transporte innecesario de materiales desde las zonas de almacenamiento hasta las estaciones de trabajo, tiempos de espera por congestionamiento en las áreas de corte y soldadura, movimientos innecesarios de los operarios para abastecerse de insumos, e inventario en proceso acumulado en las áreas de trabajo por falta de una zona de almacenamiento de producto terminado definida. La propuesta de rediseño de la distribución ataca directamente estos cuatro tipos de desperdicio al ordenar las áreas según la secuencia del proceso y delimitar claramente cada zona de trabajo y almacenamiento [27].

4.11 Almacenamiento en la planta

Para que el sistema productivo funcione correctamente, el almacenamiento disponible en una planta industrial desempeña funciones muy relevantes. Una estructura de almacenamiento adecuada facilita que los inventarios de productos acabados, materias primas y materiales en proceso se gestionen de manera ordenada. Así, si se aplica de manera adecuada este esquema, el material se conserva ante eventuales pérdidas, se simplifica su localización y se utiliza eficazmente el espacio disponible. Siguiendo la misma línea de pensamiento, Chase et al. piensan que es primordial para el diseño de la estructura tomar en consideración la frecuencia con que se accede a los insumos. Asimismo, es fundamental tener en cuenta las dimensiones y características de esos elementos, además de los recursos disponibles para la movilización. Además, considerar las necesidades de conservación que tiene cada tipo de material es crucial,

ya que esto mejora la eficiencia global del sistema de almacenamiento.. Al respecto, el análisis exhaustivo de estos factores tiende en gran medida a que se evite en lo posible el deterioro de los componentes almacenados de manera tal que los desplazamientos diarios se realicen partiendo de un funcionamiento plenamente fluido en el espacio. Por ello, la ordenación de las existencias tiende a facilitar su localización por parte del personal, con lo que ello comporta de reducir las esperas innecesarias a lo largo de las jornadas de trabajo y, por lo tanto, garantizar un manejo del inventario plenamente dinámico, lo que a su vez favorece la eficacia de las diversas operaciones en el taller [25].

En el taller INMECH, la falta de un espacio totalmente delimitado para el almacenamiento de los productos acabados se convierte en uno de los problemas más serios del sistema de organización actual, ya que los productos acabados se amontonan descontroladamente dentro de las zonas de fabricación impidiendo sobre todo el registro de las salidas, mermando la zona operativa del personal, aumentando el riesgo de que los productos se deterioren. En este sentido, la propuesta de reorganización que estamos llevando a cabo prevé habilitar un nuevo espacio para la recepción de los productos acabados justo al final del ciclo de elaboración, con una delimitación clara, una entrada directa para la entrega de pedidos y un tamaño acorde a la carga de trabajo habitual del taller. Por ello se prevé seguir de la misma forma reorganizando la posición de los útiles básicos y de los medios de forja, colocándolos en aquellos lugares básicos de inicio del recorrido y en los lugares de aprovisionamiento que estén más próximos de los puestos que los demandan, de manera que se eliminen los recorridos largos de búsqueda que actualmente delimitan las labores de los operarios, permitiendo de esa manera un flujo dinámico a través de las distintas secciones y garantizando de esta manera la máxima eficiencia de la gestión del espacio de forma que beneficiará de manera general la productividad de la entidad.

4.12 Mejora de procesos productivos

La mejora continua de los procesos productivos constituye uno de los principios centrales de la gestión industrial contemporánea. Harrington la define como el conjunto de actividades orientadas a lograr que los procesos sean más adaptables, es decir, capaces de responder con rapidez a los cambios del entorno, más eficientes en el uso de los recursos disponibles y más efectivos en la obtención de los resultados esperados. Este propósito puede perseguirse desde dos enfoques distintos: uno de carácter radical, a través de la reingeniería de procesos, y otro de naturaleza incremental, mediante metodologías como el ciclo PHVA, las 5S o el Kaizen [28].

La metodología 5S es especialmente relevante para el caso de INMECH, pues establece cinco principios de organización del lugar de trabajo que complementan directamente el rediseño del layout: Seiri (clasificar y eliminar lo innecesario), Seiton (ordenar cada elemento en su lugar definido), Seiso (limpiar el área de trabajo), Seiketsu (estandarizar las rutinas de organización y limpieza) y Shitsuke (mantener y mejorar los estándares establecidos de forma continua). La implementación de las 5S junto con el nuevo layout en línea garantizará que la organización espacial propuesta se mantenga en el tiempo y se convierta en un hábito de trabajo para todo el personal de la empresa [27].

En conclusión, la reestructuración del espacio destinado a las labores de elaboración y al resguardo de insumos en el taller INMECH, respaldada fundamentalmente en las estrategias de ordenamiento descritas en este apartado, representa la acción de mayor trascendencia para elevar el rendimiento cotidiano del establecimiento. Con relación a ello, la reordenación que se propone persigue ante todo el objetivo de mejorar el recorrido de los materiales entre las diferentes secciones, con lo que se eliminarán las demoras no productivas y se optimizará del todo la superficie. Por lo cual, la implementación de estas mejoras, como era de esperar, propiciará la actividad cotidiana del trabajo del personal, permitiendo en este sentido un flujo ininterrumpido de las actividades de la organización y logrando así una gestión sumamente ordenada a la par que provocará un desempeño más ágil y seguro en cada una de las fases operativas de la empresa [28].

Al ordenar físicamente las áreas de trabajo según la secuencia lógica del proceso productivo, eliminar los recorridos innecesarios de materiales y operarios, definir claramente las zonas de almacenamiento y reducir los tiempos de espera entre operaciones, se espera lograr una mejora significativa en la productividad, la calidad del trabajo y las condiciones laborales del personal de la empresa.

5 MÉTODO Y PROCEDIMIENTO

5.1 Descripción del proyecto

El presente proyecto tiene como enfoque el desarrollo de la propuesta de rediseño de las áreas de producción y almacenamiento de la empresa INMECH, por medio de la aplicación de las herramientas de ingeniería industrial con la orientación a la mejora de la distribución de la planta, la optimización del flujo de materiales y la reducción de las actividades que no producen valor en el proceso productivo.

El análisis de la organización del espacio es necesario, ya que el emplazamiento de las zonas laborales influye directamente en los desplazamientos del personal, en la utilización de la superficie disponible y en el tiempo que se tarda en realizar las tareas cotidianas. En este sentido, a medida que el número de pedidos ha ido creciendo, la organización de las tareas en el taller se ha ido ajustando gradualmente; como consecuencia, varios departamentos ya no siguen adecuadamente el orden usual del proceso de producción. Por lo tanto, es sencillo detectar cruces improductivos y recorridos largos entre los diferentes departamentos, circunstancias que impactan de manera significativa la fluidez del movimiento interno en las horas laborales.

En esta línea, la investigación tiene como objetivo enfocarse en identificar las deficiencias de espacio que existen dentro de la organización, lo que posibilita proponer cambios con el fin primordial de impulsar el progreso de los componentes. Por lo tanto, se prevé que esta propuesta mejore la eficiencia general de la organización, ya que garantizará una continuidad más prolongada de la dinámica interna. Es relevante destacar que este análisis es un componente fundamental para justificar la reestructuración propuesta.

En una primera fase, el proyecto contemplaba la evaluación del proceso de producción a través de la recolección de datos, el examen de las actividades y la observación directa en la planta. Después, se llevaban a cabo la valoración del flujo de materiales, el estudio de los tiempos, la identificación de las rutas y la determinación de las oportunidades para mejorar. Siguiendo esta línea de pensamiento, estas etapas posibilitaron establecer un cimiento bastante firme para las decisiones que se tomarían más adelante en el proyecto. La propuesta, como paso final, se basaba en la comparación de los métodos CRAFT, SLP y CORELAP; además, implementaba un método de selección a través de criterios ponderados. Se consideraron las conexiones entre las áreas, la circulación de los materiales, lo que se necesita para operar y el área necesaria para la nueva distribución con ese fin. Por lo tanto, se buscaba una organización eficaz del espacio

de producción basada en criterios destinados a disminuir los desplazamientos innecesarios, lo que permitiría mantener la continuidad del proceso.

El ámbito del proyecto incluye la evaluación interna de la área que guarda relación directa con la fabricación, materia prima, el almacenamiento, la transformación del producto, y los resguardos finales, los que dan como resultado una alternativa técnica de rediseño para una futura actuación de implementación en la empresa.

5.2 Variables de investigación

5.2.1 Variable independiente

Rediseño de la distribución de la planta: La variable corresponde a la propuesta de reorganización física de las áreas de almacenamiento y productivas de INMECH por criterios técnicos de distribución de la planta.

La variable independiente considera aspectos como:

- Ubicación de las áreas productivas
- Relación de los departamentos
- El flujo de los materiales
- La organización del espacio
- Las rutas internas de circulación

La modificación de las variables constituye la intervención planteada en el proyecto

5.2.2 Variable dependiente

Eficiencia operacional del proceso productivo: La variable corresponde al efecto dado por la distribución de la planta acerca del desempeño operacional.

La variable se evalúa por indicadores como:

- La distancia recorrida por los materiales
- El tiempo empleado en el transporte interno
- Los movimientos innecesarios
- La continuidad del flujo productivo
- El aprovechamiento del espacio

A la vez, permite la determinación del impacto del rediseño propuesto.

5.3 Flujo metodológico del proyecto

Con el propósito de presentar de manera ordenada las etapas que componen la investigación, se elaboró un flujo metodológico que permite visualizar la secuencia de actividades llevadas a cabo desde la recopilación inicial de información hasta la fase de evaluación.

El diagrama permitió la identificación de la relación de cada fase del proyecto, teniendo en cuenta que el estudio empieza con la recopilación de los datos de la situación actual de la empresa, luego el análisis del proceso productivo, las herramientas de distribución de la planta y finaliza con la comparación de los indicadores para la determinación de la mejora esperada.

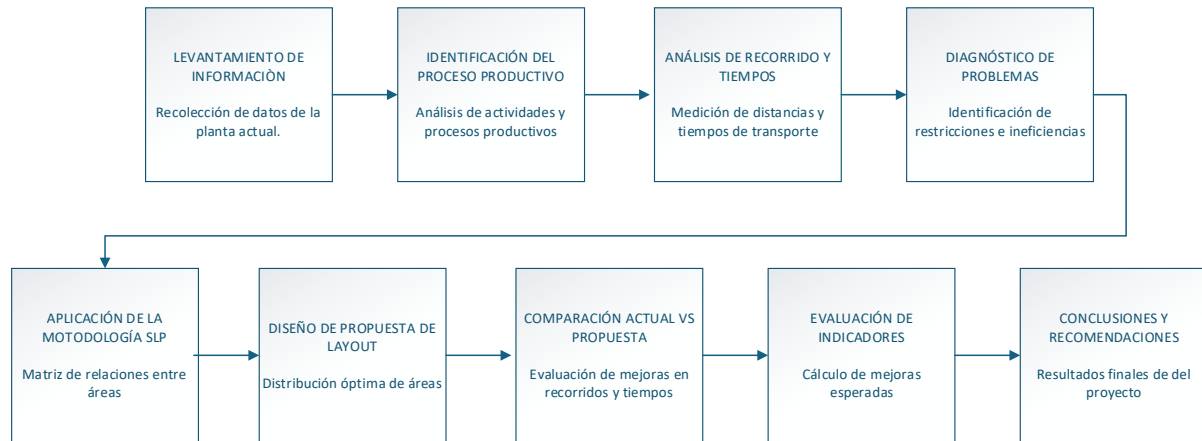


Figura 1. Flujo metodológico

El diagrama presentado resume la metodología del desarrollo del proyecto. Cada etapa consta de una fase para construir la propuesta de rediseño de la planta.

Al principio, se lleva a cabo la recopilación de información general. En esta fase, se determina toda la información relacionada con el estado actual del taller, las características del proceso de fabricación y los distintos departamentos involucrados en las jornadas. En este sentido, se logró identificar los problemas más evidentes asociados con el traslado de insumos y las dinámicas de movimiento del personal mediante el reconocimiento del trabajo y la evaluación detallada de los recorridos. Por lo tanto, gracias a esta primera fase se logró tener una visión bastante clara de la condición operativa del taller.

Por lo tanto, mediante el uso de la estrategia SLP, se estableció el nivel apropiado de cercanía entre los departamentos; así, fue posible hallar una solución organizativa basada principalmente en normas operativas totalmente definidas. Finalmente, se evaluó el impacto del rediseño de la planta en comparación con la situación inicial, tomando en cuenta factores como la disminución de los recorridos, una mejor continuidad en el desarrollo del trabajo o una reducción de las esperas al comenzar a trabajar. Esto propicia una rutina más eficiente, lo que a su vez permite un rendimiento mayor en toda la organización.

5.4 Datos de entrada para el desarrollo del proyecto

Para el desarrollo de la propuesta se consideró la recopilación y organización de la información técnica con relación al proceso productivo, las características operativas, la distribución física actual y el comportamiento del flujo de los materiales en las instalaciones.

Los datos de entrada constituyen la información base para el diagnóstico inicial, los diagramas del proceso y el cálculo de recorridos y tiempos de transporte interno, desarrollando así la propuesta con una nueva distribución en base a la metodología Systematic Layout Planning SLP.

La recopilación de los datos que se requerían para la evaluación, se llevó a cabo mediante la revisión del estado de la cuestión de las secciones de elaboración y resguardo de mercancías, el seguimiento físico de la práctica habitual y la valoración realizada de forma conjunta entre el personal de la firma. A este respecto, los ítems que se recopilaron se agruparon creando fundamentalmente cuatro categorías total y perfectamente definidas, logrando así un diagnóstico de los diversos y diferentes tipos de dinámicas internas. Tal es así que esta clasificación categorial estructurada permite diagnosticar y hacer seguimiento de forma precisa sobre la situación del taller, favoreciendo en este sentido el conocimiento de las cuestiones procedimentales de tipo habitual y proveyendo así la necesaria justificación para la elaboración de mejoras, es decir, asegura fundamentalmente una lectura ordenada de los hallazgos y favorece en consecuencia una toma de decisiones fundamentada en pos de buscar el beneficio del establecimiento:

- Información del proceso productivo.
- Los datos de distribución física
- Los datos operacionales
- Los criterios técnicos utilizados en el diseño de la propuesta

5.5 Información del proceso productivo

Los antecedentes que se recabaron en una primera etapa eran directamente la relación del procedimiento de elaboración ejercido en el taller INMECH, concretando a la perfección los pasos que intervienen desde la llegada de las materias primas a la obtención del producto final. En este sentido, la información recabada nos dio validez para marcar el camino real de nuestras actividades cotidianas con lo que se establece también las relaciones que existen entre las distintas secciones del centro de trabajo. En este sentido, la valoración en sí misma también fue capaz de detectar las interrelaciones entre departamentos, permitiendo en este sentido un entendimiento pormenorizado del funcionamiento interno, facilitando ante todo la ordenación de actividades, estructurando así la secuencia del trabajo de una forma pragmática, pero garantizando principalmente la continuidad de producción y favoreciendo así los caminos de trabajo integrado en el interior del taller.

Los datos considerados son:

Tabla 5. Información del proceso productivo

Dato recopilado	Descripción	Aplicación dentro del proyecto
Secuencia de los procesos	Orden real de la fabricación del producto	Creación del diagrama de proceso
Operación realizada	Actividades ejecutadas de acuerdo con cada estación	Identificación de las áreas críticas
Flujos de los materiales	Recorrido seguido por la materia prima y producto en proceso	Análisis de los movimientos
Área involucrada	Departamentos que participan conforme a la fabricación	Diseño del Layout
Interacción de los procesos	Relación de las operaciones consecutivas	Aplicación metodología SLP

Los datos recolectados hicieron posible evidenciar el funcionamiento del esquema de trabajo, identificando de esta manera los sectores que sostuvieron una comunicación más constante durante las actividades cotidianas. En esta línea, la mayor parte de los datos recopilados se utilizaron para determinar las relaciones de cercanía; estas, al ser ponderadas dentro de la opción propuesta, hicieron posible que los departamentos con un intercambio más alto de información estuvieran lo más próximos entre sí. Como resultado, la distribución sugerida busca reducir las distancias entre las instalaciones, promoviendo de esta manera un flujo constante de piezas entre las distintas secciones.

Asimismo, esta propuesta promueve principalmente el movimiento del personal, creando de este modo un flujo sin obstáculos en las actividades cotidianas. Por lo tanto, esta organización ayuda a robustecer el flujo del centro de producción. Es importante señalar que estos hallazgos demuestran la importancia crucial de una organización espacial apropiada para el rendimiento general del taller.

5.5.1 Datos de la distribución física de la planta

Para el análisis de la configuración actual de la planta fue necesaria la recopilación de información relacionada con la ubicación física de las áreas productivas. Estos datos permitieron la representación gráfica de la distribución existente y de los parámetros de evaluación: recorrido y aprovechamiento del espacio.

De esta manera, los principales datos físicos en el estudio son:

Tabla 6. Datos de la distribución física de la planta

Dato de entrada	Descripción	Aplicación dentro del estudio
Ubicación actual de las áreas	Distribución física	Elaboración del layout actual
Dimensiones de zonas	Espacio disponible por área	Diseño de propuesta
Distancia de las áreas	Separación de las estaciones de trabajo	Cálculo de recorridos
Rutas de desplazamiento	Trayectoria seguida de los materiales	Diagrama spaghetti

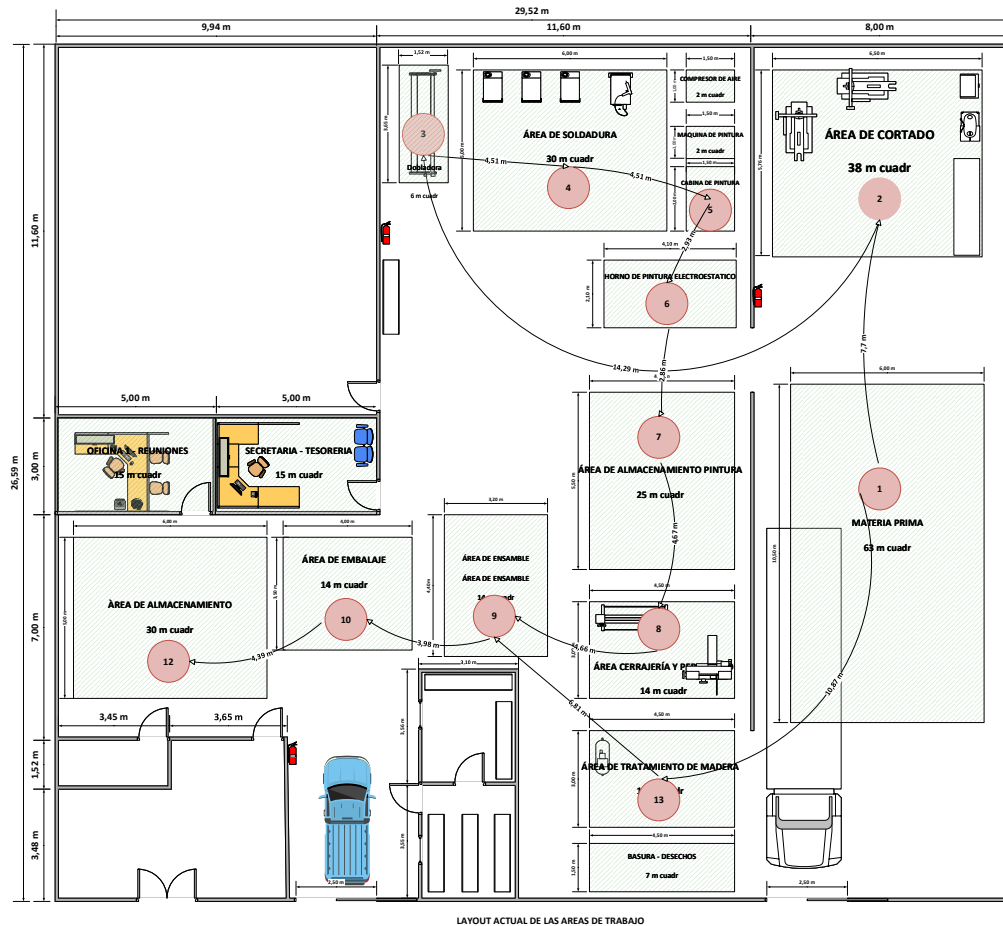


Figura 2. Layout actual de las áreas de trabajo de la planta

Los antecedentes recopilados posibilitaron la descripción de la situación actual de operación, estableciendo de esta manera las normas requeridas para comparar los diferentes modos de disposición dentro del taller. Con base en estos puntos, se determinó el posicionamiento de cada sector y los recorridos subsiguientes, con respecto a la metodología utilizada para evaluar el local. En consecuencia, un diagnóstico pormenorizado de la situación laboral reveló las áreas problemáticas del tráfico diario, lo que permitió implementar mejoras acordes con las necesidades reales del lugar de trabajo.

La información recolectada fue utilizada, sobre todo, como guía para establecer un espacio de trabajo mucho más eficaz, lo que permitió mantener una comunicación directa entre los talleres. Por lo tanto, esto permite que la planta funcione de manera más coordinada y dinámica. Es relevante destacar que estos resultados refuerzan el fundamento técnico en el que se basa la propuesta de redistribución.

5.5.2 Datos operacionales usados en el estudio

Para el análisis de la distribución fue necesaria la recopilación de información relacionada con las condiciones operativas del proceso productivo. Los datos permitieron la evaluación del comportamiento del sistema mediante indicadores cuantificables asociados al movimiento interno de los materiales, la continuidad del flujo y los tiempos de traslado de producción. Se obtuvo la información mediante la observación directa de las actividades desarrolladas en la empresa, considerando los desplazamientos realizados en el área, la secuencia real de fabricación y los tiempos asociados al transporte interno.

Tabla 7. Parámetros considerados en el análisis operacional

Dato operacional	Descripción	Aplicación dentro del proyecto
Tiempo de transporte interno	Duración del traslado del material entre áreas	Evaluación del desempeño actual
Distancia recorrida	Longitud del desplazamiento entre estaciones	Cálculo del recorrido total
Secuencia de movimientos	Orden de desplazamiento del producto durante fabricación	Análisis del flujo productivo
Número de traslados	Cantidad de movimientos realizados dentro del proceso	Determinación de carga de movimiento

Exactamente, con base en los datos recolectados, se establecieron las pautas cuantitativas asociadas a la ejecución de tareas ordinarias; estos parámetros se emplearían posteriormente para calcular los recorridos y el tiempo de trabajo. El propósito de esto era entender el impacto que tiene la organización del espacio en el transporte constante de los materiales dentro de las instalaciones. En relación a esto, los datos calculados permitieron comprender de manera precisa cómo el espacio disponible regula la cadencia de las actividades, mostrando así las etapas en que el avance del trabajo se retrasa o se interrumpe. Es relevante destacar que la evaluación precisa de los recorridos fue útil principalmente para promover las modificaciones en la ubicación de las diferentes secciones. Como consecuencia, se logró asegurar un tránsito sin obstáculos dentro del taller y también crear una ruta más corta entre los puestos de trabajo.

Esta mejora es crucial para acelerar la dinámica global de la empresa y, por lo tanto, optimizar mejor los recursos disponibles.

5.5.3 Criterios técnicos para el diseño de la propuesta

Con la finalidad de acondicionar la nueva distribución, se tomaron en consideración una serie de criterios en torno a cómo se disponía el espacio, a la secuencia de fabricación, y a las relaciones que se ha establecido entre los distintos espacios a los que se hacía referencia, planteando, así, una propuesta que diera respuesta a las necesidades reales de operación de la empresa, y no sólo a la disponibilidad del espacio físico.

Dichos criterios se articularon con los métodos SLP, CRAFT y CORELAP, dado que estas herramientas permiten ponderar la importancia de la proximidad entre los distintos departamentos y orientar la distribución hacia una mejora en la circulación del material a lo largo del proceso productivo.

Tabla 8. Parámetros considerados en el análisis operacional

Criterio técnico	Descripción	Aplicación
Flujo del material	Movimiento continuo entre las operaciones	Organización secuencial de áreas
Relación entre los departamentos	Nivel de interacción entre las zonas	Matriz de las relaciones SLP
Aprovechamiento de los espacios	Uso adecuado de las áreas disponibles	Diseño del layout
Reducción de los movimientos	Disminución de los recorridos innecesarios	Evaluación de mejora
Accesibilidad operativa	Facilidad de ingreso y de la salida de materiales	Distribución de la propuesta

Estos criterios propiciaron que se generara un dibujo estructurado a partir de la proposición de redistribución. Más tarde, se emplearon como criterio de decisión adquirido durante el proceso de configuración del layout propuesto.

5.6 Método del cálculo para la evaluación del rediseño

Para la propuesta fue necesaria la aplicación de los métodos de cálculo que permitieron transformar la información recopilada en indicadores cuantificables. Los cálculos se orientaron al análisis del desplazamiento interno de los materiales y al comportamiento operacional del proceso productivo.

El método aplicado permitió establecer comparaciones de la actualidad con la planta a través de parámetros como el tiempo de transporte, la distancia desplazada y el porcentaje de mejora alcanzado. Se calcularon las correspondientes soluciones mediante herramientas matemáticas orientadas al análisis de la distribución en planta utilizando Excel para la organización de datos, gráficos y presentado en tablas de resultados.

5.6.1 Cálculo de la distancia recorrida del material

Se determinó la distancia total que recorren los materiales en las distintas fases del proceso de producción con el fin de describir cómo se comporta el flujo de estos.

$$DT = \sum_{i=1}^n di \quad (IV\ 1)$$

Donde:

DT: distancia total recorrida del material (m)

di: distancia individual entre áreas consecutivas (m)

n: número total de desplazamientos considerados

De esta manera, el procedimiento para la obtención de este indicador fue el siguiente:

- Identificación del recorrido: Determinación de la trayectoria seguida por el material.
- Medición de las distancias: Registro de la separación entre las áreas.
- Organización de los datos: Ingreso de los valores obtenidos en la matriz.
- Aplicación de la fórmula: Sumatoria de los recorridos.

Se usó la distancia calculada como variable de evaluación en el proyecto, lo que permitía comparar el trayecto con el que el recorrido realizado por la distribución de la situación actual, respecto a la opción que se presentaba.

5.6.2 Cálculo del tiempo total del transporte interno

Para complementar el análisis de la distribución actual de la planta fue necesario determinar el tiempo empleado en los desplazamientos internos de los materiales durante el proceso productivo. El cálculo del tiempo de transporte interno tuvo en cuenta el desplazamiento entre las estaciones de trabajo, considerando la secuencia de los procesos y los movimientos necesarios en el traslado de la materia prima.

$$TT = \sum_{i=1}^n ti \quad (IV\ 2)$$

Donde:

Donde: TT = el tiempo total de transporte interno (min); ti = el tiempo dedicado a los traslados. Conversión: los tiempos base referidos a los diagramas analíticos son en s/hombre (s). Para la toma de la fórmula se convierte: TT (min) = $\sum ti (s)/60$, es decir, resulta que 1 min = 60 s. Esta conversión se llevaría a cabo antes de calcular RT.

ti = El tiempo empleado en los traslados (s, convertido a min dividiendo entre 60)

n = El número total de los movimientos considerados

Para la obtención del indicador se consideró lo siguiente:

- Identificación de los movimientos: Determinación de los traslados realizados en el proceso.
- El registro de los tiempos: La medición del tiempo empleado en los desplazamientos
- La organización de la información: Clasificación de los datos de acuerdo con el recorrido y la operación.
- El cálculo final: La sumatoria de los tiempos registrados.

El valor resultante del cálculo fue utilizado como factor de comparación en la evaluación del rediseño del layout de la planta, lo que permitió estudiar el comportamiento que esperábamos del proceso a raíz de una nueva disposición física a la vez que se ligaba con el hecho de minimizar aquellos tipos de operaciones que incluyen actividades sin valor añadido.

5.6.3 Cálculo de la reducción de la distancia por la comparación de los escenarios

La evaluación del efecto de la propuesta de redistribución de la planta se realizó comparando las distancias recorridas bajo la distribución actual y la distancia estimada del nuevo diseño. El análisis permitió la determinación de la variación existente entre los escenarios mediante el indicador porcentual.

El cálculo se realiza considerando la diferencia entre la que le correspondería a la del recorrido inicial y aquella que con el procedimiento propuesto se alcanza, por lo que relacionamos la diferencia con la condición inicial de la operación.

$$RD (\%) = \frac{DA - DP}{DA} \quad (IV\ 3)$$

Donde:

RD: porcentaje de reducción de distancia (%)

DA: distancia recorrida actual (m)

DP: distancia recorrida propuesta (m)

El procedimiento del cálculo fue el siguiente:

- La determinación de la distancia actual: obtención del recorrido producido por la distribución existente.

- La determinación de la distancia propuesta: Se estima el recorrido por el nuevo layout.
- La aplicación de la ecuación: El cálculo de la diferencia porcentual
- La interpretación técnica: El análisis del cambio producido por la propuesta

La aplicación del indicador permitió mostrar de manera cuantificable el comportamiento que se esperaba para el flujo de los materiales tras la propuesta del rediseño, además se utilizó en la posterior comparación de la situación actual con la alternativa que se propuso.

5.6.4 Cálculo de la reducción del tiempo de transporte interno

Como complemento del estudio de la distancia a recorrer, se ha analizado la variación en el tiempo dedicado a los desplazamientos internos, cuyo objetivo reside en poder determinar hasta qué punto el nuevo layout tiene influencias sobre las actividades de transporte de materiales por la planta. Para obtener este indicador, se ha comparado el tiempo de recorrido de la situación actual con el tiempo estimado para la propuesta de layout y así poder expresar la diferencia en términos de un porcentaje de reducción.

$$RT (\%) = \frac{TA - TP}{TA} \quad (IV\ 4)$$

Donde:

Donde: RT = porcentaje de reducción del tiempo (%); TA = tiempo actual de transporte (min) = $\Sigma ti_actual (s)/60$; TP = tiempo propuesto de transporte (min) = $\Sigma ti_propuesto (s)/60$.

Conversión explícita de unidades aplicada: datos base en segundos/hombre divididos entre 60 antes de RT = $(TA-TP)/TA*100$.

TA: Es el tiempo actual de transporte (min)

TP: Es el tiempo propuesto de transporte (min)

- El procedimiento del cálculo se determinó mediante el siguiente proceso:
- Registro del tiempo actual: La obtención del tiempo empleado en la actualidad,
- La estimación del tiempo propuesto: La determinación del nuevo recorrido.
- Aplicación del modelo matemático: El cálculo porcentual
- Comparación de los resultados: La evaluación de la variación esperada.

El indicador permitió analizar la influencia del rediseño sobre la eficiencia operacional, considerando que una distribución adecuada contribuye a la disminución de los desplazamientos internos y a la mejora de la continuidad de los procesos productivos.

5.6.5 Matriz de comparación de los indicadores de desempeño

Con el objetivo de estructurar la evaluación técnica de la oferta, se creó una matriz comparativa que contenga los indicadores que ya se habían establecido para el análisis de la distribución actual y los posibles escenarios que se debían dar, matriz que también sirvió para ordenar la información conforme al proceso de cálculo y, como consecuencia, facilitar la comprensión de los resultados de una evaluación posterior a su elaboración.

Los indicadores se articularon teniendo presente los objetivos del proyecto, considerando para ello las variables asociadas al flujo de los materiales, los tiempos de las operaciones y el aprovechamiento de la distribución física de la planta.

Tabla 9. Estructura de comparación

Indicador	Situación actual	Situación propuesta	Método de evaluación
Distancia recorrida	Recorrido generado en layout actual	Recorrido estimado con nuevo layout	Ecuación de reducción
Tiempo del transporte	Tiempo empleado	Tiempo esperado con la propuesta	Comparación porcentual
Flujo de material	7 interrupciones: 4 cruces y 3 retrocesos entre áreas (layout actual Figura 2)	Flujo unidireccional sin cruces ni retrocesos (0 cruces, 0 retrocesos) en layout SLP propuesto	Análisis
Distribución de las áreas	Ubicación	Nueva configuración espacial	Evaluación por SLP, CRAFT y CORELAP

La matriz permitió la integración de los resultados obtenidos en los análisis del proyecto. Esta información se utilizó para demostrar la relación entre la redistribución de la planta y los indicadores de desempeño operacional considerados en la investigación.

5.6.6 Aplicación de la metodología Layout

Para el desarrollo de la propuesta de redesign se utilizaban los métodos SLP, CRAFT y CORELAP, en tanto que estos métodos permiten estructurar el diseño de la distribución mediante la interpretación sistemática de las relaciones producidas entre las áreas productivas. Se utilizaron estos métodos como herramienta de decisión para la organización espacial y el flujo de los materiales, las necesidades del proceso y la secuencia operacional.

La aplicación de los tres métodos ha estado basada en la información obtenida durante el diagnóstico inicial de la planta en la que se ha considerado la ubicación de las áreas, interacción entre departamentos, recorridos internos y requisitos operativos a alcanzar.

El desarrollo del procedimiento de evaluación de la distribución existente permite continuar la generación de las alternativas de layout.

Tabla 10. Etapas del método SLP aplicadas en el proyecto

Etapas	Descripción del procedimiento
Análisis de los procesos productivos	Identificación de operaciones y secuencia de la fabricación
Análisis del flujo	Evaluación del recorrido del material de áreas
Análisis de las relaciones	Determinación de proximidad entre departamentos
Generación de las alternativas	Diseño de las opciones de distribución
Selección de propuesta	Evaluación de la alternativa más adecuada

Por un lado, el empleo de las distintas fases metodológicas permitió crear propuestas de distribución que se alineaban con las directrices técnicas establecidas y consideraban tanto la reorganización del espacio físico como la interacción real entre actividades productivas.

La utilización del método de tipo CRAFT tuvo como insumos de partida la distribución física de la planta actual y la información de tipo cuantitativo existente sobre el flujo de tipo material entre las áreas de tipo productivo anterior; en virtud de que el algoritmo en cuestión es el que determina el efecto que tendría el hecho de la redistribución de los departamentos sobre el coste total de transporte interno.

Tabla 11. Etapas del método CRAFT aplicadas en el proyecto

Etapas	Descripción del procedimiento
Construcción de la matriz de distancias	Determinación de la distancia entre cada par de áreas de la distribución actual.
Construcción de la matriz de flujo de materiales	Cuantificación del volumen de materiales movido entre cada par de áreas por unidad de tiempo.
Cálculo del costo de transporte	Multiplicación de la distancia por el flujo entre cada par de áreas y suma de los productos para obtener el costo total de transporte de la distribución vigente.
Intercambio por pares de departamentos	Evaluación del efecto, sobre el costo total, de intercambiar la ubicación de cada par de áreas dentro de la distribución.
Conservación de las mejoras	Aceptación únicamente de los intercambios que produjeron una reducción del costo total de transporte.

Etapas	Descripción del procedimiento
Repetición del proceso	Iteración del intercambio de pares hasta que ningún cambio adicional generó una reducción de costo, obteniendo así la alternativa CRAFT.

Lo que este procedimiento llevó a cabo fue un diseño alternativo de distribución que dio lugar a la distribución de la planta actual, de una forma que el costo del transporte interno de materiales sea mínimo (la reducción del costo de transporte interno de materiales fue la finalidad de ese diseño de la distribución de la planta que trajo a cabo).

Mientras que CRAFT partía de la distribución la planta actual, lo que el método CORELAP hizo fue lo contrario, es decir, construir la alternativa de distribución desde cero, colocando poco a poco las diferentes áreas de acuerdo con su grado de relación con el resto.

Tabla 12. Etapas del método CORELAP aplicadas en el proyecto

Etapas	Descripción del procedimiento
Elaboración de la tabla relacional de actividades	Calificación del grado de cercanía requerido entre cada par de áreas mediante la escala A, E, I, O, U y X.
Cálculo de la calificación total de cercanía (TCR)	Suma, para cada área, de los valores numéricos de relación que mantiene con el resto de las áreas.
Selección del área inicial	Ubicación en el centro del layout del área con la mayor calificación total de cercanía.
Incorporación secuencial de áreas	Adición progresiva de las demás áreas, priorizando en cada paso a la que mantuvo mayor grado de relación con las ya ubicadas.
Verificación de la disposición final	Revisión de que la distribución generada respetó las relaciones de cercanía definidas en la tabla relacional.

Como resultado de este proceso se obtuvo una segunda opción de distribución que no se basaba en la actual distribución del layout de la planta, sino que se derivaba única y exclusivamente del criterio de afinidad entre las áreas productivas.

5.6.7 Aplicación del método de criterios ponderados

Una vez generadas las tres alternativas para la distribución mediante CRAFT, CORELAP y SLP, es necesario escoger de un modo objetivo la propuesta más atractiva para INMECH, habiéndose aplicado la metodología de la aplicación de los criterios ponderados, donde para el planteamiento del proyecto se han considerado y ponderado los factores de la evaluación.

Según Muther (1973) en Systematic Layout Planning y Niebel y Freivalds (2014) en Ingeniería Industrial: Los métodos, estándares y diseño del trabajo: los parámetros convencionales para analizar las opciones de distribución en planta se basan en reducir al mínimo el desplazamiento y la duración de la manipulación de materiales. Además, se toman en cuenta el uso del espacio, la sencillez para implementarlo y el costo vinculado a cada opción. En este sentido, los cinco criterios (disminución del recorrido, disminución del tiempo de transporte, optimización del espacio, facilidad para implementar y costo asociado) mencionados anteriormente en el marco teórico son bastante comunes en la literatura especializada en distribución en planta.

Por eso, se eligieron esos criterios porque están directamente relacionados con los indicadores cuantitativos de tiempo y distancia que se calcularon en este proyecto. Es fundamental enfatizar que esta elección se debe a la necesidad de tener parámetros de evaluación muy sólidos y congruentes con los datos adquiridos. Por lo tanto, estos criterios posibilitan que se refuerce la validez técnica de la comparación entre las diferentes opciones propuestas.

Un ejemplo adicional que se extrae de la Administración de Operaciones es el de Chase et al. (2009), quienes afirman que la elección del diseño debe basarse en diversos criterios vinculados con la eficiencia del flujo. Simultáneamente, estos criterios incluyen los costos de implementación asociados y el uso del espacio. En esta línea, como se mencionó anteriormente, estos elementos concuerdan con los cinco criterios que se incorporan en el trabajo actual, lo cual fortalece la coherencia teórica de la propuesta presentada.

Tabla 13. Criterios de evaluación utilizados para la selección de la alternativa

Criterio de evaluación	Aspecto considerado
Reducción del recorrido de materiales	Distancia total recorrida por los materiales en cada alternativa.
Reducción del tiempo de transporte	Tiempo empleado en los desplazamientos internos en cada alternativa.
Aprovechamiento del espacio disponible	Uso eficiente de la superficie de la planta en cada alternativa.
Facilidad de implementación	Magnitud de los cambios físicos requeridos para materializar la alternativa.
Costo asociado	Inversión estimada necesaria para implementar la alternativa.

Dichos parámetros, específicamente, mantuvieron una conexión directa con los indicadores que se calcularon en los epígrafes previos, especialmente en lo que respecta al tiempo de transporte y a la distancia recorrida. Además, estos criterios se materializaron en elementos cualitativos de viabilidad que cumplan con los parámetros fijados dentro del marco referencial de este

enfoque. En esta línea de pensamiento, este doble enfoque, tanto cuantitativo como cualitativo, ayuda a consolidar la robustez del análisis propuesto.

Tabla 14. Procedimiento de calificación de las alternativas

Etapas	Descripción del procedimiento
Definición de los criterios	Establecimiento de los factores de evaluación relevantes para el proyecto.
Asignación de pesos	Distribución de un peso relativo a cada criterio, de modo que la suma de los pesos fue igual al 100 %.
Calificación de las alternativas	Evaluación de las alternativas SLP, CRAFT y CORELAP respecto a cada criterio, mediante una escala numérica.
Cálculo de la puntuación total	Obtención de la puntuación de cada alternativa como la suma de las calificaciones ponderadas por su peso correspondiente.
Selección de la propuesta	Elección de la alternativa con la mayor puntuación total como la propuesta de rediseño final.

Los pesos asignados a cada criterio y las calificaciones obtenidas por cada alternativa, así como la puntuación total resultante y la propuesta seleccionada, se presentan con su respectivo sustento cuantitativo en el capítulo de análisis y discusión de resultados.

5.6.8 Procedimiento de validación de la propuesta de distribución

Para evaluar la funcionalidad de la propuesta se realizó una comparación técnica entre la distribución actual y las alternativas planteadas. La validación se basó en los indicadores definidos en la investigación, considerando los aspectos relacionados con el flujo de los materiales y el desempeño operacional.

La valoración no se enfocó únicamente en el cambio que experimenta la configuración visual al ser reestructurada, sino también en las áreas que sufrirán alteraciones en lo que respecta a las condiciones del proceso productivo.

Tabla 15. Indicadores usados en la validación

Indicador evaluado	Método de análisis
Distancia recorrida	Comparación mediante cálculo de recorridos
Tiempo de transporte interno	Evaluación de tiempos asociados a movimientos
Flujo del material	Análisis mediante diagramas de recorrido
Relación entre áreas	Evaluación mediante SLP, CRAFT y CORELAP
Distribución espacial	Comparación gráfica de layouts

La aplicación de los indicadores permitió el establecimiento de la evaluación técnica de la propuesta de rediseño, en relación con la configuración espacial planteada y los objetivos del proyecto.

Tabla 16. Procedimiento del desarrollo del proyecto

Fase	Actividades realizadas
Fase 1: Diagnóstico inicial	Levantamiento de la información y el análisis de distribución actual
Fase 2: Análisis de los procesos	Identificación de las operaciones y el flujo de materiales
Fase 3: Evaluaciones técnicas	Cálculo de los recorridos y los tiempos internos
Fase 4: Diseño de la propuesta	Aplicación del SLP y la elaboración del layout
Fase 5: Evaluación	Comparación entre la situación actual y la propuesta

La organización en fases posibilitó la preservación de un método ordenado, donde cada actividad realizada ayudó a producir los datos necesarios para el avance de los resultados del proyecto.

6 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Realizar un diagnóstico de la empresa identificando las deficiencias en la distribución de las áreas de producción y almacenaje.

6.1 Información general de la empresa

Tabla 17. Información de la empresa

Información de la empresa	
Logotipo	
Razón social	Metal - Mecánica INMECH
Ruc	502118086001
Actividad	Fabricación de productos de acero y hierro
N de trabajadores	18
Tamaño	Empresa pequeña

6.1.1 Historia.

La empresa metalmecánica INMECH se encuentra ubicada en el cantón Saquisilí en la provincia de Cotopaxi su propietario es el Sr. Luis Chuquilla, se dedica a fabricar todo tipo de productos en metal o acero, hace 5 años comenzó a trabajar por medio de catálogos electrónicos para la plataforma de Servicio de Compras Públicas del gobierno, donde se ha dedicado a la fabricación de bienes para unidades educativas e infraestructuras para diferentes entidades públicas de la zona 3.

6.1.2 Misión

Somos una empresa metalmecánica dedicada a la producción de bienes de metal y de acero para satisfacer las necesidades y expectativas de nuestros clientes a nivel nacional.

6.1.3 Visión

Ser una empresa metalmecánica dedicada a la producción de bienes de metal y acero con los mejores estándares de calidad, para consolidarse como una de las mejores a nivel nacional satisfaciendo las necesidades de los clientes y del mercado.

6.1.4 Política

Somos una empresa metalmecánica comprometida con los estándares de calidad y la satisfacción del cliente que se dedica la producción de bienes de metal y acero para su

comercialización a nivel nacional teniendo como pilar fundamental a la mejora continua en cada uno de nuestros procesos.

6.1.5 Alcance

Somos una empresa metalmecánica dedicada a la producción de bienes de metal y acero para su comercialización a nivel nacional en las provincias de la zona 3.

6.2 Diagnóstico de la situación actual de la empresa

Para el cumplimiento del primer objetivo de la investigación, orientado al diagnóstico de la empresa INMECH para la identificación de las deficiencias en la distribución en las áreas de producción y almacenaje, se tuvo un levantamiento del proceso productivo por el análisis documental, la observación directa, visitas de campo a las instalaciones de la empresa.

El levantamiento permitió que se identifique la secuencia operacional usada en la fabricación de los productos metalmecánicos, teniendo en cuenta que INMECH trabaja con un sistema de producción bajo pedido con lotes de bajo volumen, requerimientos variables y características que implican el manejo de los tipos de productos dentro del espacio productivo. Esta condición hace necesario que se cuente con una distribución flexible para mantener un flujo continuo de los materiales.

6.2.1 Diagnóstico

En el diagnóstico se analizó las áreas principales que intervienen dentro del proceso productivo:

- El almacenaje de la materia prima
- Corte de los materiales
- La preparación de las piezas o doblado
- La soldadura
- El acabado
- El almacenamiento de los productos terminados

La información permitió que se determine que la distribución actual tiene una organización basada en la disponibilidad y el crecimiento progresivo de la empresa, produciendo que ciertas áreas consecutivas en el proceso estén separadas físicamente. Lo que ocasione recorridos adicionales de materiales, acumulación temporal de productos en el proceso y desplazamientos frecuentes del personal.

6.2.2 Checklist 5S por área productiva (diagnóstico rápido)

La evaluación fue determinada mediante observación directa y durante el levantamiento de campo realizado en las instalaciones de INMECH, conforme a las deficiencias previamente expuestas (desorden de materiales, ausencia de una zona claramente definida para producto terminado, recorridos adicionales, acumulación temporal de los productos en proceso). La escala utilizada era de 1 (deficiente) a 5 (óptimo).

Tabla 18. Checklist 5S por área productiva – Resultado cuantificado (escala 1-5)

Área	Clasificar (Seiri)	Ordenar (Seiton)	Limpiar (Seiso)	Estandarizar (Seiketsu)	Disciplina (Shitsuke)	% de cumplimiento
Ajuste y preparación	2	2	2	1	2	36,0 %
Corte	2	2	3	1	2	40,0 %
Doblado	3	2	2	2	2	44,0 %
Soldado	2	2	2	1	2	36,0 %
Pintado	2	1	2	1	2	32,0 %
Ensamble y acabado / Almacenaje final*	1	1	2	1	1	24,0 %
% GENERAL	40,0 %	33,3 %	43,3 %	23,3 %	36,7 %	35,3 %

* El ámbito de Ensamble y Acabado el que comprende la zona de almacenamiento del producto acabado, es un ámbito en el cual no hay ausencia de definición para el producto acabado que afecta a Seiri y Seiton. Para el porcentaje general <40 % se observó una ocasión crítica de mejora una vez antes del rediseño.

6.2.3 Análisis ABC para justificación del producto de referencia (volumen de facturación por contrato)

Este análisis corresponde a un análisis ABC adaptado a volumen de facturación por proyecto/contrato, no al ABC clásico de inventarios por rotación, dado que INMECH trabaja

bajo sistema de producción por contrato. El resultado muestra que el mobiliario escolar (kits 2,3,4, mesas pupitre, sillas estudiantiles y pizarras) concentra aproximadamente el 92% del valor contratado, y solo los kits 4 y mesas pupitre representan más del 60%. Esto justifica la selección del kit estudiantil/pupitre como producto de referencia del estudio, por ser el de mayor impacto económico y el que mayor flujo genera en planta.

Tabla 19. Análisis ABC por volumen de facturación (contratos 2024-2026) – Agrupado por elemento.

Clasificación A hasta ~80% acumulado, B hasta ~95%, C resto

Elemento (agrupado)	Monto total (\$)	% individual	% acumulado	Clasificación ABC
Mesa pupitre (500mm x 800mm x 705mm)	331284.87	34.19%	34.19%	A
Silla estudiantil (metal-polipropileno)	195737.36	20.20%	54.39%	A
Kit 4 mobiliario escolar (1ero a 3ero BGU)	170747.92	17.62%	72.02%	A
Kit 3 mobiliario escolar (8avo a 10mo EGB)	142601.02	14.72%	86.73%	B
Kit 2 mobiliario escolar (5to a 7mo EGB)	58277.77	6.01%	92.75%	B
Pizarra estudiantil (LONGITUD: 1m-1,99m/ ANCHO: 1,20 m)	44389.22	4.58%	97.33%	C
Silla para docentes	11614.70	1.20%	98.53%	C
Escritorio tipo 8	4657.16	0.48%	99.01%	C
Archivador (480mm x 630mm x 2000mm)	2355.57	0.24%	99.25%	C
Silla docente	2148.38	0.22%	99.48%	C
Sillas docente	2014.11	0.21%	99.68%	C
Armario biblioteca	1271.37	0.13%	99.81%	C
Basureo individual baños	1004.27	0.10%	99.92%	C
Armario biblioteca (900mm x 350mm x 2000mm)	432.57	0.04%	99.96%	C
Basurero individual administrativo	360.99	0.04%	100.00%	C

6.2.4 Caracterización del proceso productivo actual

Respecto al levantamiento realizado, se estructuró el proceso de producción actual, señalando las operaciones más importantes, los inconvenientes presentes en cada fase y los recursos empleados.

Tabla 20. Procedimiento del desarrollo del proyecto

N	Proceso	Actividad	Área	Entrada del proceso	Salida del proceso	Problema
1	Ajuste y preparación	Ingreso de los tubos, perfiles y láminas metálicas	Almacenamiento	Material comprado	Materia prima disponible	Material sin ubicación estandarizada
2	Cortes	Dimensionamiento de las piezas según los requerimientos del pedido	Área de corte	Láminas y perfiles	Piezas cortadas	Traslado de zonas alejadas
3	Preparaciones	Ajuste, la limpieza y el acondicionamiento de piezas	Preparación	Piezas cortadas	Componente preparado	Movimientos adicionales
4	Soldaduras	Unión de los componentes metálicos mediante la soldadura	Soldaduras	Piezas preparadas	Estructura de ensamble	Acumulación de los trabajos
5	Acabado	Lijado, pintura y la revisión final	Acabado	Productos ensamblados	Productos terminados	Espacios limitados
6	Almacenamiento final	Ubicación del producto terminado	Zona disponible	Productos terminados	Entrega hacia el cliente	No existe zona definida

La caracterización de los procesos ha permitido confirmar que la organización sí cuenta con una secuencia productiva. Sin embargo, la distribución física de la misma no sigue estrictamente dicha secuencia. Esto trae consigo el principal problema de que existe una falta de la alineación del flujo del producto con la disposición espacial de las áreas de trabajo.

material según el diseño del producto, con verificación de cumplimiento antes de enviarlo al área de cortado (trazado).

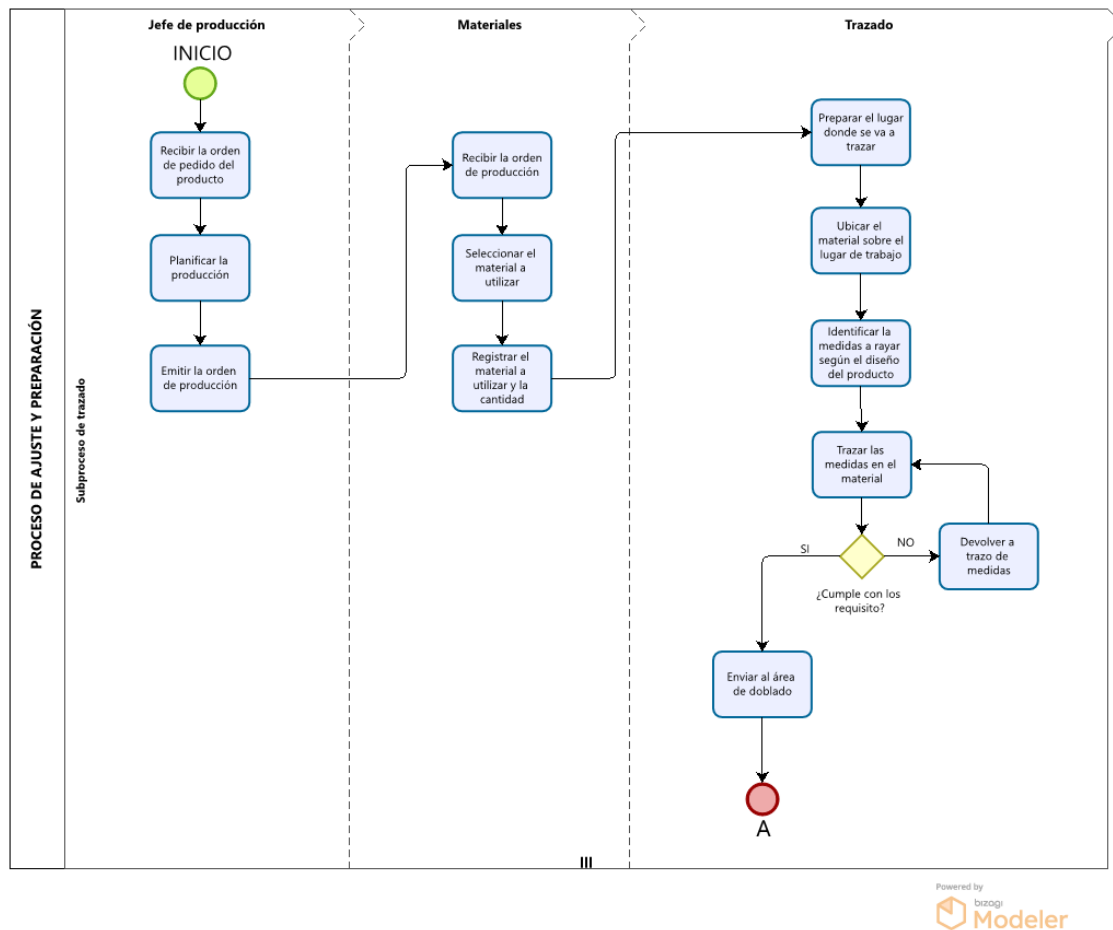


Figura 4. Diagrama de flujo del proceso de ajuste y preparación.

El ajuste y la preparación es un paso anterior en el proceso de producción, que se centra principalmente en ajustar y preparar los componentes metálicos de la estructura del pupitre escolar. Los procesos de medición y verificación dimensional de las piezas adquiridas también están vinculados en esta misma etapa. De este modo, tras ser verificadas, estas piezas se envían a la etapa de producción subsiguiente, lo que asegura la continuidad del proceso productivo.

Tabla 21. Diagrama analítico del proceso de ajuste y preparación.

DIAGRAMA ANALÍTICO DEL PROCESO DE AJUSTE Y PREPARACIÓN												
Hoja N°			Diagrama N°: 1			Operario/Material/Equipo						
PROCESO: FABRICACIÓN PUPITRE ESCOLAR			RESUMEN									
Fecha:			SÍMBOLO		ACTIVIDAD		TOTAL					
24/06/2026					Operación		9					
Nombre del operario:					Transporte		1					
Op_01					Inspección		1					
Elaborado por:					Espera		0					
					Almacenaje		0					
Tamaño de lote:			Total de actividades realizadas					11				
			Distancia total en metro					25				
			Tiempo min/hombre					1320				
N°	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO		CANTIDAD	DISTANCIA (m)	TIEMPO (s)	SÍMBOLOS DEL PROCESO					OBSERVACIONES	
												
1	Recibir la orden de pedido del producto		1		120,00							
2	Planificar la producción				300,00							
3	Emitir la orden de producción				120,00							
4	Recibir la orden de producción				60,00							
5	Seleccionar el material a utilizar			16,00	120,00							
6	Registrar el material a utilizar y la cantidad			1,00	60,00							
7	Preparar el lugar donde se va a trazar			1,00	60,00							
8	Ubicar el material sobre el lugar de trabajo			1,00	120,00							
9	Identificar la medidas a rayar según el diseño del producto			1,00	60,00							
10	Trazar las medidas en el material				120,00							
11	Enviar al área de cortado			5,00	180,00							
TOTAL			1	25,00	1320							

Los resultados indican que el proceso de ajuste y preparación que está compuesta por 11 actividades de las cuales 9 corresponden a operaciones. El proceso necesita de 1320 segundos y un recorrido de 25 metros.

6.2.6 Análisis del proceso de cortado

El diagrama de flujo específico del procedimiento de corte se presenta en la figura 5. Para un flujo adecuado, este procedimiento se estructura en tres etapas que se distinguen claramente: banco de trabajo, corte y rayado o trazado.

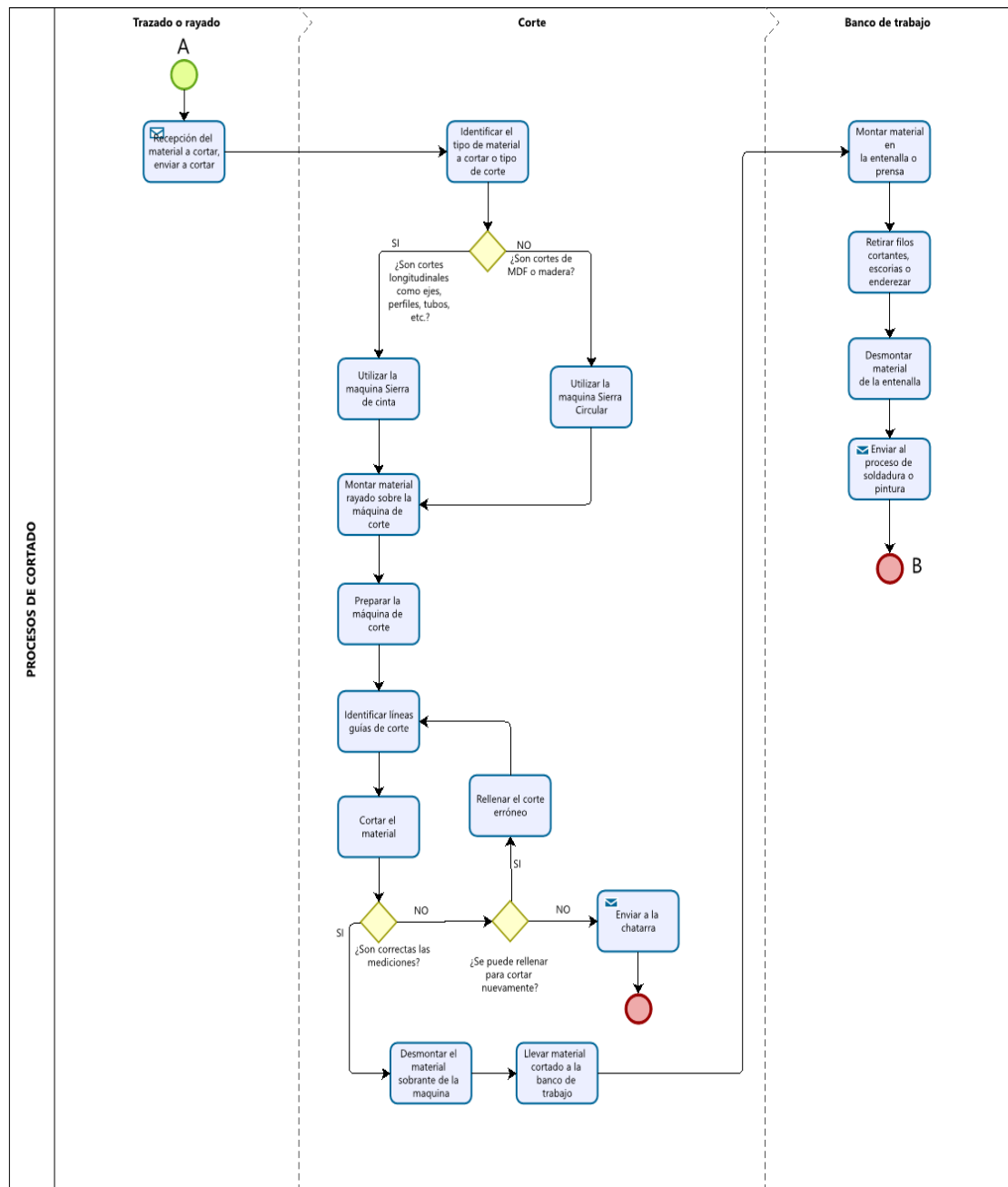


Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de cortado

El proceso de corte es el que asegura que las partes metálicas para la estructura del escritorio escolar estén listas. En esta fase, se llevan a cabo las actividades de medir y cortar tubos redondos y platinas. Asimismo, se examinan las medidas de las piezas adquiridas. Considerando el diagrama analítico del proceso, la etapa necesita de la ejecución de las actividades repetitivas dado la preparación de los diferentes componentes con las dimensiones específicas, lo que produce la interacción constante de la medición, operación de corte y manipulación del material.

Tabla 22. Diagrama analítico del proceso de cortado

DIAGRAMA ANALÍTICO DEL PROCESO DE CORTADO										
Hoja N°		Diagrama N°: 2		Operario/Material/Equipo						
PROCESO: FABRICACIÓN PUPITRE ESCOLAR				RESUMEN						
Fecha:		SÍMBOLO		ACTIVIDAD		TOTAL				
24/06/2026				Operación		9				
Nombre del operario:				Transporte		1				
Op_01				Inspección		2				
Elaborado por:				Espera		0				
				Almacenaje		0				
Tamaño de lote:		Total de actividades realizadas					12			
		Distancia total en metro					18			
		Tiempo min/hombre					870			
N°	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	CANTIDAD	DISTANCIA (m)	TIEMPO (s)	SÍMBOLOS DEL PROCESO					OBSERVACIONES
										
1	Recepción del material a cortar	1	1,00	60,00						
2	Identificar el tipo de material a cortar o tipo de corte			60,00						
3	Montar el material rayado sobre la máquina de corte			90,00						
4	Preparar la máquina de corte			60,00						
5	Identificar líneas guías de corte			60,00						
6	Cortar el material			120,00						
7	Desmontar el material sobrante de la maquina			60,00						
8	Llevar material cortado a la banco de trabajo		2,00	60,00						
9	Montar material en la entenalla o prensa			60,00						
10	Retirar filos cortantes, escorias o enderezar			120,00						
11	Desmontar material de la entenalla			60,00						
12	Enviar al proceso de doblado		15,00	60,00						
TOTAL		1	18,00	870						

Los resultados indican que el proceso de cortado se encuentra conformado por 12 actividades totales, en el que existen una participación importante de las actividades de operación, siendo un 75% del total de las actividades.

$$\% \text{ actividad} = \frac{\text{número de actividades}}{\text{total de actividades}} * 100$$

$$\% \text{ actividad} = \frac{9}{12} * 100$$

$$\% \text{ actividad} = 75\%$$

Este valor muestra que una parte importante del proceso está relacionada con el transporte y la manipulación del material, actividades que no afectan directamente a las características del producto, pero que constituyen una necesidad por la forma de organización actual del trabajo.

A la vez, la distancia acumulada del proceso responde a 18 metros, mientras que el tiempo requerido alcanza 870 segundos/hombre, valores que se utilizan para comparar el desempeño actual versus la propuesta de redistribución.

6.2.7 Análisis del proceso de doblado

El diagrama de flujo del proceso de doblado se presenta en la figura 6, con un detalle exhaustivo. Para asegurar un flujo adecuado, este proceso se organiza en dos fases secuenciales: el rayado o trazado y el doblado.

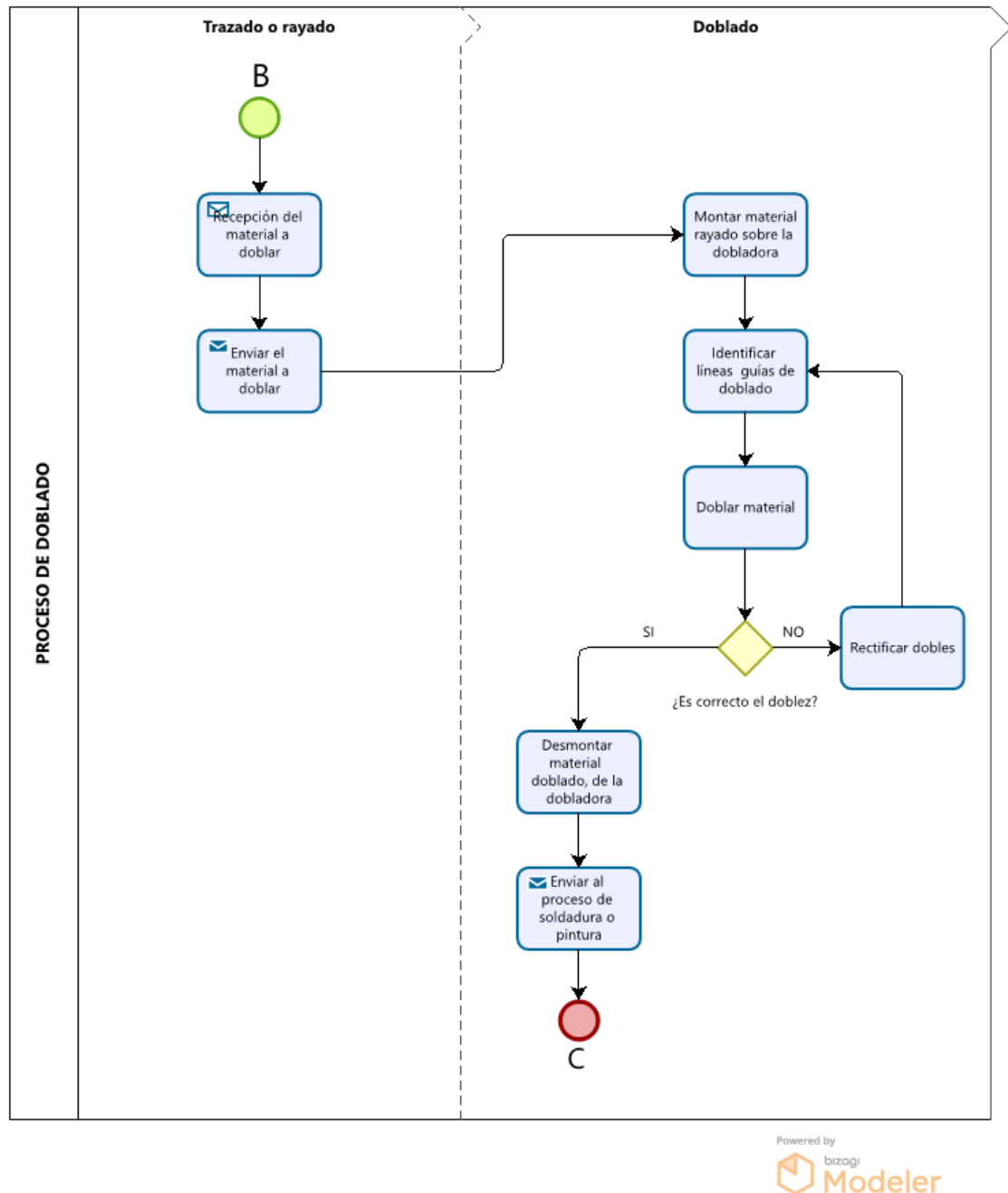


Figura 6. Diagrama de flujo del proceso de doblado

La actividad de doblado corresponde a la segunda fase de la manufactura de sillas para el aprendizaje. En esta fase, la pieza manufacturada a partir del corte es sometida a las deformaciones controladas mediante el uso de la dobladora de tubos, de tal forma que tiene la geometría deseada para la estructura que constituye el producto.

El análisis permitió que se identifique que la etapa tiene una mayor concentración de las actividades operativas, dado que el trabajo principal corresponde a la transformación directa del material por dobleces con ángulos determinados.

Tabla 23. Diagrama analítico del proceso de doblado

DIAGRAMA ANALÍTICO DEL PROCESO DE DOBLADO											
Hoja N°: Diagrama N°: 3				Operario/Material/Equipo							
PROCESO: FABRICACIÓN PUPITRE ESCOLAR				RESUMEN							
Fecha:				SÍMBOLO		ACTIVIDAD		TOTAL			
24/06/2026						Operación		4			
Nombre del operario:						Transporte		2			
Op_01						Inspección		1			
Elaborado por:						Espera		0			
						Almacenaje		0			
Tamaño de lote:				Total de actividades realizadas				7			
				Distancia total en metro				7			
				Tiempo min/hombre				840			
N°	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	CANTIDAD	DISTANCIA (m)	TIEMPO (s)	SÍMBOLOS DEL PROCESO					OBSERVACIONES	
											
1	Recepción del material a doblar	1	1,00	60,00							
2	Enviar el material a doblar		1,00	60,00							
3	Montar material rayado sobre la dobladora		2,00	180,00							
4	Identificar líneas guías de doblado			60,00							
5	Doblar material			180,00							
6	Desmontar material doblado, de la dobladora			120,00							
7	Enviar al proceso de soldadura.		3,00	180,00							
TOTAL		1	7	840							

Los resultados coinciden en que el proceso de doblado tiene una estructura más continua en comparación con el cortado, dado que no tiene actividades de transporte dentro de la etapa evaluada.

La presencia de 5 operaciones sobre 7 actividades totales constituye una mayor proporción de las actividades que producen transformación directa sobre el producto:

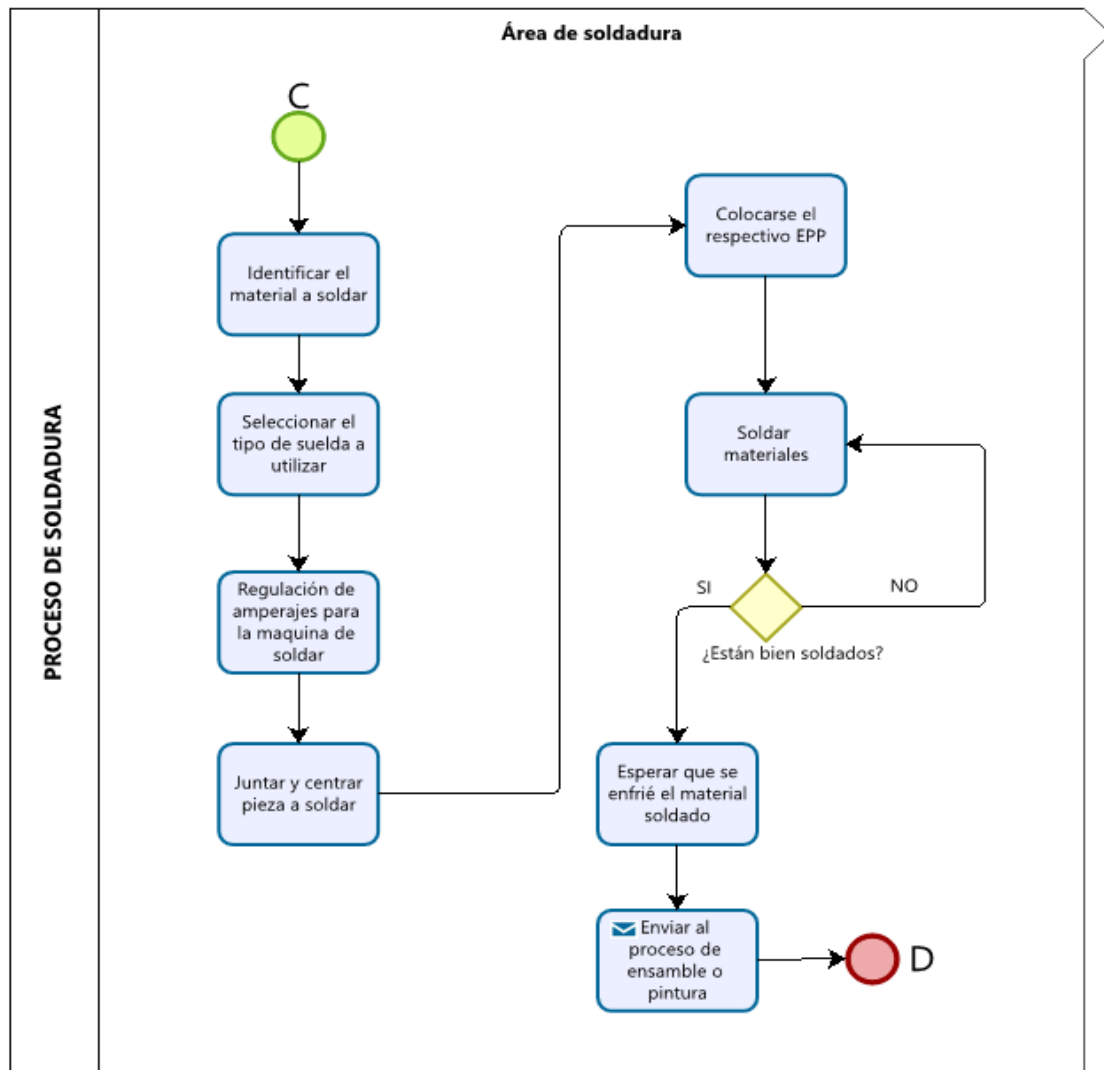
$$\% \text{ Operación} = \frac{5}{7} * 100$$

$$\% \text{ Operación} = 71,43 \%$$

Así, se puede comprobar que las operaciones productivas constituyen la mayor parte del tiempo de proceso. No obstante, debido a la manipulación de las piezas y al movimiento hacia el siguiente paso, todavía se producen desplazamientos por la distancia de 7 metros.

6.2.8 Análisis del proceso de soldado

El diagrama de flujo detallado del proceso de soldadura aparece en la figura 7. Este proceso está organizado en una etapa secuencial que se llama soldado, con el fin de asegurar un flujo adecuado.



Powered by
bizagi
Modeler

Figura 7. Diagrama de flujo del proceso de soldado

El proceso de soldado responde a una de las etapas esenciales en la fabricación del pupitre escolar, dado que en esta fase se realiza la unión de los componentes metálicos preparados con anterioridad en las etapas de cortado y doblado. La operación consiste en el posicionamiento de las piezas, la alineación de los componentes, la aplicación de los puntos de soldadura y la verificación de la calidad de las uniones realizadas.

A partir del diagrama analítico del proceso se identificó que las actividades que intervienen en esta etapa, teniendo en cuenta las operaciones, esperas, inspecciones y movimientos relacionados con la manipulación del producto en proceso.

El análisis permite que se determine la forma actual en la que se da la transformación y la manera en que la distribución de las áreas influye en la continuidad del trabajo.

Tabla 24. Diagrama analítico del proceso de soldado

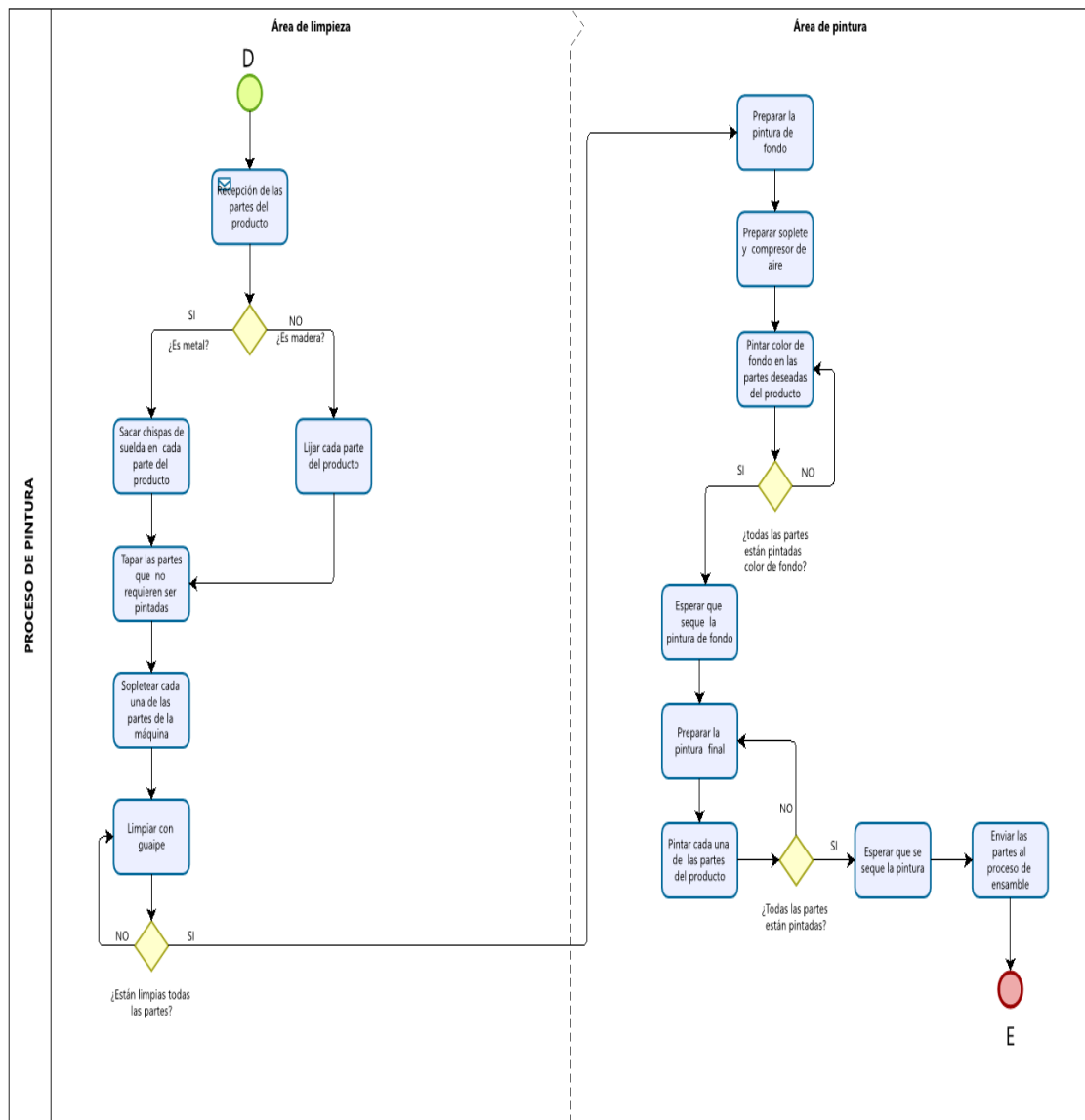
DIAGRAMA ANALÍTICO DEL PROCESO DE SOLDADO											
Hoja N°: Diagrama N°: 4			Operario/Material/Equipo								
PROCESO: FABRICACIÓN PUPITRE ESCOLAR			RESUMEN								
Fecha:			SÍMBOLO		ACTIVIDAD		TOTAL				
24/06/2026					Operación		5				
Nombre del operario:					Transporte		1				
Op_01					Inspección		1				
Elaborado por:					Espera		1				
					Almacenaje		0				
Tamaño de lote:			Total de actividades realizadas				8				
			Distancia total en metro				7				
			Tiempo min/hombre				1320				
N°	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO		CANTIDAD	DISTANCIA (m)	TIEMPO (s)	SÍMBOLOS DEL PROCESO					OBSERVACIONES
1	Identificar el material a soldar		1		120,00						
2	Seleccionar el tipo de suelda a utilizar.			1,00	60,00						
3	Regulación de amperajes para la maquina de soldar			1,00	180,00						
4	Juntar y centrar pieza a soldar.			2,00	240,00						
5	Colocarse el respectivo EPP.			1,00	180,00						
6	Soldar materiales				180,00						
7	Esperar que se enfrié el material soldado.				240,00						
8	Enviar al proceso de pintura			2,00	120,00						
TOTAL			1	7	1320						

Los hallazgos indican que la soldadura consta de 9 actividades en total, lo cual demuestra que es una de las etapas con más actividades en el sistema productivo estudiado. Esta circunstancia se justifica, en cierta medida, porque la soldadura involucra varias tareas adicionales, como el posicionamiento de las piezas, la verificación del cuadrado de los componentes a soldar, la realización de pruebas de puntos de soldadura y los remates finales. Por lo tanto, estas medidas adicionales aumentan significativamente el número total de actividades registradas en esta etapa. Aunque este proceso consta de seis operaciones principales, en su mayoría, el número total de actividades corresponde a las acciones complementarias que son propias de la estructura registrada. En consecuencia, este procedimiento también se acerca a una distancia acumulada de casi 7 metros. Es relevante enfatizar que estos datos hacen posible una clara valoración de la complejidad crucial del período de soldadura en el sistema productivo.

La presencia de la espera en el proceso se relaciona con el tiempo requerido para el enfriamiento del material luego que la aplicación de soldadura se haya realizado. Este aspecto es una condición para considerar en la propuesta de mejora, dado que la distribución adecuada puede reducir los movimientos innecesarios y la mejora de la continuidad de las operaciones.

6.2.9 Análisis del proceso de pintado

El diagrama de flujo del procedimiento de pintado se presenta en la figura 8. Para asegurar un flujo adecuado, este proceso está organizado en dos fases secuenciales: la de limpieza y la de pintura.



Powered by
 Modeler

Figura 8. Diagrama de flujo del proceso de pintado.

Es la fase en la que se lleva a cabo el tratamiento de superficie del pupitre escolar, teniendo en cuenta las tareas de preparación, secado en horno, aplicación de pintura electrostática y verificación final del acabado.

Esta etapa tiene características diferentes con relación a los procesos anteriores, dado que incorpora los tiempos de espera asociados al secado y el enfriamiento del producto. Por dicha razón, el análisis permite la identificación de la influencia que contiene la ubicación de las zonas de trabajo y equipos sobre el tiempo total del proceso.

Por medio del diagrama analítico se evaluaron las actividades desarrolladas y el recorrido asociado al traslado del producto en la aplicación del acabado superficial.

Tabla 25. Diagrama analítico del proceso de pintado

DIAGRAMA ANALÍTICO DEL PROCESO DE PINTADO										
Hoja N°: Diagrama N°: 5			Operario/Material/Equipo							
PROCESO: FABRICACIÓN PUPITRE ESCOLAR			RESUMEN							
Fecha:		SÍMBOLO		ACTIVIDAD		TOTAL				
24/06/2026				Operación		10				
Nombre del operario:				Transporte		0				
Op_01				Inspección		2				
Elaborado por:				Espera		0				
				Almacenaje		0				
Tamaño de lote:		Total de actividades realizadas				1				
		Distancia total en metro				17				
		Tiempo min/hombre				3060				
N°	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	CANTIDAD	DISTANCIA (m)	TIEMPO (s)	SÍMBOLOS DEL PROCESO					OBSERVACIONES
										
1	Recepción de las partes del producto	1	1,00	120,00						
2	Sacar chispas de suelda en cada parte del producto		1,00	120,00						
3	Tapar las partes que no requieren ser pintadas			180,00						
4	Sopletear cada una de las partes de la máquina			120,00						
5	Limpiar con guaípe			60,00						
6	Preparar la pintura de fondo		1,00	120,00						
7	Preparar soplete y compresor de aire		3,00	60,00						
8	Pintar color de fondo en las partes deseadas del producto		2,00	300,00						
9	Esperar que seque la pintura de fondo			180,00						
10	Preparar la pintura final		2,00	60,00						
11	Pintar cada una de las partes del producto		3,00	1200,00						
12	Esperar que se seque la pintura			300,00						
13	Enviar las partes al proceso de ensamble		4,00	240,00						
TOTAL		1	17	3060						

Los resultados muestran que el proceso de pintado constituye el mayor tiempo de ejecución de las etapas analizadas, alcanzando 3060 segundos/hombre. Este comportamiento se relaciona con las actividades de espera correspondientes al secado del producto y el proceso realizado en el horno.

La distancia registrada es 17 metros, siendo la mayor dentro del proceso productivo. Lo que evidencia que la etapa de acabado tiene una elevada dependencia de la ubicación física de los equipos y las áreas involucradas, debido al movimiento realizado entre la preparación, la pintura, el horno y el área siguiente.

El análisis indica que, aunque las operaciones de pintura producen valor directo sobre el producto, se tienen tiempos asociados a la espera y al desplazamiento que afectan la eficiencia general del sistema productivo. Por dicha razón, la reorganización del área es un punto esencial en el rediseño propuesto.

6.2.10 Análisis del proceso de ensamble

El diagrama de flujo meticoloso para el proceso de ensamblaje se presenta en la figura 9. Para asegurar un flujo adecuado, este proceso está organizado en dos fases: la zona de perforado y la zona de ensamblaje.

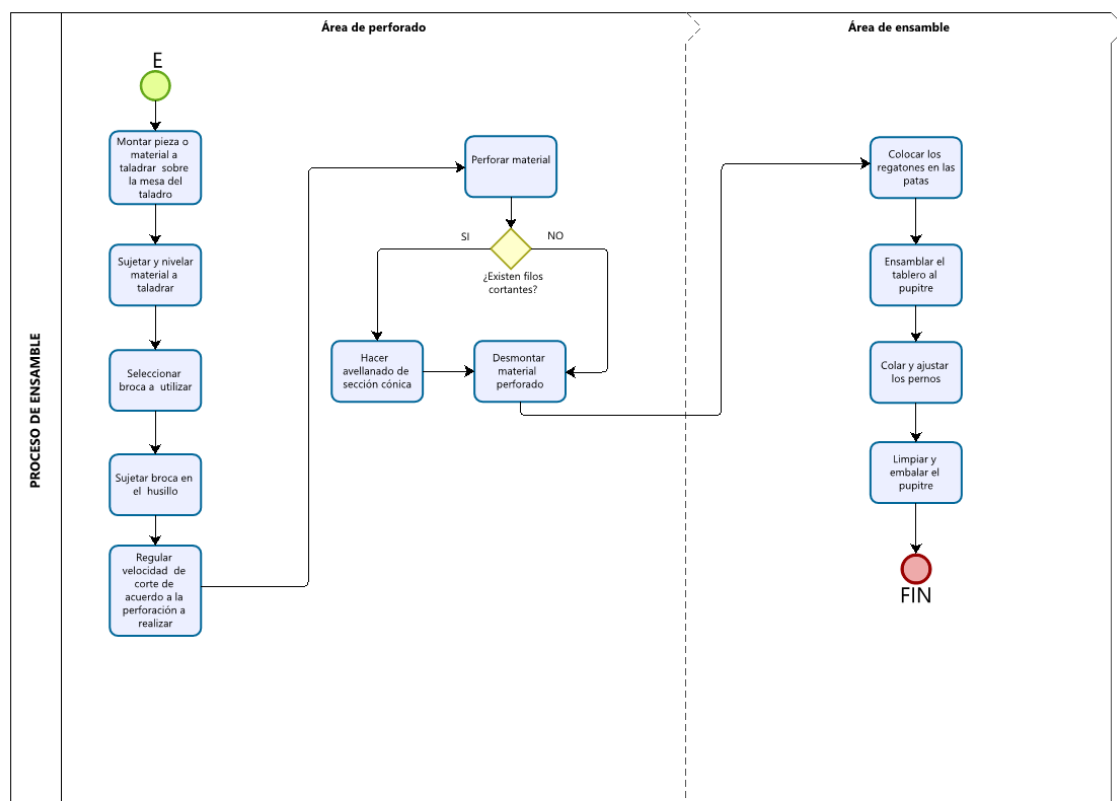


Figura 9. Diagrama de flujo del proceso de ensamble.

La etapa final en la elaboración del pupitre escolar es el proceso de ensamblaje. En esta fase, se realiza la unión entre las partes estructurales de los pupitres y los elementos complementarios, incluyendo los tableros, componentes finales y tornillos. Además, se llevan a cabo actividades de limpieza, verificación y ajuste durante esta etapa, lo que asegura que el producto final esté correctamente preparado.

El análisis mediante el diagrama analítico permitió la identificación de la secuencia actual del proceso y el tiempo asociado a la actividad necesario en el complemento del producto antes del almacenamiento o la entrega.

Tabla 26. Diagrama analítico del proceso de ensamble

DIAGRAMA ANALÍTICO DEL PROCESO DE ENSAMBLE										
Hoja N°: Diagrama N°: 6		Operario/Material/Equipo								
PROCESO: FABRICACIÓN PUPITRE ESCOLAR		RESUMEN								
Fecha: 24/06/2026		SÍMBOLO	ACTIVIDAD		TOTAL					
Nombre del operario: Op_01			Operación		12					
Elaborado por:			Transporte		0					
			Inspección		1					
			Espera		0					
			Almacenaje		0					
Tamaño de lote:		Total de actividades realizadas			1					
		Distancia total en metro			11					
		Tiempo min/hombre			1920					
N°	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	CANTIDAD	DISTANCIA (m)	TIEMPO (s)	SÍMBOLOS DEL PROCESO					OBSERVACIONES
										
1	Montar pieza o material a taladrar sobre la mesa del taladro	1	1,00	120,00						
2	Sujetar y nivelar material a taladrar			60,00						
3	Seleccionar broca a utilizar		1,00	60,00						
4	Sujetar broca en el husillo			60,00						
5	Regular velocidad de corte de acuerdo a la perforación a realizar			60,00						
6	Perforar material			120,00						
7	Hacer avellanado de sección cónica			120,00						
8	Desmontar material perforado			120,00						
9	Colocar los regatones en las patas		2,00	180,00						
10	Ensamblar el tablero al pupitre		1,00	300,00						
11	Colar y ajustar los pernos		1,00	180,00						
12	Inspeccion final del pupitre		2,00	120,00						
13	Limpiar y embalar el pupitre			300,00						
14	Enviar al área de almacenaje		3,00	120,00						
TOTAL		1	11	1920						

El proceso de ensamble tiene el mayor tiempo registrado en el sistema productivo con 1920 segundos/hombre, dado la cantidad de las actividades manuales necesarias para el complemento del producto terminado.

Aun cuando no se cuentan con actividades de transporte en la etapa, la distancia acumulada alcanza 11 metros, asociado al movimiento del producto y la manipulación en las actividades de armado y acabado final. Es decir, los resultados evidencian que el ensamble es una etapa crítica dado el tiempo requerido y la cantidad de las actividades manuales involucradas. Por lo tanto, cualquier propuesta de redistribución se la debe considerar como la relación entre el área y las etapas anteriores para que se evite la acumulación de los productos en proceso y la mejora de la continuidad del flujo.

Analizar los procesos productivos de la empresa que generan movimientos innecesarios, cuellos de botella y problemas en el flujo de materiales.

6.3 Análisis de los procesos productivos

Se realizó la obtención de la visión general del proceso actual con el fin de transmitirlo a los diagramas analíticos ya obtenidos a través del proceso de consolidación. Sólo así vemos las diferencias que tuviera como ilustración cada una de las etapas productivas y responder los procesos que tuvieran mayor grado de participación en el flujo de fabricación.

Tabla 27. Resumen de los diagramas analíticos

Proceso	Operación	Transporte	Inspección	Espera	Almacenamiento	Total actividades	Distancia (m)	Tiempo (s)
Ajuste	9	1	1	0	0	11	25	1320
Corte	9	1	2	0	0	12	18	870
Doblado	4	2	1	0	0	7	7	840
Soldado	6	1	1	1	0	9	7	1380
Pintado	10	1	2	0	0	13	17	3060
Ensamble	12	1	1	0	0	14	11	1920

Los resultados evidencian que cada etapa del proceso tiene características diferentes con relación al método actual de fabricación. El proceso de doblado presenta la mayor cantidad de actividades de transporte, debido al envío del material hacia la dobladora y su posterior traslado al proceso de soldadura.

En lo que respecta a los desplazamientos internos, por el hecho de que el proceso de ajuste y preparación es el que tiene la distancia con mayor recorrido 25 metros de longitud, le sigue el proceso de corte, de 18 metros y el proceso de pintado de 17 metros.

6.3.1 Análisis de los movimientos y transporte del proceso productivo- tiempos del proceso productivo

El transporte interno es una actividad para conectar la etapa del proceso, no obstante, no produce transformación directa con el producto. Por tal motivo, se evaluó la presencia en los diagramas analíticos con la finalidad de la identificación de las oportunidades de mejora.

Al mismo tiempo, se examinó la duración de la etapa productiva durante el análisis de los movimientos con el objetivo de identificar los procesos que tienen un impacto más significativo en el tiempo total de fabricación.

Tabla 28. Análisis de movimientos y tiempos de procesos

Proceso	Cantidades de transportes	Distancia asociada (m)	Tiempo (s)
Ajuste	1	25	1320
Corte	1	18	870
Doblado	2	7	840
Soldado	1	7	1380
Pintado	1	17	3060
Ensamble	1	11	1920

Las distancias más importantes son las de corte, pintado y ajuste, y podemos decir que la localización actual supone la existencia de un corte que actúa como un quiebre que impacta completamente en la continuidad del flujo del producto a lo largo del proceso. Las etapas de soldado y ensamble muestran además que cada una de ellas produce sólo una actividad de transporte, lo que no quiere decir que no haya desplazamientos del material relevantes, tal y como se puede observar al analizar las distancias.

En cuanto a los tiempos de manufactura, el proceso de soldadura toma 1380 segundos y el ensamblaje, 1920. En contraste, la etapa más larga es la de pintado, que dura 3060 segundos en total. Por lo tanto, estas tres fases absorben el porcentaje más alto del tiempo total de fabricación, principalmente porque son procesos manuales y porque el secado del material requiere tiempo.

6.3.2 Identificación de cuellos de botella del proceso productivo

Los procesos críticos se realizaron comparando los tiempos obtenidos en las etapas de fabricación. Se consideró el criterio de análisis las áreas que tienen mayor tiempo operativo, que generen la acumulación del producto en proceso

Tabla 29. Procesos críticos identificados

Proceso	Tiempo (s)	Análisis
Pintado	3060	Presencia de tiempos de espera
Ensamble	1920	Mayor tiempo de fabricación
Soldado	1380	Proceso de unión de componentes
Ajuste	1320	Planificación realizada de forma manual.
Corte	870	Mayor cantidad de movimientos manuales
Doblado	840	Menor tiempo dentro del proceso

El proceso de pintado es una fase crucial, ya que proporciona el acabado final del producto. Por otra parte, el proceso de ensamblaje es igualmente un proceso clave en la manufactura, ya que esta etapa necesita más tiempo para finalizar. Estos hallazgos, por lo tanto, posibilitan la identificación de las etapas que son fundamentales para tener en cuenta al diseñar la distribución de la planta.

Proponer a la empresa un nuevo layout para las áreas designadas de producción y almacenaje.

6.4 Propuesta de rediseño de distribución de la planta por SLP

La metodología SLP fue aplicada como una herramienta de la planificación de la distribución de la planta, dado que permite la determinación de la ubicación conveniente de las áreas productivas teniendo en cuenta el nivel de interacción existente entre ellas.

6.4.1 Identificación de las relaciones de las áreas productivas

Para el establecimiento de la relación de las áreas se analizó la secuencia del proceso productivo y del nivel de la interacción que se da en cada etapa.

La importancia de la relación se determinó conforme los procesos consecutivos que requieren mayor cercanía por los movimientos constantes del producto en proceso.

Tabla 30. Relación de proximidad de las áreas productivas

Relaciones	Criterios
Ajuste-corte	Relación elevada debido al flujo del proceso.
Corte-Doblado	Relación elevada debido a la continuidad directa del proceso
Doblado-Soldado	Relación elevada por la transferencia inmediata de piezas
Soldado-Pintado	Relación elevada por el traslado del producto terminado de estructura
Pintado-Ensamble	Relación elevada por la continuidad del acabado
Corte-Pintado	Relación baja por no existir interacción directa
Corte-Ensamble	Relación baja por la separación del flujo

La relación determina que la distribución tenga la secuencia lineal del proceso productivo, evitando la localización de las áreas de escasa relación mutua con el flujo principal. El estar más cerca del proceso que se le sigue permite que disminuyan los movimientos del producto, disminuyendo el tiempo vinculado al transporte interno.

6.4.2 Matriz de relaciones SLP

La matriz facilita determinar qué departamentos requieren una propuesta de distribución más próxima.

Dentro de la escala utilizada se encuentra:

Tabla 31. Descripción de relación de cercanía entre áreas

Letra	Color	Proximidad	Línea
A	Naranja	Absolutamente necesario	
E	Verde	Especialmente importante	
I	Rojo	Importante	
O	Azul	Ordinario	
U	Gris	Sin importancia	

Tabla 32. Relación de escalas

Área	Ajuste	Corte	Doblado	Soldado	Pintado	Ensamble
Ajuste	-	A	O	U	U	U
Corte	A	-	A	O	U	U
Doblado	U	A	-	A	O	U
Soldado	U	U	A	-	A	U
Pintado	U	U	U	A	-	A
Ensamble	U	U	U	U	A	-

La relación corte – doblado y doblado – soldado tiene prioridad de cercanía dado que se tiene una transferencia directa del material luego de cada operación. De igual forma, soldado – pintado y pintado- ensamble necesitan de proximidad ya que representan las etapas consecutivas en el que el producto mantiene la secuencia continua de fabricación.

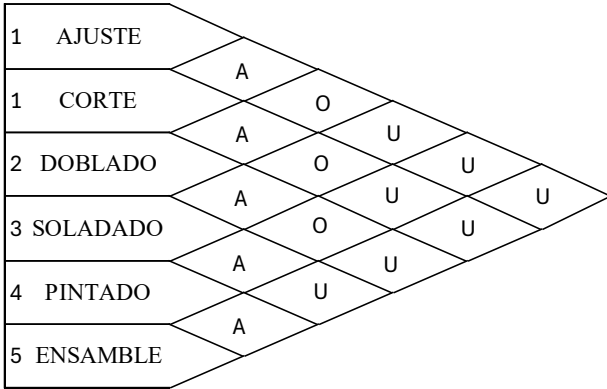


Figura 10. Matriz de relación de actividades

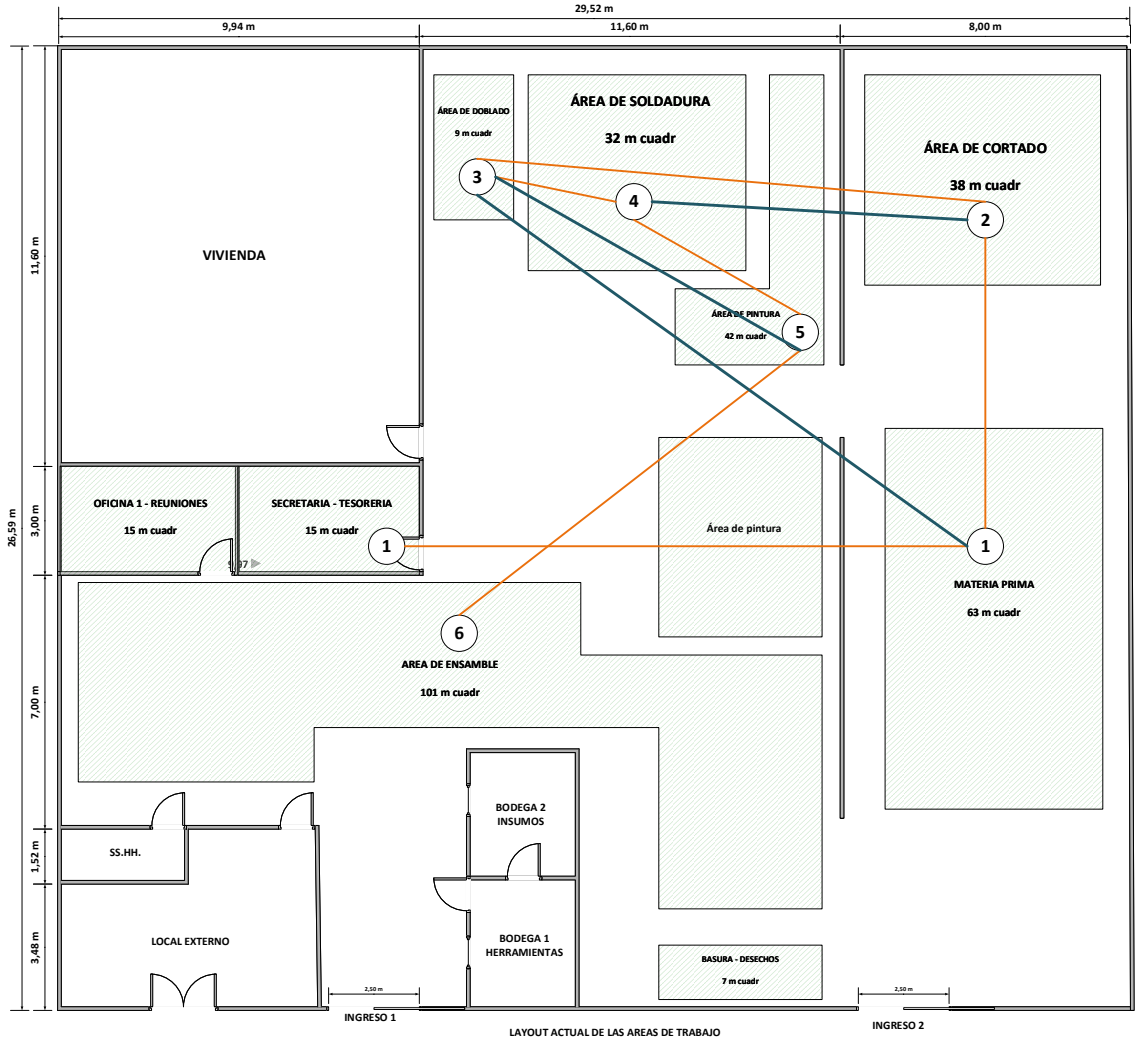


Figura 11. Diagrama relacional SLP de áreas productivas

El diagrama obtenido establecerá la distribución en base a la secuencia productiva actual, en la que las áreas con más interacción permanecen conectadas de forma directa. La organización propuesta busca el desplazamiento del material que siga a trayectoria continua, evitado cruces entre procesos.

6.4.3 Resumen de relación de actividad

En la tabla 31 se muestra de forma concisa la relación que existe entre cada departamento, para tener una idea más clara de la relación de cercanía y la razón que se le asigna a cada uno de las áreas.

Tabla 33. Resumen de relación de actividad

Nº	Área	A	E	I	O	U
1	Ajuste	2	**	**	3	4,5,6
2	Corte	3	**	**	4	5,6
3	Doblado	4	**	**	5	6
4	Soldado	5	**	**	6	**
5	Pintado	6	**	**	**	**
6	Ensamble	5	**	**	**	**

Siguiendo el análisis resultante en la propuesta de redistribución del espacio físico del lugar de trabajo, se consideraba la posibilidad de relación entre cada una de ellas; es decir, que aquella relación permitió una distribución más coherente y funcional, facilitando la relación de proximidad de aquellos espacios que requieren mayor interacción e incidiendo en la organización del proceso productivo.

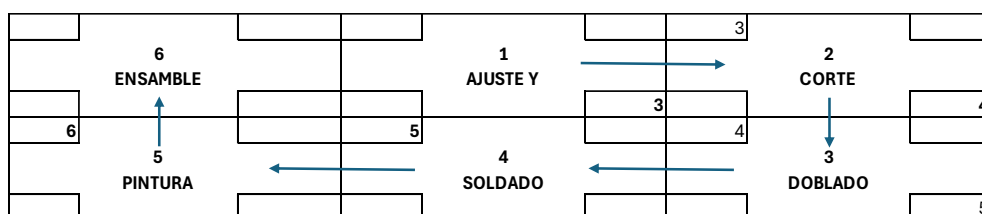


Figura 12. Diagrama adimensional de bloques

6.4.4 Propuesta del nuevo flujo productivo

La nueva organización del flujo productivo se propone en base al análisis efectuado, considerando la lógica secuencial de la producción. La propuesta contempla que las áreas estén situadas en función de la evolución gradual del producto.

Tabla 34. Propuestas del nuevo flujo productivo

Área productiva	Situación actual identificada	Propuesta de redistribución	Justificación técnica
Corte	Ubicada sin conexión directa con la siguiente operación	Colocar como primera etapa del flujo productivo	Permite iniciar el recorrido desde materia prima
Doblado	Separada del proceso de corte generando desplazamiento	Ubicar cercana al área de corte	Reduce transporte entre transformación inicial
Soldado	Presenta recorridos adicionales desde preparación de piezas	Ubicar posterior al doblado	Mantiene continuidad del armado estructural
Pintado	Separada del área de ensamble	Ubicar cercana al proceso final	Evita traslado innecesario del producto terminado
Ensamble	Ubicación final sin conexión directa con pintado	Colocar como última etapa productiva	Permite salida directa del producto terminado

La distinción fundamental entre ambas distribuciones es que la distribución existente puede generar traslados debido a la situación física de los procesos actuales, mientras que la distribución propuesta está estructurada por zonas y según el orden operacional.

Tabla 35. Comparación del recorrido actual y propuesto

Etapas del proceso	Recorrido del material	Distancia actual (m)	% del total actual	Distancia propuesta (m)	% del total propuesta	Reducción obtenida (m)	Participación en la reducción total (%)	% Reducción propia de la etapa
Ajuste y preparación	Ajuste → Corte	25	29%	15	31%	10	28%	40.0%
Corte	Corte → Doblado	18	21%	9	18%	9	25%	50.0%
Doblado	Doblado → Soldado	7	8%	4	8%	3	8%	42.9%
Soldado	Soldado → Pintado	7	8%	6	12%	1	3%	14.3%
Pintado	Pintado → Ensamble	17	20%	10	20%	7	19%	41.2%
Ensamble	Otros movimientos	11	13%	5	10%	6	17%	54.5%
Total		85	100%	49	100%	36	100%	42.4%

Considerando los valores propuestos, se determina el beneficio o reducción esperada:

$$\% \text{ reducción} = \frac{\text{distancia actual} - \text{distancia propuesta}}{\text{distancia actual}} * 100$$

$$\% \text{ reducción} = \frac{85 - 49}{85} * 100$$

$$\% \text{ reducción} = 42\%$$

De esta manera, el resultado indica que la propuesta permitiría la disminución al recorrido interno del material de 85 metros a 49 metros, lo que es una reducción del 42% esperada

Indicador ‘Flujo de material’ – Resultado cuantificado: la Tabla 35 evidencia que, en la situación actual, 5 de las 6 transiciones entre áreas productivas (Corte, Doblado, Soldado, Pintado y Ensamble) presentan discontinuidades de flujo, ya sea por ausencia de conexión directa con la operación siguiente o por recorridos y desplazamientos adicionales generados por la ubicación física de las áreas. Esto es consistente con el recorrido adicional de 11 m registrado como “otros movimientos” en la etapa de Ensamble (Tabla 35), correspondiente a un desplazamiento que no sigue la secuencia productiva directa, así como con lo descrito cualitativamente en el diagnóstico sobre cruces entre departamentos y movimientos innecesarios. La propuesta de distribución SLP resuelve la totalidad de estas discontinuidades, al reubicar cada área de acuerdo con la secuencia lógica de transformación del producto (Corte, Doblado, Soldado, Pintado, Ensamble), de modo que las 6 transiciones entre áreas quedan alineadas con el flujo productivo, cerrando el indicador de la Tabla 15 con una mejora de 5 discontinuidades identificadas a 0 en la propuesta.

6.5 Generación de la alternativa de distribución mediante el método CRAFT

Siguiendo el procedimiento descrito en el apartado de método, la aplicación de CRAFT partió de la distribución física actual de la planta. Dado que el proceso de fabricación del pupitre escolar sigue una secuencia lineal (cada etapa entrega su producto únicamente a la etapa siguiente, según se estableció en los diagramas analíticos del apartado 6.2), el flujo de materiales entre áreas no consecutivas en la secuencia es nulo. Por ello, la matriz de flujo se construyó asignando una unidad de flujo entre cada par de procesos consecutivos (ajuste-corte, corte-doblado, doblado-soldado, soldado-pintado y pintado-ensamble), y un valor de cero entre los pares no consecutivos.

Tabla 36. Matriz de flujo de materiales entre áreas (CRAFT)

Área	Ajuste	Corte	Doblado	Soldado	Pintado	Ensamble
Ajuste	-	1	0	0	0	0
Corte	1	-	1	0	0	0
Doblado	0	1	-	1	0	0
Soldado	0	0	1	-	1	0
Pintado	0	0	0	1	-	1
Ensamble	0	0	0	0	1	-

Para la matriz de distancias se utilizaron las coordenadas reales de la planta, tomadas del plano dimensionado de la distribución actual de INMECH. Cada una de las seis áreas se ubicó como el centroide del espacio físico que ocupa: ajuste y preparación en el área de materia prima; corte en el conjunto formado por el área de cortado y la cortadora; doblado en el área de cerrajería, donde se ejecuta esta operación; soldado en el área de soldadura; pintado en el conjunto formado por la cabina de pintura, el horno de pintura electroestático y el área de almacenamiento de pintura; y ensamble en el conjunto formado por el área de lacado, el almacenaje de cerrajería y el área de embalaje. Para las áreas compuestas por más de un ambiente, el centroide se calculó ponderando la posición de cada ambiente por su superficie en metros cuadrados. Las distancias entre los centroides se calcularon de forma rectilínea (distancia Manhattan), convención estándar para la construcción de la matriz de distancias en el método CRAFT.

Tabla 37. Matriz de distancias reales entre áreas, situación actual (m) (CRAFT)

Área	Ajuste	Corte	Doblado	Soldado	Pintado	Ensamble
Ajuste	-	10,86	9,79	18,97	9,79	18,12
Corte	10,86	-	17,37	8,11	11,09	25,70
Doblado	9,79	17,37	-	17,58	8,40	8,33
Soldado	18,97	8,11	17,58	-	9,18	17,81
Pintado	9,79	11,09	8,40	9,18	-	14,61
Ensamble	18,12	25,70	8,33	17,81	14,61	-

El costo de transporte de la distribución vigente se calculó como la suma de los productos entre el flujo y la distancia de cada par de áreas con flujo distinto de cero, expresado en metros-viaje al no disponerse de un costo monetario por metro transportado.

Tabla 38. Costo de transporte de la distribución actual (CRAFT)

Par de áreas	Flujo	Distancia (m)	Costo (m·viaje)
Ajuste - Corte	1	10,86	10,86
Corte - Doblado	1	17,37	17,37
Doblado - Soldado	1	17,58	17,58
Soldado - Pintado	1	9,18	9,18
Pintado - Ensamble	1	14,61	14,61
TOTAL			69,60

A continuación se evaluó el efecto, sobre el costo total, de intercambiar la ubicación de cada uno de los quince pares posibles de áreas dentro de la distribución (paso "intercambio por pares de departamentos" del procedimiento CRAFT), repitiendo la evaluación en rondas sucesivas y conservando en cada una el intercambio que produjo la mayor reducción de costo, hasta que ningún intercambio adicional generó una mejora.

Tabla 39. Ronda 1 de intercambio por pares de áreas, costo base 69,60 m·viaje (CRAFT)

Intercambio evaluado	Costo resultante (m·viaje)	Variación	Resultado
Ajuste ↔ Corte	62,02	-7,58	Se descarta (no es la mejor reducción)
Ajuste ↔ Doblado	70,99	+1,39	Se descarta
Ajuste ↔ Soldado	59,67	-9,93	Se descarta (no es la mejor reducción)
Ajuste ↔ Pintado	83,13	+13,53	Se descarta
Ajuste ↔ Ensamble	79,62	+10,02	Se descarta
Corte ↔ Doblado	59,06	-10,54	Se descarta (no es la mejor reducción)

Intercambio evaluado	Costo resultante (m·viaje)	Variación	Resultado
Corte ↔ Soldado	79,62	+10,02	Se descarta
Corte ↔ Pintado	69,58	-0,02	Se descarta (no es la mejor reducción)
Corte ↔ Ensamble	64,30	-5,30	Se descarta (no es la mejor reducción)
Doblado ↔ Soldado	59,56	-10,04	Se descarta (no es la mejor reducción)
Doblado ↔ Pintado	57,04	-12,56	Se conserva (mayor reducción de costo)
Doblado ↔ Ensamble	71,95	+2,35	Se descarta
Soldado ↔ Pintado	63,62	-5,98	Se descarta (no es la mejor reducción)
Soldado ↔ Ensamble	60,35	-9,25	Se descarta (no es la mejor reducción)
Pintado ↔ Ensamble	78,23	+8,63	Se descarta

El mejor resultado de la ronda 1 fue el intercambio Doblado ↔ Pintado, que redujo el costo de 69,60 a 57,04 m·viaje, por lo que se conservó para la siguiente ronda.

Tabla 40. Ronda 2 de intercambio por pares de áreas, costo base 57,04 m·viaje (CRAFT)

Intercambio evaluado	Costo resultante (m·viaje)	Variación	Resultado
Ajuste ↔ Corte	55,74	-1,30	Se descarta (no es la mejor reducción)
Ajuste ↔ Doblado	66,83	+9,79	Se descarta
Ajuste ↔ Soldado	47,11	-9,93	Se descarta (no es la mejor reducción)
Ajuste ↔ Pintado	74,73	+17,69	Se descarta
Ajuste ↔ Ensamble	73,34	+16,30	Se descarta
Corte ↔ Doblado	54,90	-2,14	Se descarta (no es la mejor reducción)
Corte ↔ Soldado	64,94	+7,90	Se descarta
Corte ↔ Pintado	61,18	+4,14	Se descarta
Corte ↔ Ensamble	76,86	+19,82	Se descarta
Doblado ↔ Soldado	44,88	-12,16	Se conserva (mayor reducción de costo)
Doblado ↔ Pintado	69,60	+12,56	Se descarta
Doblado ↔ Ensamble	80,35	+23,31	Se descarta
Soldado ↔ Pintado	65,74	+8,70	Se descarta
Soldado ↔ Ensamble	62,47	+5,43	Se descarta
Pintado ↔ Ensamble	57,27	+0,23	Se descarta

El mejor resultado de la ronda 2 fue el intercambio Doblado ↔ Soldado, que redujo el costo de 57,04 a 44,88 m·viaje, por lo que se conservó para la siguiente ronda.

En la ronda 3 se evaluaron nuevamente los quince intercambios posibles a partir de un costo base de 44,88 m·viaje, y ninguno produjo una reducción adicional (la menor variación encontrada fue +0,61 m·viaje, para el intercambio Ajuste ↔ Doblado), por lo que el procedimiento se detuvo en este punto.

Tabla 41. Resumen de las rondas de intercambio y alternativa final de distribución (CRAFT)

Ronda	Mejor intercambio	Costo resultante (m·viaje)	Variación	Decisión
1	Doblado ↔ Pintado	57,04	-12,56	Se acepta
2	Doblado ↔ Soldado	44,88	-12,16	Se acepta
3	Ajuste ↔ Doblado (mejor opción evaluada)	45,49	+0,61	Se descarta; no hay más mejoras

El método CRAFT, aplicado con las distancias reales de la planta, determinó que la distribución actual no corresponde al mínimo costo de transporte para el patrón de flujo del proceso. La alternativa de menor costo se obtiene reubicando de forma encadenada tres áreas: doblado se traslada al espacio actualmente ocupado por soldado (área de soldadura), soldado se traslada a los espacios actualmente ocupados por pintado (cabina de pintura, horno de pintura electrostático y almacenamiento de pintura), y pintado se traslada al espacio actualmente ocupado por doblado (área de cerrajería). Las áreas de ajuste y preparación (materia prima), corte (cortado y cortadora) y ensamble (lacado, almacenaje de cerrajería y embalaje) permanecen en su ubicación actual. Con esta reubicación, el costo total de transporte se reduce de 69,60 a 44,88 m·viaje, una disminución del 35,52 %.

A diferencia de SLP, que compacta las distancias entre las áreas manteniéndolas en su disposición secuencial actual, CRAFT propone una reubicación física de tres áreas productivas dentro del mismo espacio disponible, sin ampliar la planta ni modificar el orden del proceso productivo, con el fin de reducir el costo de transporte interno de materiales.

6.6 Generación de la alternativa de distribución mediante el método CORELAP

A diferencia de CRAFT, el método CORELAP no parte de la distribución física actual, sino que construye una nueva alternativa desde cero, ubicando progresivamente las áreas

de acuerdo con su grado de relación mutua. Esta alternativa se generó con el software CORELAP, ingresando las seis áreas de proceso con su superficie real en metros cuadrados y la superficie disponible para el rediseño (460 m², el espacio que el propietario destinó para esta intervención), y calificando el grado de cercanía deseable entre cada par de áreas con la escala numérica estándar del método: A = 5, E = 4, I = 3, O = 2, U = 1 y X = 0.

Tabla 42. Áreas y superficie ingresadas al software CORELAP

Área	Superficie (m ²)
Ajuste y preparación	63
Cortado	38
Doblado	9
Soldadura	32
Pintura	42
Ensamble	101
Superficie disponible	460

La matriz de relaciones se calificó de forma independiente a la utilizada en SLP, conservando el mismo criterio de cercanía deseable entre áreas consecutivas del proceso productivo. La tabla siguiente reproduce la matriz de relaciones tal como fue ingresada al software.

Tabla 43. Matriz de relaciones entre áreas, según el software CORELAP

Área	Ajuste y preparación	Cortado	Doblado	Soldadura	Pintura	Ensamble
Ajuste y preparación	-	A	U	X	X	X
Cortado	A	-	A	U	X	X
Doblado	U	A	-	A	U	X
Soldadura	X	U	A	-	A	X
Pintura	X	X	U	A	-	A
Ensamble	X	X	X	X	A	-

Al revisar la matriz se observa que las áreas consecutivas de la secuencia productiva (ajuste-cortado, cortado-doblado, doblado-soldadura, soldadura-pintura y pintura-ensamble) reciben la calificación más alta (A), y que las áreas separadas por una etapa intermedia (ajuste-doblado, cortado-soldadura y doblado-pintura) reciben la calificación

U, consistente con un menor grado de cercanía deseable. La única excepción a este patrón es el par soldadura-ensamble, calificado como X (sin relación) en lugar de U. Esta calificación corresponde a los datos ingresados por el autor del proyecto en el software y se mantiene sin modificaciones en este documento.

Tabla 44. Calificación total de cercanía (TCR) por área y comprobación de superficie (CORELAP)

Orden	Área	TCR	Superficie (m ²)
1	Doblado	12	9
2	Cortado	11	38
3	Soldadura	11	32
4	Pintura	11	42
5	Ajuste y preparación	6	63
6	Ensamble	5	101

El software incorpora las áreas al layout en orden descendente de TCR: doblado (TCR = 12), pintura, cortado y soldadura (TCR = 11 cada una), ajuste y preparación (TCR = 6) y, en último lugar, ensamble (TCR = 5). La superficie total requerida por las seis áreas es de 285 m², inferior a los 460 m² disponibles, por lo que el espacio destinado al rediseño es suficiente para implementar la distribución generada por CORELAP.

Tabla 45. Distribución en cuadrícula generada por CORELAP

	Pintura	
Ajuste y preparación	Cortado	
Doblado	Soldadura	Ensamble

La distribución resultante ubica pintura en la posición superior, ajuste y preparación junto con cortado en la fila intermedia, y doblado, soldadura y ensamble en la fila inferior. Al comparar esta cuadrícula con la secuencia productiva de SLP (ajuste, corte, doblado, soldado, pintado y ensamble), dos de los cinco pares consecutivos del proceso resultan contiguos en la cuadrícula (ajuste con cortado, y doblado con soldadura), mientras que cortado-doblado, soldadura-pintura y pintura-ensamble no lo son. Esta diferencia se explica porque CORELAP construye la distribución únicamente a partir del grado de relación entre actividades, sin considerar la secuencia física del proceso productivo, y porque la calificación X del par soldadura-ensamble reduce la prioridad con la que el algoritmo ubica esas dos áreas una junto a la otra.

6.7 Selección de la propuesta de distribución mediante criterios ponderados

Una vez generadas las tres alternativas de distribución (SLP en el apartado 6.4, CRAFT en el apartado 6.5 y CORELAP en el apartado 6.6), se aplicó el método de criterios ponderados para seleccionar de manera objetiva la propuesta más conveniente para INMECH, utilizando los cinco criterios y el procedimiento definidos en el capítulo de método.

Tabla 46. Pesos asignados a los criterios de evaluación

Criterio de evaluación	Peso
Reducción del recorrido de materiales	25 %
Reducción del tiempo de transporte	20 %
Aprovechamiento del espacio disponible	20 %
Facilidad de implementación	20 %
Costo asociado	15 %
TOTAL	100 %

Las calificaciones (escala de 1 a 5) se asignaron con base en los resultados cuantitativos obtenidos en los apartados anteriores (reducción de distancia medida en SLP, confirmación de costo de transporte en CRAFT, ausencia de un layout dimensionado propio en CRAFT y CORELAP) y en un juicio cualitativo razonado sobre la magnitud de los cambios físicos y la inversión que implicaría cada alternativa. A continuación se detalla la calificación asignada a cada alternativa en cada criterio.

Tabla 47. Calificación ponderada de las alternativas SLP, CRAFT y CORELAP

Criterio	Peso	SLP	CRAFT	CORELAP
Reducción del recorrido de materiales	25 %	5	4	3
Reducción del tiempo de transporte	20 %	4	4	3
Aprovechamiento del espacio disponible	20 %	4	3	3
Facilidad de implementación	20 %	3	2	4
Costo asociado	15 %	3	2	4
Puntuación total ponderada	100 %	3,90	3,10	3,35

La alternativa SLP obtuvo la mayor puntuación ponderada (3,90 sobre 5), seguida de CORELAP (3,35) y CRAFT (3,10). CRAFT, recalculado con las distancias reales de la planta, sí generó una reducción medible del costo de transporte interno (de 69,60 a 44,88 m·viaje, un 35,5 % menos), mediante la reubicación de las áreas de doblado, soldado y pintado; sin embargo, esa reubicación implica trasladar equipos fijos de alto costo (la

cabina de pintura, el horno de pintura electroestático y la estación de soldadura), lo que reduce su calificación en facilidad de implementación y costo asociado frente a SLP, cuya propuesta reorganiza el flujo productivo dentro del espacio ya disponible sin reubicar equipos pesados. CORELAP, por su parte, mantiene una calificación intermedia al no requerir cambios físicos adicionales sobre la distribución actual; sin embargo, al construirse únicamente a partir del grado de relación entre actividades, su distribución en cuadrícula solo coincide parcialmente con la secuencia productiva de SLP (apartado 6.6), lo que se refleja en su calificación más baja en reducción del recorrido y del tiempo de transporte frente a SLP.

En consecuencia, la propuesta de redistribución de planta desarrollada mediante SLP (apartado 6.4) se mantiene como la propuesta final del proyecto, validada adicionalmente por los métodos CRAFT y CORELAP y seleccionada de manera objetiva mediante el método de criterios ponderados.

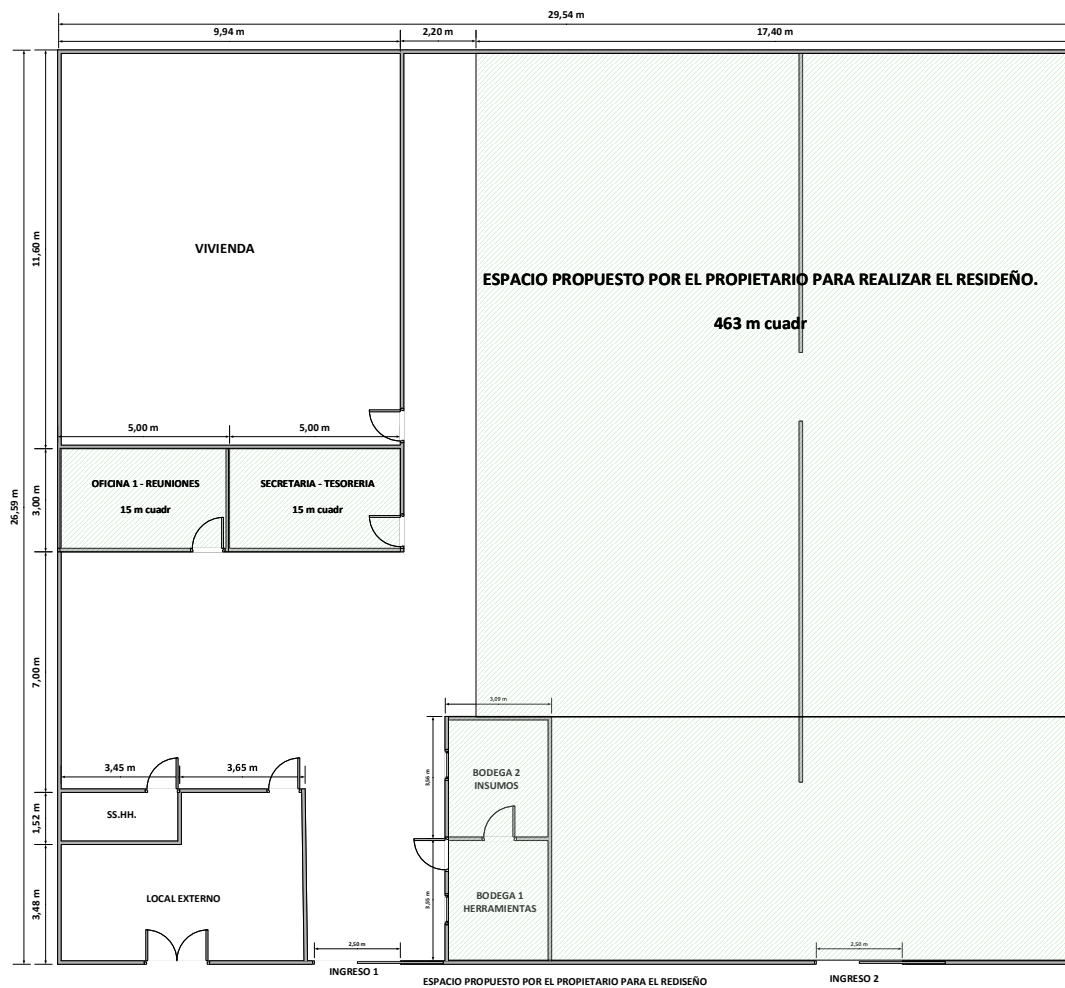


Figura 13. Espacio propuesto para el rediseño.

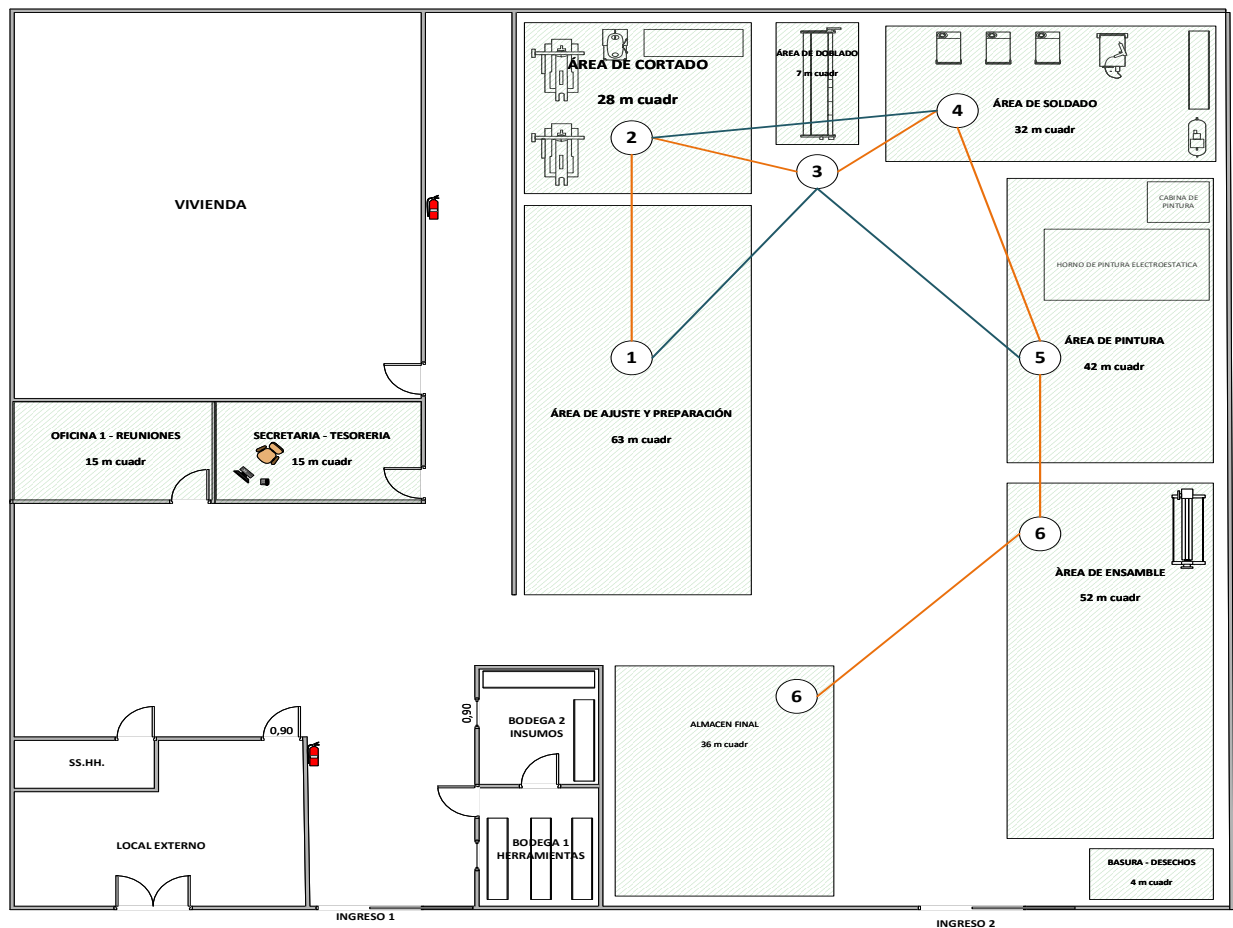


Figura 14. Rediseño en base al SLP propuesto a la empresa.

6.8 Evaluación de la viabilidad económica de la propuesta seleccionada

En cumplimiento del cuarto objetivo específico del proyecto (evaluar la viabilidad económica de la propuesta de rediseño seleccionada mediante el cálculo de los indicadores financieros VAN y TIR), a continuación se evalúa económicamente la alternativa SLP (apartado 6.4), seleccionada como la propuesta final mediante el método de criterios ponderados (apartado 6.7). Al reorganizar el flujo productivo dentro del espacio ya disponible sin reubicar equipos fijos de alto costo, la inversión que requiere esta propuesta se limita a la adecuación menor del espacio, la movilización de mobiliario y herramienta, y la señalización de las áreas reorganizadas.

Presupuesto de inversión inicial

Tabla 48. Presupuesto de inversión inicial de la propuesta SLP

Concepto	Ítem	Cantidad	Costo unitario (USD)	Subtotal (USD)
Señalización industrial	Demarcación de rutas de circulación (pintura vial de piso, cinta epóxica)	70 m	6,50	455,00
	Señalética de salida de emergencia (pictograma fotoluminiscente + flecha direccional), junto a Ingreso 1 e Ingreso 2	3	25,00	75,00
	Señalética de tomacorrientes (placa normalizada), una por cada área productiva	6	8,00	48,00
	Señalética de extintores (placa + pictograma normalizado), una por cada área productiva	6	15,00	90,00
	Cartel de identificación de área (nombre de área, PVC 20×30 cm), una por cada área productiva	6	22,00	132,00
Subtotal señalización industrial				800,00
Adecuación menor	Repintado de líneas delimitadoras de piso	150 m ²	4,00	600,00
	Reubicación de estanterías y puestos de trabajo (mano de obra)	40 h	12,50	500,00
	Materiales menores de fijación y anclaje	1 global	400,00	400,00
Subtotal adecuación menor				1.500,00
Movilización	Traslado de mobiliario y bancos de trabajo entre las áreas reorganizadas	1 global	450,00	450,00
	Herramienta menor y equipo de mano	1 global	250,00	250,00
Subtotal movilización				700,00
Imprevistos (10 % del subtotal, 800,00 + 1.500,00 + 700,00 = 3.000,00)				300,00
TOTAL				3.300,00

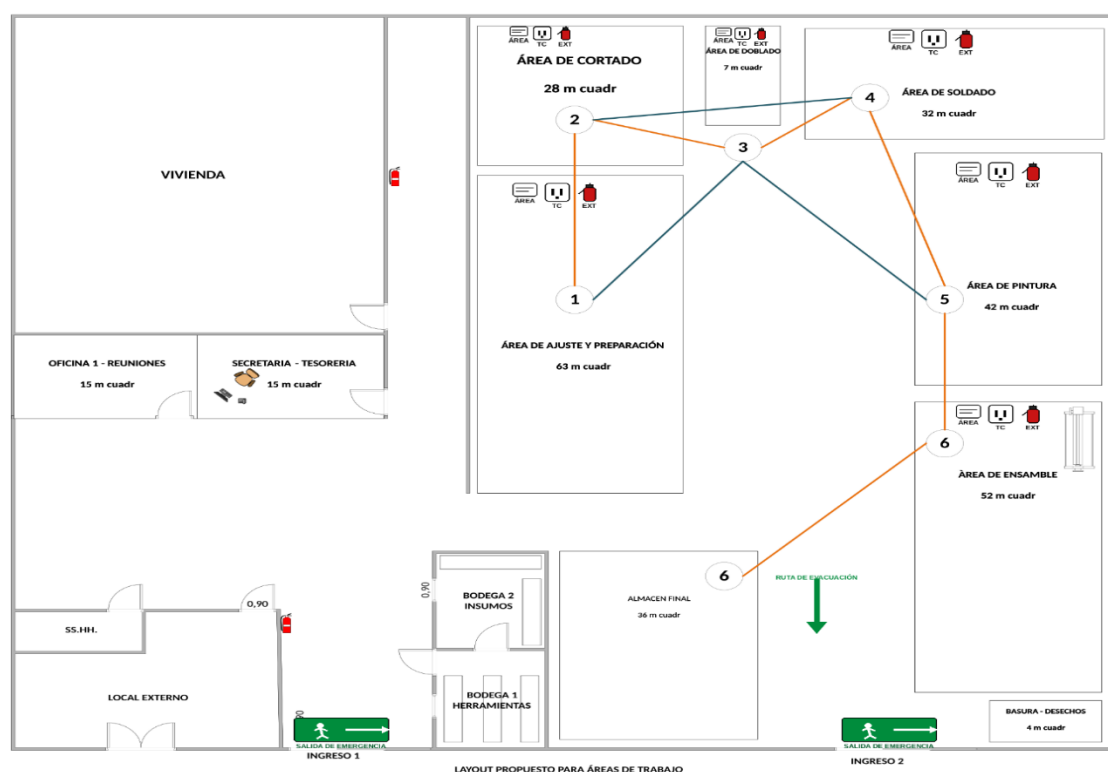


Figura 15. Señalización propuesta.

Estimación del beneficio operativo anual

El beneficio operativo de la propuesta SLP se estimó a partir de la reducción del tiempo de transporte interno de materiales. El diagrama analítico de la situación actual (apartado 6.2) registra un tiempo total de transporte de 960 s (16 min) por cada unidad producida. La tabla 35 (apartado 6.4.4) establece que la propuesta SLP reduce la distancia total de transporte interno de 85 a 49 m, una disminución del 42,4 %. Para efectos del cálculo del beneficio, el tiempo de transporte se redujo en esa misma proporción, criterio estándar en la evaluación económica de mejoras de distribución de planta, en el cual el tiempo de manipulación de materiales es proporcional a la distancia recorrida cuando el tipo de manipulación y la velocidad de desplazamiento no cambian. Esto equivale a un ahorro de 406,6 s (6,78 min) por unidad producida.

El volumen de producción se determinó a partir de los registros de contratos públicos de INMECH para la línea de mesa-pupitre: 1 890 unidades entregadas entre septiembre de 2025 y julio de 2026 (11 meses), equivalentes a 2 062 unidades al año. El costo de mano de obra por hora se calculó a partir de la nómina de los 18 trabajadores de las áreas productivas (2 en corte, 5 en soldadura a 600 USD mensuales, 3 en pintura, 4 en cerrajería

y 4 en almacenamiento/ensamble, estos últimos catorce a 500 USD mensuales), con una jornada de 44 horas semanales (lunes a viernes de 8:00 a 17:00 y sábado hasta el mediodía). La nómina mensual total de 9500,00 USD, dividida para las 3432 horas-trabajador disponibles al mes, resulta en un costo de mano de obra promedio de 2,77 USD por hora.

Tabla 49. Parámetros utilizados para estimar el beneficio operativo anual

Parámetro	Valor	Fuente
Tiempo de transporte por unidad (situación actual)	960 s (16 min)	Diagrama analítico, apartado 6.2
Reducción de la distancia de transporte (SLP)	42,4 % (85 → 49 m)	Tabla 35, apartado 6.4.4
Tiempo de transporte ahorrado por unidad	406,6 s (6,78 min)	$960 \text{ s} \times 42,4 \%$
Producción anual (línea mesa-pupitre)	2 062 unidades/año	Contratos INMECH, sep. 2025 - jul. 2026
Horas de transporte ahorradas al año	232,9 h	$2\,062 \text{ unidades} \times 6,78 \text{ min}$
Costo de mano de obra promedio	2,77 USD/h	Nómina de 18 trabajadores
Beneficio operativo anual estimado	644,64 USD	$232,9 \text{ h} \times 2,77 \text{ USD/h}$

Flujo de caja y horizonte de evaluación

Como tasa de descuento se utilizó la tasa activa efectiva referencial del segmento productivo PYME publicada por el Banco Central del Ecuador (9,35 % anual, junio de 2026), por corresponder al costo de financiamiento de referencia para una empresa de las características de INMECH. El horizonte de evaluación se fijó en 10 años, período habitual para evaluar mejoras de distribución física de planta que no implican la adquisición de activos de vida útil corta. El beneficio operativo anual se mantuvo constante en términos reales a lo largo del horizonte de evaluación.

Tabla 50. Flujo de caja proyectado de la propuesta SLP (tasa de descuento 9,35 % anual)

Año	Flujo neto (USD)	Flujo descontado (USD)
0	-3 300,00	-3 300,00
1	644,64	589,52
2	644,64	539,11
3	644,64	493,02
4	644,64	450,86
5	644,64	412,31
6	644,64	377,05
7	644,64	344,81
8	644,64	315,33
9	644,64	288,37
10	644,64	263,71

Resultado de los indicadores financieros

Con los flujos anteriores, el valor actual neto (VAN) de la propuesta SLP es de 774,10 USD y la tasa interna de retorno (TIR) es de 14,48 % anual. Al ser el VAN positivo y la TIR superior a la tasa de descuento utilizada (9,35 % anual), la propuesta es económicamente viable. El período de recuperación de la inversión es de 6 años en términos nominales y de 8 años en términos descontados, consistente con el carácter modesto de la inversión requerida y del beneficio operativo cuantificado, que se limita a la reducción del tiempo de transporte interno de materiales.

Este resultado confirma la factibilidad de implementación de la propuesta de rediseño de las áreas de producción y almacenaje de INMECH, en cumplimiento del cuarto objetivo específico del proyecto. Cabe señalar que la evaluación se limitó al beneficio cuantificable de manera directa a partir de los datos disponibles (la reducción del tiempo de transporte interno), por lo que no incorpora otros efectos económicos favorables de la propuesta, como el incremento de la capacidad de respuesta ante pedidos de mayor volumen o la reducción de tiempos de entrega, que reforzarían adicionalmente su viabilidad.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

El diagnóstico de la situación actual de la empresa INMECH, realizado mediante observación directa y levantamiento de información de campo, permitió establecer que la distribución física vigente responde a la disponibilidad y al crecimiento progresivo de la empresa y no a la secuencia del proceso productivo. Esta condición genera áreas consecutivas separadas físicamente, movimientos adicionales del personal, acumulación temporal de productos en proceso y ausencia de una zona definida para el almacenamiento de los productos terminados. Con estos resultados se cumplió el primer objetivo específico de la investigación.

El análisis de los procesos productivos, realizado mediante diagramas analíticos y el análisis de tiempos de proceso mediante diagramas analíticos, permitió determinar que el proceso de doblado concentra la mayor cantidad de actividades de transporte, que el proceso de ajuste y preparación registra la mayor distancia recorrida (25 m), y que los procesos de pintado (3 060 s) y ensamble (1 920 s) constituyen los cuellos de botella del flujo productivo. Con estos resultados se cumplió el segundo objetivo específico de la investigación.

La propuesta de rediseño de las áreas de producción y almacenaje se elaboró mediante la aplicación y comparación de los métodos SLP, CRAFT y CORELAP. La alternativa SLP obtuvo la mayor puntuación en el método de criterios ponderados (3,90 sobre 5, frente a 3,35 de CORELAP y 3,10 de CRAFT) y reduce el recorrido interno de materiales de 85 a 49 m, una disminución esperada del 42 %, sin requerir la reubicación de equipos fijos de alto costo. Con estos resultados se cumplió el tercer objetivo específico de la investigación.

La evaluación de la viabilidad económica de la propuesta seleccionada, realizada mediante el cálculo del valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR), determinó un VAN positivo de 774,10 USD y una TIR de 14,48 % anual, superior a la tasa de descuento utilizada (9,35 % anual). Con estos resultados se cumplió el cuarto objetivo específico de la investigación y se estableció la viabilidad económica de la propuesta.

En conjunto, los resultados obtenidos permiten afirmar que se cumplió el objetivo general de la investigación, al proponerse un rediseño de las áreas de producción y almacenaje de

la empresa INMECH que mejora el flujo productivo mediante la comparación objetiva de métodos de distribución en planta.

7.2 Recomendaciones

Se recomienda a la empresa INMECH implementar de forma gradual la distribución propuesta mediante el método SLP, priorizando una planificación previa de la reubicación de las áreas de producción que no afecte el funcionamiento normal de las operaciones.

Se recomienda a la empresa INMECH complementar la nueva distribución con la implementación de la metodología 5S, de manera que la organización espacial propuesta se mantenga en el tiempo y se convierta en un hábito de trabajo para el personal.

Se recomienda a los responsables técnicos de la implementación monitorear la nueva distribución mediante indicadores como la distancia recorrida del material, el tiempo de transporte interno y el aprovechamiento del espacio, con el fin de verificar las mejoras logradas y ajustar la propuesta de acuerdo con las necesidades de producción de la empresa.

Para trabajos futuros, se recomienda ampliar la evaluación económica de la propuesta incorporando indicadores que no fue posible cuantificar en este estudio con la información disponible, tales como el incremento de la capacidad de respuesta ante pedidos de mayor volumen y la reducción de los tiempos de entrega al cliente.

Se recomienda a futuros investigadores extender la aplicación conjunta de los métodos SLP, CRAFT, CORELAP y de criterios ponderados, desarrollada en este estudio, a otras pequeñas y medianas empresas del sector metalmecánico que enfrenten problemas similares de distribución de planta.

8 BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. Guerrero, «Propuesta de implementación de las herramientas Lean Manufacturing para reducir tiempos de preparación en la línea de ensamble de cocinas y cocinetas en la empresa,» 2023.
- [2] A. Rivas, "La OCDE alerta: la crisis del acero se agrava por el exceso mundial de oferta," *moncloa*, 5 junio 2026.
- [3] A. Celso y E. Guano, «Optimización de la gestión de inventariod de la empresa pulpamo S.A,» 2023.
- [4] C. Guaipatín, L. Navarro and F. Wyss, "Productividad empresarial y asignación de recursos en Ecuador. La relevancia de los factores regionales," Banco Interamericano de Desarrollo, 2024.
- [5] A. Cevallos, «Mejora de los procesos de manufactura aplicando Lean Manufacturing en una empresa metalmecánica de Quito,» Quito, Ecuador, 2025.
- [6] M. Píncay, «Propuesta de mejoras en la gestión de inventarios en una empresa dedicada a la venta de equipos domóticos,» 2025.
- [7] P. Guerrero, «Propuesta de implementación de herramientas Lean Manufacturing para la reducción de tiempos de preparación en la línea de ensamble de cocinas,» 2023.
- [8] A. Montero y W. Símparo, «Rediseño de distribución en el área de almacén para disminuir el tiempo de manejo de inventarios en la empresa Vitale Dex,» *Ignosis*, vol. 3, nº 2, pp. 291-308, 2021.
- [9] V. rmulfo y M. Cárdenas, «Diagnóstico y propuestas de mejora para la gestión de almacenes en una empresa de servicios,» *Revista Interdisciplinaria de Ingeniería Sustentable y Desarrollo Social*, vol. 10, nº 1, p. 12, 2024.
- [1 C. Alvarracín y E. Guano, «Optimización de la gestión de inventario de la empresa 0] Pulpamol S.A,» 2023.
- [1 E. Navarrete y S. Ponce, «Propuesta de optimización del sistema de almacenamiento 1] de la empresa distribuidora de pescado,» 2025.
- [1 L. E. Padilla Plazarte, «Diseño de distribución de planta en las nuevas instalaciones 2] de la Empresa Metalmecánica Solutions,» Ambato, Ecuador, 2024.
- [1 V. L. Caiza Mata, «Propuesta de distribución de instalaciones para un nuevo taller 3] de mecanizado y construcciones metálicas en la Unidad Educativa del Milenio Santiago de Pillaro,» Ambato, Ecuador, 2025.
- [1 D. Álvarez-Arias, J. De Ávila-Moore y J. Hurtado-Rivera, «Aplicación de 4] Metodología SLP para Redistribución de Planta en Micro Empresa Colombiana del Sector Marroquino: Un Estudio de Caso,» *BILO*, vol. 4, nº 1, junio 2022.
- [1 D. X. Muñoz Narváez, «Modelo de distribución en planta basado en la metodología 5] CRAFT para la empresa Collina Products S.A.,» Ibarra, Ecuador, 2022.
- [1 S. Plua, N. Carrión, J. Madruñero y P. Castro Verdezoto, «Estimación de la superficie 6] requerida y distribución de planta de una industria metalmecánica,» *Innovation & Development in Engineering and Applied Science (IDEAS)*, vol. 4, nº 2, abril 2023.
- [1 M. I. Delgado Moreira, M. V. Moreira Macías, D. B. Vidal Zambrano, Y. M. 7] Andrade Macías y C. R. Delgado Villafuerte, «Evaluación de la distribución del espacio en la planta incubadora ESPAM-MFL mediante el algoritmo CORELAP,» *ESPAMCIENCIA*, vol. 12, nº 1, pp. 69-75, 2021.

- [1 L. E. Calvo Arinama y A. M. Torres Salas, «Aplicación de metodología 5S para
8] aumentar la productividad de una empresa metalmecánica, Lima, 2022,» Lima, Perú,
2022.
- [1 C. Rubio Ferrer y O. A. León Sánchez, «Mejora de la distribución de planta para
9] reducir el tiempo de traslado en la fabricación de piezas de desgaste aplicando SLP
en una empresa metalmecánica,» Lima, Perú, 2025.
- [2 M. P. Groover, *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and*
0] *Systems*, Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2015.
- [2 V. J. Ramírez-Durán, I. Berges y A. Illarramendi, «ExtruOnt: An ontology for
1] describing a type of manufacturing machine for Industry 4.0 systems,» *Semantic*
Web, vol. 11, nº 6, pp. 887-909, octubre 2020.
- [2 K. V. Chasi Carbo, «Crecimiento de la industria metalmecánica en la economía
2] ecuatoriana. Período 2009-2011,» Guayaquil, Ecuador, 2011.
- [2 B. W. Niebel y A. Freivalds, *Ingeniería industrial: métodos, estándares y diseño del*
3] *trabajo*, 12a ed., México, D.F.: McGraw-Hill, 2009.
- [2 R. Muther, *Systematic Layout Planning*, 2a ed., Boston, MA, USA: Cahnerns Books,
4] 1973.
- [2 R. B. Chase, F. R. Jacobs y N. J. Aquilano, *Administración de operaciones:*
5] *producción y cadena de suministros*, 12a ed., México, D.F.: McGraw-Hill, 2009.
- [2 J. Heizer y B. Render, *Dirección de la producción y de operaciones: decisiones*
6] *estratégicas*, 8a ed., Madrid, España: Pearson, 2008.
- [2 J. P. Womack y D. T. Jones, *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in*
7] *Your Corporation*, rev. ed., Nueva York, NY, USA: Free Press, 2003.
- [2 H. J. Harrington, *Business Process Improvement: The Breakthrough Strategy for*
8] *Total Quality, Productivity, and Competitiveness*, Nueva York, NY, USA: McGraw-
Hill, 1991.
- [2 «Anexo áreas unesco.pdf,» 2026. [En línea]. Available:
9] <https://vinculacion.utpl.edu.ec/sites/default/files/2018/documentosconsulta/anexo%20%C3%A1reas%20unesco.pdf>.
- [3 «Códigos UNESCO,» 2026. [En línea]. Available:
0] <https://www.um.es/documents/1235915/3330673/codigosUNESCO-ciencia-tecnologia.pdf/85d6ff59-e7bf-46a1-9619-fc33859e87c3>.
- [3 B. O. Chuquilla Guanoquiza, «Propuesta de mejora en la cadena de suministro de la
1] Empresa Metalmecánica Inmech del cantón Saquisilí,» Ambato, Ecuador, 2021.