



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN MEDIANTE LA
APLICACIÓN DE LA FILOSOFÍA LEAN MANUFACTURING EN LA
EMPRESA ECUHOUSE S.A.**

AUTORES:

Cerda Mamallacta Jhonathan Bryan

Ushiña Quisaguano Brayán Fernando

TUTOR:

Ing. Olovacha Toapanta Wilson Santiago Mg.

Latacunga, Febrero 2026



DECLARACIÓN DE AUDITORIA

Cerda Mamallacta Jhonathan Bryan con C.I. 1500904402, y **Ushiña Quisaguano Brayan Fernando** con C.I. 1501091456 declaro ser autor del presente proyecto de investigación: **OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA LEAN MANUFACTURING EN LA EMPRESA ECUHOUSE S.A.**, siendo el **ING. MSC. Wilson Santiago Olovacha** Tutor del presente trabajo de titulación; 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

Latacunga, marzo del 2026

CERDA MAMALLACTA JHONATHAN BRYAN

CC: 1500904402

USHIÑA QUISAGUANO BRAYAN FERNANDO

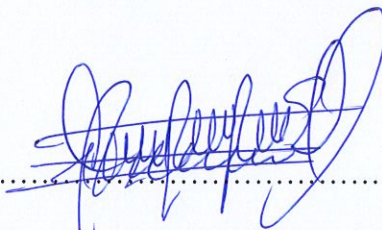
CC: 1501091456

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

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

“OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA LEAN MANUFACTURING EN LA EMPRESA ECUHOUSE S.A.”, elaborado por los señores Cerda Mamallacta Jhonathan Bryan, Ushiña Quisaguano Brayan Fernando, estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial, considero que dicho Proyecto Investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas técnicas, traducción y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en el pre – defensa.

Latacunga, marzo del 2026



.....
Ing.Olovacha Toapanta Wilson Santiago, Mg.

C.C: 1804302238

TUTOR

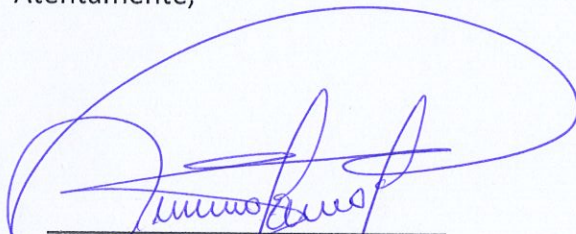
Latacunga, marzo 2026

AVAL DE APROBACIÓN DE LECTORES

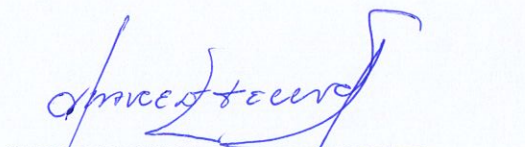
Cumpliendo con el Reglamento de Titulación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en calidad de Lectores de Tribunal de Proyecto de Investigación con el Título **“OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA FILOSOFÍA LEAN MANUFACTURING EN LA EMPRESA ECUHOUSE S.A.”**, propuesto por los estudiantes Cerda Mamallacta Jhonathan Bryan, Ushiña Quisaguano Brayan Fernando, de la Carrera de Ingeniería Industrial, me permito indicar que los estudiantes han concluido todas las observaciones y realizado las correcciones señaladas por el Tribunal de Lectores, por lo cual presentamos el Aval de aprobación del Proyecto de Titulación correspondiente a la modalidad **Proyecto de Investigación** en virtud de lo cual los postulantes puede presentarse a la Defensa de su Proyecto de Titulación.

Particular que pongo en su conocimiento para los fines legales pertinentes.


Atentamente,



Lector 1 (Presidente)
Ing. Edison Patricio Salazar Cueva, MSc.
CC:0501843171



Lector 2
Ing. Angel Marcelo Tello Condor, MSc.
CC: 0501518559



Lector 3
Ing. Raúl Heriberto Andrango Guayasamin, MSc.
CC: 1717526253

AVAL EMPRESARIAL

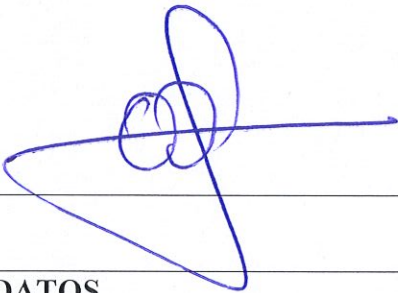
Latacunga, marzo 2026

Yo, Ing. Gonzalez Vigoa Alfredo, en calidad de representante de la empresa **ECUHOUSE S.A.**, otorgo el presente aval de haber realizado el proyecto de investigación, titulado **“OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA LEAN MANUFACTURING EN LA EMPRESA ECUHOUSE S.A.**, llevado a cabo por los estudiantes de la **Universidad Técnica de Cotopaxi** de la carrera de Ingeniería Industrial; **Cerda Mamallacta Jhonathan Bryan** con C.I. **1500904402**, y **Ushiña Quisaguano Brayan Fernando** con C.I. **1501091456**, en el periodo académico **Octubre2025 - Marzo 2026**

Aceptamos conocer y estar conformes con los términos y condiciones de las actividades que se realizaron en la empresa **ECUHOUSE S.A.**, en la ejecución del proyecto de los estudiantes.

Es cuanto puedo certificar en honor de la verdad, se expide el presente para que los interesados puedan hacer uso para los fines que crean conveniente.

Atentamente,



DATOS
NOMBRE: Ing. Gonzalez Vigoa Alfredo
CARGO: Representante de la empresa ECUHOUSE S.A.
C.I.: 0941268807
Teléfono: 0987512548

Agradecimiento

En primer lugar, agradecemos a Dios por bendecirnos con la vida, la salud y la fortaleza necesarias para superar cada desafío y permitirme llegar a este momento tan significativo de mi formación académica.

Expreso mi más profundo agradecimiento a mis padres, quienes con su amor, esfuerzo y sacrificio han sido el pilar fundamental en mi vida. Gracias a su apoyo incondicional y a todo lo que han hecho por mí, incluso dando más de lo que tenían, he podido continuar con mis estudios y avanzar hacia el cumplimiento de mis metas profesionales.

Asimismo, agradezco de manera especial a mis hermanas y a mi hermano por estar siempre presentes brindándome su apoyo, tanto emocional como económico. Su ayuda, motivación y confianza en mí han sido fundamentales para poder seguir adelante en este camino y no rendirme ante las dificultades.

De igual manera, extiendo mi agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de formarme dentro de una institución de gran prestigio, donde he podido adquirir conocimientos y experiencias que aportarán a mi crecimiento personal y profesional.

Finalmente, agradezco a todas las personas que de una u otra manera han sido parte de este proceso y han contribuido a que hoy pueda alcanzar este logro tan importante en mi vida.

A todos ellos, mi más sincero y profundo agradecimiento.

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo de investigación, en primer lugar, a Dios, por brindarme vida, sabiduría y fortaleza para superar cada dificultad y permitirme alcanzar una de las metas más importantes de mi formación profesional.

A mi madre, quien ha sido mi mayor apoyo, ejemplo y motivación a lo largo de este camino. Gracias por su amor, sacrificio y por creer siempre en mí.

A mi familia, por su apoyo incondicional, sus palabras de aliento y por acompañarme en cada etapa de este proceso académico.

Finalmente, dedico este logro a la Universidad Técnica de Cotopaxi, institución que me brindó la oportunidad de formarme profesionalmente, adquirir conocimientos y crecer tanto en lo personal como en lo académico. Jhonathan Cerda

Dedicatoria

En primer lugar, agradezco a Dios por bendecirme con la vida, la salud y la fortaleza necesarias para superar cada desafío y permitirme llegar a este momento tan significativo de mi formación académica.

Expreso mi más profundo agradecimiento a mis padres, quienes con su amor, esfuerzo y sacrificio han sido el pilar fundamental en mi vida. Gracias a su apoyo incondicional y a todo lo que han hecho por mí, incluso dando más de lo que tenían, he podido continuar con mis estudios y avanzar hacia el cumplimiento de mis metas profesionales.

Asimismo, agradezco de manera especial a mis hermanas y a mi hermano por estar siempre presentes brindándome su apoyo, tanto emocional como económico. Su ayuda, motivación y confianza en mí han sido fundamentales para poder seguir adelante en este camino y no rendirme ante las dificultades.

De igual manera, extiendo mi agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de formarme dentro de una institución de gran prestigio, donde he podido adquirir conocimientos y experiencias que aportarán a mi crecimiento personal y profesional. Ushiña Fernando

Resumen

La siguiente investigación busca proponer mejoras en los sistemas productivos de la empresa ECUHOUSE S.A., la cual elabora módulos habitacionales, aplicando herramientas de la filosofía Lean Manufacturing. El diagnóstico inicial, apoyado en el Mapeo de Flujo de Valor (VSM), arrojó una eficiencia del ciclo de proceso (PCE) de 7,24 % y un tiempo total de entrega de 10,8 días. Esto se atribuyó principalmente a tiempos de preparación excesivos, desorden operativo y manipulación excesiva de materiales (145 metros lineales). El tipo de enfoque fue cuantitativo de alcance explicativo, utilizando el diagrama de pasillo, diagrama de Pareto, 5S, SMED, sistema Pull con control del WIP mediante tarjetas Kanban y lineamientos de TPM para el seguimiento del OEE. La solución de ingeniería planteada consistió en rediseñar la planta (Layout) a un flujo en forma de "U", implementar una celda de manufactura integrada (Corte-Soldadura) y estandarizar las operaciones críticas. Los resultados de la validación demuestran una disminución del tiempo de entrega a 4,8 días (55,6 % de mejora) y un incremento de la eficiencia PCE a 16,3 %. Adicionalmente, la técnica SMED en el área de corte reduce el tiempo de cambio de 19 a 8 minutos, liberando tiempo para incrementar la producción de módulos de 5 a 8 por mes. La evaluación económica verifica la rentabilidad del proyecto con un VAN de \$53,105.38 y un ROI del 433.12 %, recuperando la inversión en 2,25 meses. Asimismo, la propuesta se articuló con principios de Industria 4.0 para el registro y monitoreo digital de los indicadores operativos.

Palabras clave: Filosofía Lean Manufacturing, Kanban, sistema Pull, SMED, VSM.

Abstract

The following research aims to propose improvements in the productive systems of the company ECUHOUSE S.A., which manufactures housing modules, by applying Lean Manufacturing tools. The initial diagnosis, supported by Value Stream Mapping (VSM), showed a process cycle efficiency (PCE) of 7.24% and a total delivery time of 10.8 days. This was mainly attributed to excessive setup times, operational disorder, and excessive material handling (145 linear meters). The approach was quantitative with an explanatory scope, using the spaghetti diagram, Pareto chart, 5S, SMED, a Pull system with WIP control through Kanban cards, and TPM guidelines for OEE monitoring. The proposed engineering solution consisted of redesigning the plant layout into a U-shaped flow, implementing an integrated manufacturing cell (Cutting–Welding), and standardizing critical operations. Validation results show a reduction in delivery time to 4.8 days (55.6% improvement) and an increase in PCE to 16.3%. Additionally, applying the SMED methodology in the cutting area reduces changeover time from 19 to 8 minutes, freeing time to increase module production from 5 to 8 per month. The economic evaluation confirms the project's profitability, with an NPV of \$53,105.38 and an ROI of 433.12 %, recovering the investment in 2.25 months. Additionally, the proposal was aligned with Industry 4.0 principles for the digital recording and monitoring of operational indicators.

Keywords: Lean Manufacturing Philosophy, Kanban, Pull System, SMED, VSM.



UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE
COTOPAXI



CENTRO
DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

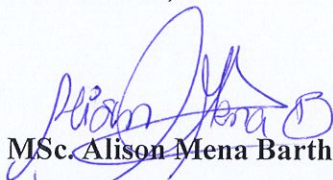
En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del tema del proyecto de investigación cuyo título versa: **“OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA FILOSOFÍA LEAN MANUFACTURING EN LA EMPRESA ECUHOUSE S.A)”**, presentado por: **Cerda Mammallacta Jhonathan Bryan y Ushiña Quisaguano Brayan Fernando** egresados de la Carrera de Ingeniería Industrial perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas** lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, marzo de 2026

Atentamente,


MSc. Alison Mena Barthelotty

DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC

CI: 0501801252



ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria.....	3
Resumen	5
Abstract.....	6
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	13
2. INTRODUCCIÓN.....	15
2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	16
2.2 Formulación del problema.....	17
2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN.....	17
2.3.1 Objeto de Investigación	17
2.3.2 Campo de Acción	17
2.4 BENEFICIARIOS	17
2.4.1 Directo	17
2.4.2 Indirecto.....	18
2.5 JUSTIFICACIÓN.....	18
2.6 OBJETIVOS.....	19
2.6.1 General.....	19
2.6.2 Específicos.....	19
2.6.3 SISTEMAS DE TAREAS	20
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	23

3.1	Antecedentes de la investigación.....	23
3.2	Filosofía Lean Manufacturing	25
3.2.1	Principios y filosofía Lean.....	27
3.2.2	Los 7 desperdicios (Mudas).....	28
3.2.3	Herramientas de diagnóstico (VSM)	30
3.2.4	Herramientas operativas (5S, SMED, Kaizen).....	31
3.2.5	Sistema Pull, WIP y Kanban	34
3.2.6	Parámetros técnicos del VSM: Takt Time, TC, OC y Buffer.....	35
3.2.7	TPM y OEE	35
3.2.8	Industria 4.0 y su articulación con Lean Manufacturing	36
3.3	Gestión de Procesos de Producción.....	36
3.3.1	Procesos de manufactura metalmecánica	37
3.3.2	Construcción modular prefabricada.....	38
3.3.3	Indicadores de productividad y eficiencia	40
3.4	Marco legal y normativo.....	42
3.5	Hipótesis	43
4.	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	44
4.1	Desarrollo del Objetivo Específico 1: Diagnóstico de la situación actual	44
4.1.1	Descripción del flujo de proceso	44
4.1.2	Análisis del layout actual y diagrama de recorrido	46

4.1.3	Análisis de la demanda y cálculo del Takt Time	48
4.1.4	Medición de tiempos operativos y determinación de capacidad	49
4.1.5	Mapeo de Flujo de Valor Actual (VSM Current State), inventarios, Lead Time y PCE	50
4.2	Desarrollo del Objetivo Específico 2: Identificación de los cuellos de botella del sistema productivo.....	52
4.2.1	Priorización de mudas y determinación de restricciones del sistema.....	52
4.2.2	Análisis de Pareto de defectos y retrasos.....	55
4.2.3	Diagrama de causa-efecto (Ishikawa) para el alto Lead Time	59
4.3	Desarrollo del Objetivo Específico 3: Diseño del plan de mejora basado en Lean Manufacturing	60
4.3.1	Diseño del mapa de flujo de valor futuro (Future State VSM)	60
4.3.2	Estructuración del programa 5S y gestión visual	62
4.3.3	Desarrollo de propuestas SMED y eventos Kaizen.....	63
4.3.4	Estandarización de procedimientos operativos (SOP).....	66
4.3.5	Plan de implementación y mejora continua (PDCA)	67
4.3.6	Criterios de validación de la propuesta.....	69
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	70
5.1	Validación Técnica de la Propuesta.....	70
5.1.1	Simulación del escenario mejorado (Proyección teórica de tiempos)	70
5.1.2	Análisis comparativo de indicadores (Antes vs. Después).....	72

5.2	Análisis Económico y Financiero.....	75
5.2.1	Costos de implementación de la propuesta (Inversión).....	75
5.2.2	Cuantificación de beneficios (Ahorro en horas extra, reducción de desperdicios).....	76
5.2.3	Evaluación de rentabilidad (Relación Costo-Beneficio / ROI)	78
5.3	Discusión de Resultados.....	79
5.3.1	Contrastación de resultados con los objetivos específicos	79
5.3.2	Impacto en la competitividad de la empresa	80
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
6.1	Conclusiones.....	82
6.2	Recomendaciones	83
7.	REFERENCIAS.....	84
8.	ANEXOS	87

ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 1: La Casa del TPS (Toyota Production System).....	26
Figura 2: El ciclo de los 5 Principios Lean	28
Figura 3: Los 7 Desperdicios.....	30
Figura 4: Ejemplo de simbología VSM.....	31
Figura 5: Ciclo de las 5S.....	32
Figura 6: El Ciclo PDCA.....	34
Figura 7: Diagrama de Recorrido Actual (Spaghetti Chart).....	47
Figura 8: Mapa de Flujo de Valor Actual (VSM).	51
Figura 9: Diagrama de Pareto de Causas de Baja Eficiencia	58
Figura 10: Diagrama de Ishikawa - Causas del Alto Lead Time.....	59
Figura 11: Mapa de Flujo de Valor Futuro (Future State VSM).....	62
Figura 12: Layout propuesto y nuevo flujo de materiales	66
Figura 13: Comparativa de Indicadores de Desempeño Operativo (Antes vs. Después).....	75

ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla 1: Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO [2].	14
Tabla 2: Sistema de tareas del plan de titulación.....	20
Tabla 3: Resumen de antecedentes de investigación.....	25
Tabla 4: Diagrama de Flujo del Proceso Actual (Resumen Operativo)	44
Tabla 5: Resumen de Datos Operativos por Proceso (Levantamiento 2024).....	49
Tabla 6: Matriz de identificación y clasificación de desperdicios (mudas) por etapa del proceso actual	53
Tabla 7: Determinación de Capacidad Instalada Teórica por Proceso	55
Tabla 8: Identificación del Cuello de Botella y Capacidad Efectiva.....	56
Tabla 9: Análisis de Frecuencia de Problemas (Pareto).....	57
Tabla 10: Proyección de Reducción de Tiempos de Setup (SMED).....	64
Tabla 11: Estructura del Estándar de Operación Propuesto	67
Tabla 12: Cronograma macro de implementación	68
Tabla 13: Matriz Comparativa de Tiempos Operativos: Situación Actual vs. Situación Proyectada	71
Tabla 14: Presupuesto Detallado de Inversión Inicial	75

1. INFORMACIÓN GENERAL

Tema del proyecto: OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA FILOSOFÍA LEAN MANUFACTURING EN LA EMPRESA ECUHOUSE S.A.

Modalidad de Titulación:

Propuestas Tecnológicas

Proyectos de Investigación

Carrera:

INGENIERÍA INDUSTRIAL

Equipo de Trabajo de Titulación:

Tutor: Ing. Olovacha Toapanta Wilson Santiago Mg.

N° de cedula: 1804302238

Teléfono: 0997466603

Correo Electrónico: wilson.olvacha2238@utc.edu.ec

Autores: Cerda Mamallacta Jhonathan Bryan

N° de cedula: 1500904402

Teléfono: 09979262914

Correo Electrónico: jhonathan.cerda4402@utc.edu.ec

Ushiña Quisaguano Brayán Fernando

N° de cedula: 1501091456

Teléfono: 0987702701

Correo Electrónico: brayan.ushina1456@utc.edu.ec

Área de Conocimiento: NOMENCLATURA INTERNACIONAL DE LA UNESCO para los campos de ciencia y tecnología:

Tabla 1: Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO [2].

3310 tecnología Industrial
3310.03 Procesos Industriales
3310.07 Estudio de Tiempos y Movimientos

Línea de investigación: Tecnología industrial

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

2. INTRODUCCIÓN

En el entorno industrial contemporáneo, las prioridades de la manufactura global han sufrido un cambio drástico. Según el último reporte del Foro Económico Mundial (WEF), más del 90% de los ejecutivos de operaciones a nivel global han dejado de priorizar exclusivamente el costo para enfocarse en la resiliencia y la regionalización de sus cadenas de suministro [1]. Sin embargo, el nivel de respuesta corporativa frente a este paradigma se ve limitada por la falta de preparación en sus sistemas productivos. La OCDE advierte de que, sin una intervención estructural para resolver las fallas de mercado y mejorar la asignación de recursos, las industrias pueden volverse menos competitivas en comparación con mercados que ya están adoptando políticas industriales pro-competitivas y digitalizadas [2].

Al ver el panorama de Latinoamérica y Ecuador, la situación es alarmante. Nuevos datos de la CEPAL (2024) confirman que la región ha cerrado una "segunda década perdida": entre 2014 y 2023 creció en promedio solo 0.9 % anual, por debajo del 2 % de la crisis de los años 80 [3]. Este estancamiento no es coyuntural, sino estructural: la brecha de productividad laboral se ha ensanchado al punto de que, en 2023, la productividad de Estados Unidos fue cuatro veces mayor que la de América Latina [3]. El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) corrobora que esta baja eficiencia se debe a la persistencia de modelos de gestión empíricos y a la falta de integración en cadenas globales de valor, lo que condena a la industria local a operar con altos costos y baja sofisticación [4]. La investigación se desarrolla en Ecuhouse S.A., entidad constituida en 2010 y operativa desde 2012 en la ciudad de Latacunga. La organización se dedica a la construcción modular y al sistema completo, desde la ingeniería conceptual, y la construcción, al ensamblaje de campamentos, oficinas y viviendas prefabricadas. Su enfoque de negocios B2B (Business to Business, modelo de transacción comercial entre empresas) tiene un fuerte anclaje a la temporalidad de los trabajos en sectores como la minería, energía y construcción, donde se requiere rapidez y movilidad. Aunque la compañía tiene una capacidad instalada para desarrollos de más de 10.000 m² y su integración vertical le permite un mejor posicionamiento en el mercado al tener menores niveles de importaciones, la compañía tiene problemas operativos a nivel de la demanda en el sector extractivo.

Ante la evidencia de que la región enfrenta una trampa de bajo crecimiento por falta de optimización, esta investigación resulta pertinente. El estudio propone la intervención técnica mediante la filosofía *Lean Manufacturing* —desarrollada por Ohno [11] y sistematizada bajo los cinco principios Lean por Womack y Jones [12]— para revertir las ineficiencias en Ecuhouse S.A., articulando sus resultados con los principios de la Industria 4.0 para establecer una base de mejora sostenible y medible.

2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

En cuanto a la trayectoria de Ecuhouse S.A. en el mercado metalmecánico, la empresa enfrenta una fase de inestabilidad financiera y operativa que afecta la sostenibilidad de la empresa. Los informes financieros muestran una contracción severa del 61 % en las ventas netas y los ingresos operativos de la empresa para los años 2024-2025, y esto se debe a la desaceleración de los proyectos mineros y los cortes de energía. En 2024 hubo un aumento en los ingresos, aunque el margen operativo fue solo del 3.18 %. La empresa tiene una liquidez actual de 1.2. Esto apunta a problemas de flujo de efectivo que, a su vez, están creando condiciones para un capital de trabajo neto negativo del 1.32 %, y, por lo tanto, reduciendo las posibilidades de la empresa para reinvertir o modernizarse.

Desde un punto de vista operativo, la rigidez del modelo de producción actual enfrenta dificultades para abordar el entorno competitivo, particularmente debido a la presencia de estructuras prefabricadas de bajo costo de importadores asiáticos. Existen ineficiencias en el funcionamiento de la planta de Latacunga, particularmente en la dinámica de abastecimiento interno, sumado a complicaciones vinculadas con el tiempo que se gasta o que está programado para gastarse en los talleres de corte y conformado, y los sobrecostos resultantes están perjudicando las ganancias de la planta, es decir, en 2024 el margen neto de la planta fue solo del 1.32 %.

Además, la dependencia de contratos directos con el sector extractivo expone a la organización a las continuas fluctuaciones en los costos de los insumos básicos. Carecer de un perfeccionamiento en sus procesos de producción para reducir costos fijos y mejorar los tiempos de entrega (una ventaja competitiva actualmente presionada), la empresa enfrenta la inminente amenaza de ceder participación comercial ante rivales con mayor desempeño y

económicos. Este escenario establece las condiciones para la necesidad técnica de intervenir en la línea de producción utilizando metodologías de mejora continua.

2.2 Formulación del problema

¿De qué manera la aplicación de la filosofía Lean Manufacturing optimizará los procesos de producción en Ecuhouse S.A. y permitirá reducir las ineficiencias operativas y mejorar la rentabilidad frente a la actual contracción financiera y competitiva?

2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.3.1 Objeto de Investigación

Los procesos de producción de construcciones modulares prefabricadas en la planta metalmeccánica de Ecuhouse S.A. en Latacunga.

2.3.2 Campo de Acción

Código principal UNESCO: 3310.05 Ingeniería de procesos (Tecnología industrial).

Código secundario UNESCO: 3310.03 Procesos industriales (Tecnología industrial).

Código complementario: 5311.09 Organización de la producción (Ciencias económicas).

2.4 BENEFICIARIOS

2.4.1 Directo

El actor central beneficiado para este proyecto es Ecuhouse S.A. empresa metalmeccánica ubicada en la ciudad de Latacunga (Cotopaxi) que se dedica a la construcción de edificaciones modulares preensambladas, con el cual se obtendrá un plan definido para la optimización de sus operaciones de manufactura, aplicando como eje conductor la filosofía Lean Manufacturing, con el fin de mejorar la competitividad de la empresa y consolidar su posición financiera a largo plazo.

Dentro de la empresa, se consideran también beneficiarios directos específicos:

- **Personal operativo de planta:** Un grupo estimado de entre 25 y 35 operarios de los talleres de corte, conformado, soldadura y ensamblaje, quienes verán mejoradas sus

condiciones de trabajo a través de la estandarización de tareas, la reducción de reprocesos y el fortalecimiento de la seguridad industrial.

- **Nivel directivo y gerencial:** Cuatro personas correspondientes a la Gerencia de Operaciones y Jefaturas de Producción, que dispondrán de indicadores, herramientas de gestión y propuestas de mejora para la toma de decisiones basadas en datos sobre el desempeño de la planta.

2.4.2 Indirecto

Los beneficiarios colaterales del trabajo de titulación comprenden los actores de la cadena de valor y el entorno académico-social:

- **Cientes del sector estratégico:** Aproximadamente 15 empresas de los sectores minero, petrolero y de la construcción que conforman la cartera activa de Ecuhouse S.A., las cuales recibirán productos con estándares de calidad superiores y tiempos de entrega reducidos.
- **Proveedores locales:** Cerca de 10 distribuidores de insumos metalmecánicos en la zona central del país, cuya relación comercial se fortalecerá debido a la mayor estabilidad y previsibilidad en los pedidos de la empresa.
- **Comunidad académica:** La carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Técnica de Cotopaxi, que dispondrá de un caso de estudio aplicado sobre *Lean Manufacturing* en el contexto local, sirviendo como referencia bibliográfica para futuros investigadores. Matriz

2.5 JUSTIFICACIÓN

Desde el punto de vista teórico, la investigación aporta a la validación empírica de la filosofía Lean Manufacturing en el sector metalmecánico ecuatoriano, donde existe poca documentación académica local. Los resultados serán capaces de comparar los fundamentos de eliminación de desperdicios y mejora continua con la realidad de este tipo de industria y crear conocimiento aplicable y replicable.

En el plano aplicado, el estudio aplica herramientas Lean de reconocimiento mundial (VSM, 5S, SMED, Kaizen, sistema Pull con control del WIP mediante Kanban y lineamientos de TPM para el seguimiento del OEE) a una planta de construcciones modulares. Esta adaptación muestra la posibilidad de implementar sistemas lean en empresas con pocos recursos y alta variabilidad en la demanda, características comunes en la industria latinoamericana.

La justificación práctica y laboral se basa en la situación actual de Ecuhouse S.A., que ha disminuido en un 61 % sus ingresos y márgenes operativos de 1,32 %. La optimización de procesos pretende disminuir tiempos muertos, desperdicios y costos operativos para competir con importadores asiáticos de bajo costo y mejorar el rendimiento del personal.

En el ámbito social, la mejora de la eficiencia de Ecuhouse S.A. contribuye a la preservación de empleos directos en Latacunga y al fortalecimiento del tejido industrial local. En el plano académico y personal, el proyecto consolida el perfil de egreso de Ingeniería Industrial al integrar gestión de operaciones, mejora continua y análisis de productividad en un caso real, incorporando además una vinculación con la Industria 4.0 mediante el monitoreo digital de indicadores operativos.

2.6 OBJETIVOS

2.6.1 General

Optimizar los procesos de producción de construcciones modulares prefabricadas en Ecuhouse S.A. mediante la filosofía Lean Manufacturing para reducir ineficiencias operativas y mejorar la rentabilidad.

2.6.2 Específicos

1. Diagnosticar el estado actual de los procesos de producción de construcciones modulares prefabricadas en la planta metalmecánica de Ecuhouse S.A. para identificar desperdicios.
2. Identificar los cuellos de botella presentes en el flujo de los procesos de producción mediante herramientas de análisis Lean para priorizar oportunidades de mejora.

3. Diseñar un plan de mejora basado en herramientas de Lean Manufacturing (5S, SMED, Kaizen y trabajo estandarizado) para eliminar los desperdicios identificados y optimizar el flujo de producción de construcciones modulares prefabricadas.

2.6.3 SISTEMAS DE TAREAS

Tabla 2: Sistema de tareas del plan de titulación

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, medios e instrumentos
<p>Diagnosticar el estado actual de los procesos de producción de construcciones modulares prefabricadas en la planta metalmecánica de Ecuhouse S.A. para identificar desperdicios.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recopilación de información técnica sobre el flujo productivo, el layout actual y los registros históricos de producción. 2. Medición de tiempos de ciclo y tiempos muertos en las estaciones de trabajo. 3. Elaboración del mapa de flujo de valor del estado actual (Current State VSM). 	<ul style="list-style-type: none"> • Inventario de procesos, recursos y condiciones operativas de la planta. • Base de datos de tiempos cronometrados por operación. • Diagrama VSM actual con línea base de tiempos, flujos y desperdicios. 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión documental, observación directa, entrevistas. • Estudio de tiempos, cronómetro digital. • Metodología VSM, software de diagramación.
<p>Identificar los cuellos de botella presentes en el flujo de los procesos</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Clasificación de los desperdicios (mudas) en cada etapa 	<ul style="list-style-type: none"> • Matriz de identificación y clasificación 	<ul style="list-style-type: none"> • Listas de verificación, caminata de Gemba.

<p>de producción del proceso desperdicios. mediante herramientas productivo. de análisis Lean para priorizar oportunidades de mejora.</p>	<p>2. Determinación de la capacidad instalada y de los cuellos de botella de la línea. 3. Jerarquización de las causas raíz de las ineficiencias mediante análisis cuantitativo.</p>	<p>de línea e identificación de restricciones. con las ineficiencias críticas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Diagrama de Yamazumi, Excel. • Diagrama de Ishikawa, Pareto. • Diagrama de Pareto
<p>Diseñar un plan de mejora basado en herramientas de Lean Manufacturing (5S, SMED, Kaizen mejora continua (Jidoka, heijunka, JIT, VSM, OEE, TPM, y trabajo estandarizado) para eliminar los desperdicios</p>	<p>1. Diseño del mapa de flujo de valor futuro (Future State VSM) con las mejoras propuestas. 2. Estructuración del programa 5S y gestión visual. 3. Desarrollo de propuestas técnicas SMED y eventos</p>	<p>de futuro con reducción proyectada de tiempos. de implementación 5S y cronograma de auditorías. de mejoras SMED y Kaizen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Diagrama VSM • Metodología VSM, benchmarking. • Listas de chequeo 5S. • Análisis de video, formatos Kaizen. • Diagramas de operación.

<p>identificados optimizar el flujo de producción construcciones modulares prefabricadas.</p>	<p>y Kaizen. 4. Estandarización de procedimientos operativos (SOP).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Formatos de trabajo estandarizado. 	
---	---	--	--

Nota. Elaboración propia.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 Antecedentes de la investigación

En Asia, Huang et al. [5] desarrollaron el estudio titulado “*A Lean Manufacturing Progress Model and Implementation for SMEs in the Metal Products Industry*” en una pequeña y mediana empresa (PYME) del sector de procesamiento de metales en China. El objetivo fue determinar qué modelos de manufactura esbelta pueden utilizar las PYMES para reducir costos e incrementar la eficiencia operativa. Para lograr esto, los autores utilizaron un diseño de investigación-acción que integró el *Value Stream Mapping* (VSM) a modo de instrumento diagnóstico para diagnóstico y planificación dentro de una línea de producción de marcos de acero. Los resultados mostraron que, después de llevar a cabo e implementar diez proyectos de mejora basados en el VSM futuro, el rendimiento del tiempo de entrega mejoró de 26 a 19.5 días, y la eficiencia del WIP (Trabajo en Proceso) también mejoró en un 83.84 %. Se concluyó que el VSM constituye una herramienta práctica y efectiva para que empresas metalmeccánicas con recursos limitados eliminen desperdicios y mejoren su rentabilidad.

En el contexto europeo, Rodrigues et al. [6] llevaron a cabo la investigación “*A Rapid Improvement Process through ‘Quick-Win’ Lean Tools: A Case Study*” en una empresa metalmeccánica mediana en Portugal. El estudio tuvo como propósito determinar qué herramientas Lean generan impactos rápidos y positivos (*quick wins*) en los procesos productivos y en la cultura organizacional. El enfoque implicó el uso de 5S, PDCA, el ciclo de mejora continua de Kaizen y gestión visual a lo largo de tres meses y su efecto fue medido a través de encuestas de percepción dirigidas a 17 trabajadores claves de las células de mecanizado. Se obtuvo un 6,1 % de mejora en la percepción positiva de la eficiencia operativa y la organización del trabajo se obtuvo un resultado positivo. Los autores destacan que la 5S gestión visual puede proporcionar beneficios a nivel organizacional por lo que el personal puede ser motivado a cambios de mejora continua.

De manera complementaria, Ganesan et al. [7] desarrollaron el estudio “*Implementation of Lean Manufacturing to Improve Production Efficiency: A Case Study of Electrical and Electronic Company in Malaysia*”. Aunque aplicado al sector electrónico, el objetivo fue mejorar la eficiencia de una línea de producción que requería duplicar su capacidad (de 1 500

a 3 000 unidades por semana) sin incrementar de forma significativa los recursos disponibles. El diseño metodológico se fundamentó en examinar los ocho desperdicios y en el uso de VSM para identificar cuellos de botella, seguido de una simulación en FlexSim para validar las mejoras propuestas. Los resultados demostraron que, a través de la nivelación de cargas de trabajo y la supresión de actividades sin valor agregado, la tasa de balanceo alcanzó el 80 % y se consiguió duplicar la producción con la incorporación de solo cuatro estaciones de trabajo. Los autores concluyeron que la integración de VSM con herramientas de simulación permite predecir con alta precisión las mejoras en productividad antes de la implementación física.

En América Latina, Bravo Fernández [8] realizó en Perú la investigación titulada *“Aplicación de herramientas Lean Manufacturing (5S, Andon y Tiempo Estándar) para el aumento de la productividad en el área de producción de una empresa metalmecánica”*. El objetivo consistió en mejorar la productividad operativa mediante la reducción de tiempos improductivos y la estandarización de procesos. La metodología tuvo un enfoque cuantitativo preexperimental, comenzando con un diagnóstico utilizando VSM, seguido de la implementación de 5S, Andon y estudios de tiempo. Con base en los hallazgos documentados, los autores determinaron que la productividad promedio mejoró de 0.26 a 0.33 toneladas/suela, así como la organización del área de corte, que mejoró en un 20 % después de aplicar 5S. El autor concluyó que la estandarización del tiempo es esencial para lograr un flujo de trabajo constante en los talleres de metalmecánica.

Además, Florez-Cáceres et al. [9] presentaron el estudio Mejora de la Productividad en una Empresa del Sector Metalúrgico a través de Herramientas de Lean Manufacturing y TPM Un Estudio de Caso en Perú, en micro y pequeñas empresas que brindan servicios industriales de metalmecánica y que experimentan largos tiempos de preparación. La investigación tuvo un marco metodológico de cuatro etapas que combinó 5S, Mantenimiento Productivo Total (TPM) y la técnica SMED (Cambio de Herramientales en un Solo Minuto), validada a través de una prueba estadística piloto. El estudio mostró una reducción del 32.04 % en el tiempo de preparación de las máquinas, un aumento en la productividad del 10 %, y una mejora del 23.8% en la eficiencia general. Los autores concluyeron que la adaptación del SMED es una herramienta compleja que es factible y rentable en las PYME de América Latina.

En el contexto nacional ecuatoriano, se evidencia la aplicación exitosa de metodologías de mejora continua en el sector manufacturero para abordar problemas de eficiencia operativa. Espinales Meza et al. [10] desarrollaron el estudio *“Manufactura esbelta para la mejora del proceso operacional: un caso de estudio en la industria de plástico”* en la empresa Aquaplastic S.A.S., ubicada en la provincia de Santa Elena. El objetivo consistió en proponer e implementar una filosofía basada en herramientas Lean (5S, TPM y VSM) para optimizar el proceso operacional y reducir la generación de residuos. La investigación adoptó un enfoque cuantitativo con diseño no experimental transversal y utilizó VSM y listas de verificación para el diagnóstico y control. Los resultados mostraron que el cumplimiento de la norma 5S se incrementó del 44 % al 74 %, la Eficiencia General de los Equipos (OEE) pasó del 68 % al 86 % y la productividad aumentó en un 12 %. Los autores concluyeron que la integración de herramientas de diagnóstico (VSM) con herramientas operativas (5S y TPM) resulta efectiva para optimizar recursos y tiempos en la industria ecuatoriana.

Tabla 3: Resumen de antecedentes de investigación

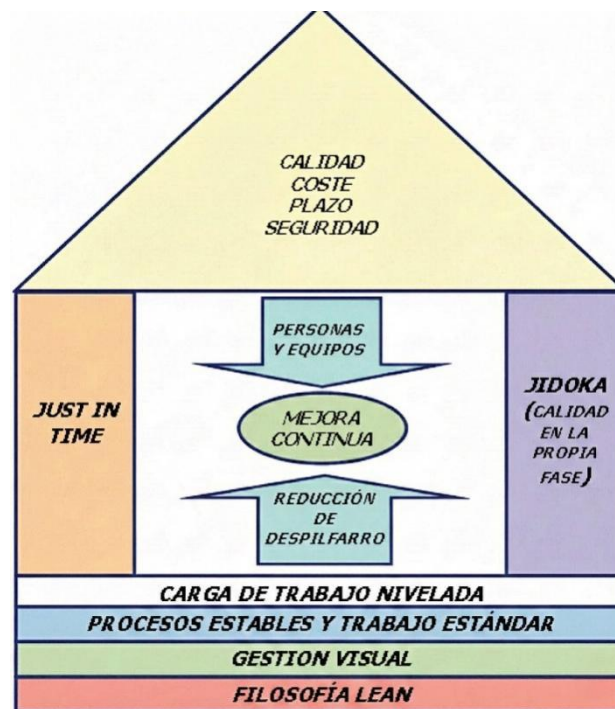
Año	Autores	Título	País / contexto	Metodología	Resultados principales	Aporte a esta investigación
2020	Rodrigues et al. [6]	A Rapid Improvement Process through “Quick-Win” Lean Tools: A Case Study	Portugal – empresa metalmeccánica mediana	5S, PDCA, Kaizen diario, gestión visual, encuestas de percepción	Incremento del 6,1 % en la percepción de eficiencia operativa; mejora en la organización del trabajo	Valida el uso de 5S y Kaizen para obtener <i>quick wins</i> en procesos de cambio organizacional.
2022	Huang et al. [5]	A Lean Manufacturing Progress Model and Implementation for SMEs in the Metal Products Industry	China – PYME de procesamiento de metales	VSM, investigación-acción, diez proyectos de mejora	Reducción del <i>lead time</i> de 26 a 19,5 días; mejora del WIP en 83,84 %	Demuestra la viabilidad del VSM en PYMES metalmeccánicas con recursos limitados.
2023	Bravo Fernández [8]	Aplicación de herramientas Lean Manufacturing (5S, Andon y Tiempo Estándar) para el aumento de la productividad en el área de producción de una empresa	Perú – empresa metalmeccánica	VSM, 5S, Andon, estudio de tiempos, diseño preexperimental	Productividad de 0,26 a 0,33 t/sol; mejora del 20 % en la organización del área de corte	Valida el uso combinado de VSM y estandarización del trabajo como ruta crítica para mejorar la rentabilidad.
2023	Ganesan et al. [7]	Implementation of Lean Manufacturing to Improve Production Efficiency	Malasia – empresa del sector electrónico	VSM, análisis de ocho desperdicios, simulación FlexSim	Tasa de balanceo de línea del 80 %; duplicación de la producción con cuatro estaciones adicionales	Aporta una guía metodológica para el diagnóstico y la simulación de mejoras de capacidad instalada.
2024	Florez-Caceres et al. [9]	Improving Productivity in an SME in the Metalworking Sector through Lean Manufacturing and TPM Tools	Perú – PYME del sector metalmeccánico	5S, TPM, SMED, modelo de cuatro fases, prueba piloto	Reducción del 32,04 % en tiempos de <i>setup</i> ; aumento del 10 % en la productividad; mejora del 23,8 % en la eficiencia global	Proporciona sustento empírico para el diseño de mejoras SMED en PYMES latinoamericanas.
2025	Espinales Meza et al. [10]	Manufactura esbelta para la mejora del proceso operacional: un caso de estudio en la industria de plástico	Ecuador – Aquaplastic S.A.S., Santa Elena	VSM, 5S, TPM, enfoque cuantitativo no experimental	Incremento del cumplimiento 5S del 44 % al 74 %; OEE del 68 % al 86 %; productividad +12 %	Ofrece validación empírica nacional del uso combinado de VSM y 5S en la industria ecuatoriana.

3.2 Filosofía Lean Manufacturing

Lean Manufacturing (Manufactura Esbelta) es un modelo de gestión de operaciones que ha revolucionado la eficiencia industrial en todo el mundo. Se puede definir como un sistema integrado de principios y herramientas para crear el máximo valor para el cliente, a través de la eliminación del desperdicio (Muda) a lo largo de cada eslabón de la cadena de suministro. Mientras que la producción en masa tradicional se enfoca en maximizar el volumen y la eficiencia local de las máquinas, la producción Lean se enfoca en la eficiencia del flujo total del producto.

Históricamente, sus orígenes se remontan al Sistema de Producción Toyota (TPS). Tras el término del segundo conflicto bélico global, la nación nipona enfrentaba escaso de capital y recursos para copiar el modelo de grandes inventarios de las automotrices americanas. En este contexto, Taiichi Ohno, ingeniero jefe de Toyota, creó un sistema basado en la producción "Justo a Tiempo" y la automatización con toque humano (Jidoka), probando que es posible disminuir costos y tiempos de entrega sin sacrificar la calidad [11].

Figura 1: La Casa del TPS (Toyota Production System)



Nota. Adaptado de *Ohno, T. (1988). Toyota Production System.*

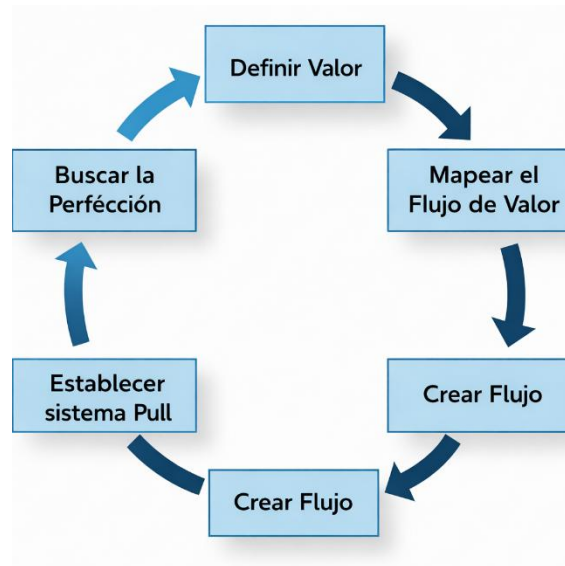
3.2.1 Principios y filosofía Lean

La adopción de *Lean* no se limita a la aplicación de técnicas aisladas; requiere una transformación en la mentalidad organizacional. Womack y Jones [12], en su obra seminal *Lean Thinking*, codificaron la filosofía del TPS en cinco principios universales que guían la implementación en cualquier industria:

- 1. Definir Valor (Specify Value):** El punto de inicio es que el valor solo lo define el cliente final. Se vende como un producto en particular, con ciertas características, a un precio y en un tiempo definidos. Todo aquello que consume recursos, pero que no aporta a esta percepción del cliente, es desperdicio [12].
- 2. Mapear el Flujo de Valor (Map the Value Stream):** Consiste en identificar de forma exhaustiva cada tarea requerida para trasladar un artículo por las tres funciones vitales de la administración: solución de problemas, administración de la información y transformación física. Esta herramienta hace posible visualizar todo el proceso y distinguir las actividades que aportan valor de las que no, dejando al descubierto oportunidades de mejora de forma inmediata [12].
- 3. Crear Flujo (Flow):** Después de identificar y eliminar el desperdicio evidente, el problema es hacer que los pasos restantes que añaden valor fluyan en una secuencia continua. Esto requiere romper la mentalidad de “lote y espera” y rediseñar los procesos de tal manera que el producto se mueva de una etapa a la siguiente sin paradas, esperas o inventarios intermedios [12].
- 4. Establecer el sistema Pull (Jalar):** A diferencia de los sistemas Push donde la producción es “empujada” de acuerdo con pronósticos (a menudo erróneos), el sistema Pull dicta que nadie aguas arriba debe producir un bien o servicio hasta que el cliente aguas abajo lo solicite. Esto disminuye drásticamente el sobrestock y los costos financieros asociados con el inventario [12].

5. **Buscar la Perfección (Perfection):** Tras los cuatro primeros pasos, el sistema saca a la luz nuevas ineficiencias latentes. La perfección es la búsqueda continua de la mejora (Kaizen), reconociendo que la eliminación del desperdicio es un camino infinito hacia "cero defectos" y "cero inventarios" [12].

Figura 2: El ciclo de los 5 Principios Lean



Nota. Adaptado de *Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). Lean Thinking.*

3.2.2 Los 7 desperdicios (Mudas)

El enemigo principal de la productividad en la filosofía Lean es el *Muda* (palabra japonesa para desperdicio). Taiichi Ohno [11] categorizó siete formas en las que los recursos se pierden sin generar valor, estableciendo un marco de referencia para el diagnóstico operativo:

1. **Sobreproducción:** Se considera la causa raíz de muchas de las otras formas de desperdicio, ya que crea y oculta a las otras. La sobreproducción ocurre cuando las organizaciones crean productos que aún no han sido demandados, o cuando crean productos en mayores cantidades que la demanda inmediata, lo que a su vez desperdicia capital de trabajo y espacio físico [11].
2. **Esperas:** La espera es el período de inactividad de los operadores que monitorean las máquinas automáticas, o que están en colas buscando herramientas, materiales,

instrucciones o reparaciones. Desde la perspectiva Lean, pagar por el tiempo presente en lugar del tiempo ejercido en el trabajo es una pérdida [11].

3. **Transporte:** Es el movimiento físico de materiales, componentes o productos terminados de un lugar a otro no añade ningún valor físico al producto. El transporte excesivo añade el riesgo de daños y pérdidas y aumenta los retrasos, así como requiere costoso equipo de manipulación de materiales y trabajo adicional [11].
4. **Sobreprocesamiento:** Esto ocurre cuando se tienen que realizar operaciones innecesarias desde el punto de vista del cliente, como un pulido excesivo en áreas no visibles, o cuando se utilizan tolerancias estrictas innecesarias o maquinaria compleja para tareas simples [11].
5. **Inventario:** La sobreabundancia de insumos, artículos en curso (WIP) y bienes finalizados evidencia un flujo deficiente. El inventario oculta problemas graves como desbalances de línea, proveedores poco fiables y tiempos de cambio largos, además de generar costos de obsolescencia [11].
6. **Movimientos:** Cualquier movimiento del personal que no añade valor. como el caminar para agarrar herramientas, agacharse para recuperar piezas o estirarse demasiado. Estos movimientos no solo reducen la productividad, sino que también aumentan la fatiga y el riesgo ergonómico [11].
7. **Defectos:** La producción de piezas con defectos genera gastos que también son costos de inspección, retrabajo (que consume el doble de recursos) o eliminación completa. Afecta directamente la rentabilidad y la confianza del cliente [11].

Figura 3: Los 7 Desperdicios



Nota. Elaboración propia basada en *Ohno (1988)*.

3.2.3 Herramientas de diagnóstico (VSM)

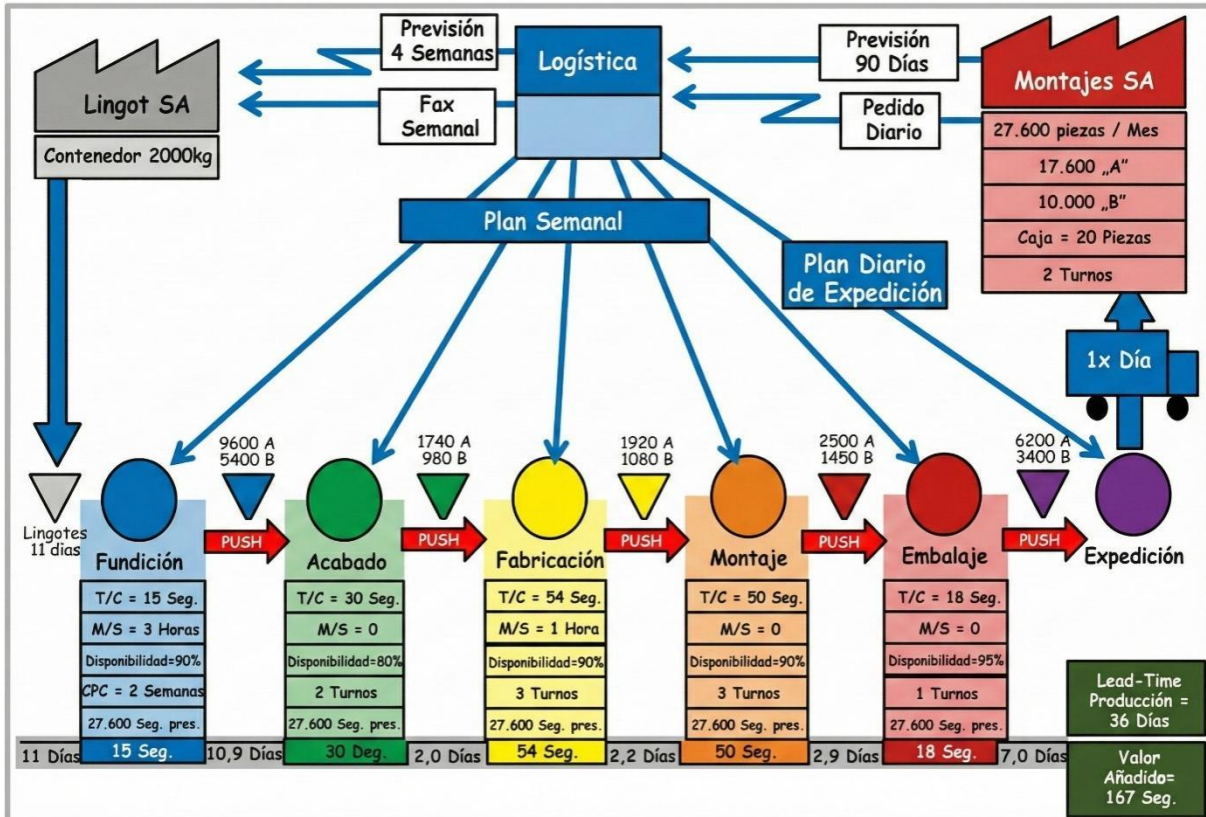
El Mapeo de Flujo de Valor (Value Stream Mapping - VSM) representa el recurso analítico clave para mapear cómo interactúan las corrientes físicas y de datos. Rother y Shook [13], en su manual *Learning to See*, establecen que el VSM permite trascender la mejora de procesos individuales (optimización local) para enfocarse en la eficiencia sistémica (optimización global).

La metodología VSM se desarrolla en dos fases críticas:

- **VSM del Estado Actual (Current State Map):** Es una representación gráfica de la realidad operativa del piso de producción. Se levanta mediante observación directa (*Gemba*), cronometrando tiempos reales y documentando inventarios acumulados. Su objetivo es calcular el *Lead Time* total y contrastarlo con el tiempo de valor agregado, haciendo evidentes los "puntos de estancamiento" del flujo.
- **VSM del Estado Futuro (Future State Map):** Es el diseño técnico del flujo ideal. Utilizando la simbología estándar, se proyecta cómo funcionará el sistema tras

implementar mejoras como celdas de manufactura, sistemas *Kanban* o nivelación de carga (*Heijunka*). Este mapa se convierte en el plano director para el plan de implementación.

Figura 4: Ejemplo de simbología VSM



Nota. Elaboración propia basada en Rother, M., & Shook, J. (1999). *Learning to See*.

3.2.4 Herramientas operativas (5S, SMED, Kaizen)

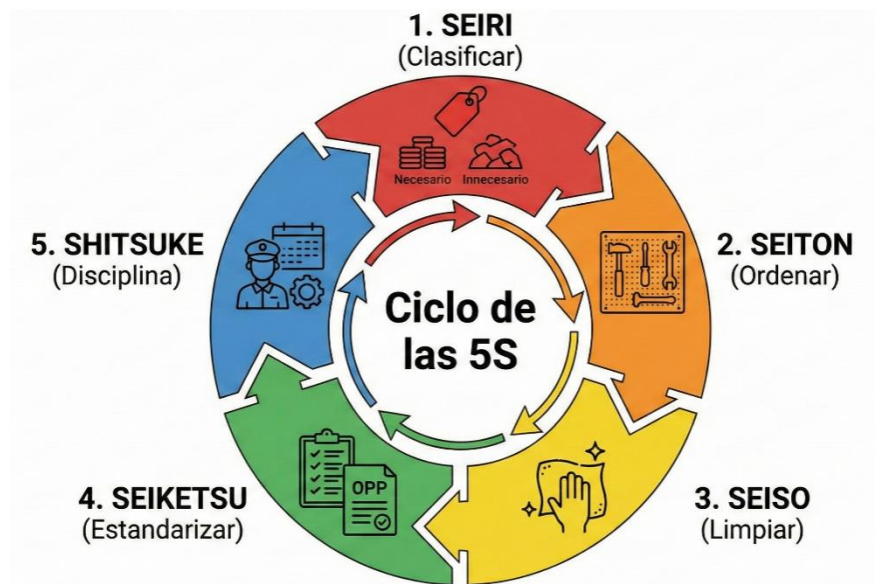
Para transitar del estado actual al futuro, la metodología Lean despliega herramientas específicas para resolver problemas concretos:

A. Metodología 5S: Orden y Estandarización

Más que una técnica de limpieza, las 5S constituyen un sistema de condicionamiento mental y físico del entorno de trabajo. Hirano [14] describe las 5S como los pilares de la disciplina visual, sin los cuales otras mejoras son insostenibles:

- **Seiri (Clasificar):** Distinguir de forma rigurosa los elementos útiles de los prescindibles dentro del espacio operativo (*gemba*), descartando aquello que carece de utilidad.
- **Seiton (Ordenar):** Disponer los artículos indispensables de manera que resulte sumamente sencillo emplearlos, ubicarlos y retornarlos a su sitio ("Un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar").
- **Seiso (Limpiar):** La limpieza se entiende como inspección; al limpiar se detectan fugas, averías o anomalías en los equipos.
- **Seiketsu (Estandarizar):** Crear normas visuales y procedimientos que hagan obvio cuando los tres primeros pasos no se cumplen.
- **Shitsuke (Disciplina):** Fomentar el hábito y el respeto por los estándares establecidos mediante auditorías y autocontrol.

Figura 5: Ciclo de las 5S



Nota. Elaboración propia basada en Hirano, H. (1995). *5 Pillars of the Visual Workplace*.

B. SMED (Single-Minute Exchange of Die)

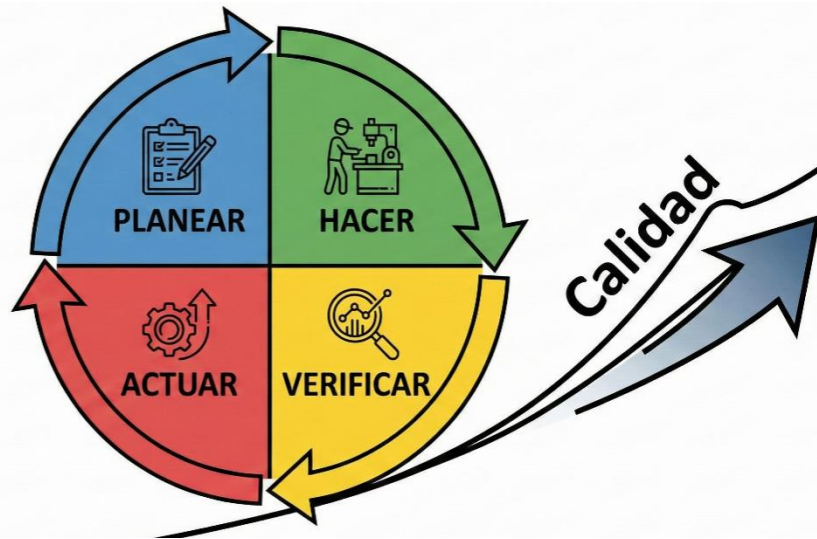
En entornos de alta variabilidad, los tiempos de preparación (*setup*) son el mayor obstáculo para el flujo. Shigeo Shingo [15] desarrolló el sistema SMED con la premisa de reducir los cambios de herramienta a menos de diez minutos (un solo dígito). La metodología se basa en diferenciar dos tipos de ajustes:

- **Operaciones Internas (IED):** Aquellas que solo pueden realizarse con la máquina detenida (ej. cambiar una matriz de corte).
- **Operaciones Externas (OED):** Aquellas que pueden adelantarse mientras la máquina sigue operando (ej. buscar las herramientas del siguiente lote). La clave del SMED reside en convertir operaciones internas en externas, permitiendo reducir el tamaño de los lotes y aumentar la flexibilidad sin perder capacidad productiva.

C. Kaizen (Mejora Continua)

Esta filosofía no representa un instrumento fijo, sino la dinámica que impulsa todo el sistema. Según Masaaki Imai [16], este concepto se traduce como un progreso ininterrumpido que compromete a todo el personal, desde la alta dirección hasta los operarios. Se operativiza a través de eventos o talleres (*Kaizen Blitz*) enfocados en resolver problemas específicos en corto tiempo, y mediante el ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act). Su filosofía rechaza la complacencia y sostiene que "todo estándar existe para ser mejorado", priorizando soluciones de bajo costo, ingenio y sentido común sobre grandes inversiones de capital.

Figura 6: El Ciclo PDCA



Nota. Elaboración propia basada en Imai, M. (1986). *Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success.*

3.2.5 Sistema Pull, WIP y Kanban

Dentro de la filosofía Lean, el sistema Pull establece que cada proceso debe producir únicamente lo que el proceso siguiente requiere, en la cantidad necesaria y en el momento requerido. Esta lógica contrasta con el sistema Push, en el cual la producción se impulsa por lotes o previsiones y tiende a generar acumulación de inventario en proceso (WIP). En la planta de Ecuhouse S.A., el WIP identificado entre corte, soldadura, pintura y ensamble evidencia un funcionamiento predominantemente Push, con material detenido en espera y sin un mecanismo formal de autorización de reposición.

Para corregir esta condición, la propuesta incorpora Kanban como mecanismo visual de control del flujo y del WIP. En términos operativos, Kanban funciona como una señal de producción o transferencia que autoriza el movimiento del material únicamente cuando la estación cliente lo requiere. Su finalidad no es aumentar el inventario, sino limitarlo y hacerlo visible. En el caso de Ecuhouse S.A., la aplicación de Kanban permite convertir el WIP actual en un buffer controlado entre procesos, reduciendo acumulaciones informales, bloqueos en pasillos y pérdidas de trazabilidad del material.

3.2.6 Parámetros técnicos del VSM: Takt Time, TC, OC y Buffer

En esta investigación, los tiempos incorporados al VSM no provienen de supuestos teóricos, sino de mediciones directas realizadas en planta. El Takt Time se calculó a partir del tiempo disponible mensual y de la demanda promedio mensual. Con 9 240 minutos disponibles por mes y una demanda de 6 módulos, el ritmo requerido del sistema fue de 1 540 min/unidad, equivalente a 3,6 días por módulo. Este valor expresa la cadencia que la planta debe cumplir para satisfacer la demanda sin sobreproducción.

El Tiempo de Ciclo (TC) de cada estación se obtuvo mediante cinco tomas de tiempo por proceso. Los resultados promedios fueron 50,2 min en corte, 109,8 min en soldadura, 74,0 min en pintura y 141,4 min en ensamble. Por su parte, el Tiempo de Cambio u Alistamiento (OC) se determinó mediante observación directa, registrándose 19 min en corte, 27 min en soldadura y 31 min en pintura. Estos valores explican que la restricción real del sistema no depende únicamente del tiempo de transformación, sino también de la pérdida de capacidad asociada al setup y al reproceso.

Los buffers del VSM actual se estimaron a partir del conteo físico del inventario: 5 días en materia prima antes de corte, 2,5 días de WIP antes de soldadura, 1,5 días antes de pintura y 1 día antes de ensamble. Con base en estos datos, el tiempo con valor agregado alcanzó 375,4 min, el tiempo sin valor agregado correspondió a 10 días de espera, lo que resulta en un lead time total de 10,8 días y un PCE de 7,24 %.

3.2.7 TPM y OEE

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) constituye un complemento necesario para sostener la estabilidad del flujo en sistemas Lean. Su propósito es reducir fallas, microparadas, pérdidas de velocidad y defectos asociados al estado de los equipos. En esta investigación, TPM se incorpora como lineamiento para fortalecer la confiabilidad operativa de las estaciones críticas, particularmente en corte, soldadura y pintura.

El indicador que sintetiza este desempeño es el indicador OEE (Overall Equipment Effectiveness, medido porcentualmente), el cual resulta de multiplicar tres variables críticas: Disponibilidad, Rendimiento y Calidad. El primer factor muestra el lapso efectivo de trabajo

frente al planificado; el segundo contrasta el ritmo auténtico contra el ideal; y el tercero evalúa mide la proporción de unidades conformes a la primera. En Ecuhouse S.A., la reducción de setup mediante SMED mejora la disponibilidad, la estabilización del flujo reduce pérdidas de rendimiento y la estandarización de corte y soldadura impacta sobre la calidad. El OEE se incorpora como indicador de control para evaluar la estabilidad técnica de la propuesta y su sostenibilidad en el tiempo.

3.2.8 Industria 4.0 y su articulación con Lean Manufacturing

El vínculo sinérgico entre la Manufactura Esbelta y la Cuarta Revolución Industrial no es de sustitución, sino de complementariedad. Mientras la filosofía Lean organiza y simplifica el proceso eliminando desperdicios, la Industria 4.0 amplía la capacidad de registrar, visualizar y controlar su desempeño en tiempo real. En el caso de Ecuhouse S.A., la propuesta se vincula con Industria 4.0 mediante el seguimiento digital de indicadores críticos como lead time, WIP, tiempos de preparación, defectos y OEE, facilitando la detección oportuna de desviaciones facilitando resoluciones gerenciales apoyadas en información fidedigna.

Esta articulación resulta especialmente relevante en un sistema productivo con variabilidad operativa, porque permite transformar datos dispersos del taller en información útil para la gestión. La estandarización de registros, la trazabilidad de tiempos y la visualización de indicadores en tableros físicos o digitales fortalecen la disciplina operacional y reducen la dependencia de decisiones reactivas. En consecuencia, la propuesta no se limita a reorganizar el piso de producción, sino que establece una base para la transición hacia un entorno productivo más conectado, medible y escalable.

3.3 Gestión de Procesos de Producción

La gestión de procesos de producción se entiende como el diseño, planificación, operación y control sistemático de las actividades que transforman insumos en productos terminados. En la literatura de gestión de operaciones se establece que el foco actual ya no se centra únicamente en departamentos funcionales, sino en la administración integral del flujo de valor, con el objetivo de reducir la variabilidad, acortar los tiempos de ciclo y satisfacer la demanda del cliente con el menor uso posible de recursos [17].

En el caso de Ecuhouse S.A., la gestión de la producción articula dos dominios técnicos: la manufactura metalmeccánica de precisión y la construcción modular prefabricada orientada a proyectos temporales en sectores como minería, energía y construcción.

3.3.1 Procesos de manufactura metalmeccánica

La industria metalmeccánica se basa en la transformación de materiales metálicos mediante operaciones de corte, conformado, unión y acabado superficial. Estos procesos se agrupan en operaciones de procesamiento —donde se modifica la forma o las propiedades del material— y operaciones de ensamble, donde se combinan piezas para formar conjuntos de mayor complejidad [18].

En Ecuhouse S.A., estas operaciones se concretan en:

- **Corte y conformado:** dimensionamiento de láminas y perfiles de acero mediante cizallado, oxicorte o plasma y plegado, para obtener los elementos estructurales de marcos y paneles.
- **Soldadura y unión:** ensamblaje de bastidores y estructuras mediante procesos de soldadura por arco (por ejemplo, GMAW o SMAW), que determinan de forma crítica la integridad estructural de los módulos.
- **Acabados superficiales:** limpieza, tratamiento previo y pintura, esenciales para la protección frente a corrosión en ambientes agresivos (campamentos mineros, obras temporales, etc.).

Dentro de este conjunto, la soldadura se reconoce como un proceso crítico tanto por su contribución al tiempo total de fabricación como por su impacto en la calidad. La literatura reciente muestra que la soldadura es un proceso altamente paramétrico: pequeñas variaciones en variables como corriente, voltaje, velocidad de alimentación del alambre o velocidad de avance alteran la geometría del cordón y las propiedades mecánicas de la unión.

Solanke y Metkar analizan la optimización de parámetros de soldadura en un proceso de *wire arc additive manufacturing* y demuestran que combinaciones adecuadas de voltaje, velocidad de alimentación y velocidad de desplazamiento permiten obtener cordones dimensionalmente

estables y propiedades mecánicas mejoradas, mientras que configuraciones no optimizadas incrementan la variabilidad y los defectos [21].

En una línea similar, Kshirsagar et al. proponen un método híbrido que combina algoritmos evolutivos con el método de Nelder–Mead para optimizar parámetros de soldadura TIG. Los autores muestran que es posible construir modelos predictivos de la geometría del cordón y utilizar algoritmos de optimización para encontrar conjuntos de parámetros que minimicen defectos y mejoren la calidad de la unión [22].

Por su parte, Myśliwiec et al. optimizan la soldadura por fricción-agitación (FSW) de aleación de aluminio 2024-T3 mediante modelos de *machine learning* (random forest, XGBoost y redes neuronales MLP), logrando predecir con alta precisión la resistencia a la tracción de la junta en función de los parámetros de proceso y, a partir de ello, identificar configuraciones que maximizan la resistencia mecánica [23].

Aunque Ecuhouse S.A. no aplicará algoritmos avanzados de optimización en esta tesis, estos estudios confirman que la variación no controlada de parámetros de soldadura produce directamente defectos, reprocesos y pérdida de eficiencia [21]–[23]. Desde la perspectiva de Lean Manufacturing, esto se traduce en mudas de calidad y de tiempo. Por ello, la propuesta de mejora debe incluir la estandarización operativa de los procesos de soldadura y conformado mediante hojas de trabajo estándar, listas de verificación y controles básicos de parámetros, con el fin de reducir la variabilidad y estabilizar el flujo de valor.

3.3.2 Construcción modular prefabricada

La construcción modular prefabricada se define como un sistema en el que la mayor parte de los componentes de un edificio —ya sean módulos volumétricos o paneles estructurales— se fabrica fuera del lugar definitivo de uso (*off-site*), en un entorno de planta industrial controlado, para luego transportarlos y ensamblarlos en la obra. Según el Modular Building Institute, la construcción modular permanente (*Permanent Modular Construction*) traslada entre el 60 % y el 90 % de las actividades de construcción a la fábrica, lo que permite reducir significativamente los plazos de entrega y mejorar la calidad del producto final [19].

Este enfoque se alinea con los principios de *Design for Manufacture and Assembly* (DfMA), que buscan diseñar productos que se fabriquen y ensamblen con el mínimo número de operaciones, menor complejidad y menor dependencia de condiciones ambientales. En Ecuhouse S.A. el flujo de valor típico incluye:

1. Corte y conformado de perfiles y láminas.
2. Armado y soldadura de bastidores y estructuras.
3. Instalación de cerramientos, aislamientos y acabados.
4. Integración de sistemas (eléctrico, sanitario, etc.).
5. Ensamblaje final del módulo y preparación para transporte.

Frente a la construcción tradicional, las ventajas principales son:

- **Simultaneidad de actividades:** la preparación del sitio y la fabricación de los módulos pueden desarrollarse en paralelo, lo que reduce el *lead time* global del proyecto [19].
- **Entorno controlado:** al producir bajo techo, se minimizan las interrupciones por clima y se facilita la estandarización de tareas, la aplicación de procedimientos de soldadura y pintura, y el uso de dispositivos de sujeción y plantillas.
- **Repetitividad y aprendizaje:** la producción de series de módulos similares permite estabilizar tiempos estándar, especializar estaciones de trabajo y aprovechar economías de repetición.

No obstante, este modelo introduce retos específicos en la gestión del layout y del flujo interno: el producto intermedio es voluminoso, las rutas de transporte deben planificarse para evitar interferencias y el exceso de trabajo en proceso (WIP) puede bloquear pasillos y zonas de ensamble. La aplicación de Lean Manufacturing en Ecuhouse S.A. se orientará a identificar cuellos de botella, desbalances de carga y acumulaciones de WIP en las áreas de

corte, soldadura, cerramientos y acabados, con el fin de rediseñar el flujo y mejorar los tiempos de entrega sin comprometer la calidad.

3.3.3 Indicadores de productividad y eficiencia

Para evaluar objetivamente el impacto de la filosofía Lean en los procesos de Ecuhouse S.A., resulta imprescindible definir indicadores cuantitativos que permitan comparar el desempeño del sistema productivo antes y después de la intervención. La literatura de gestión de operaciones propone, entre otros, indicadores de productividad, tiempos de flujo y eficiencia global de los equipos [17], [20].

- **Productividad de la mano de obra:** se define como la relación entre las salidas de producción y los insumos humanos utilizados [17]. En el contexto de la construcción modular, puede expresarse como:

$$\text{Productividad laboral} = \frac{\text{m}^2 \text{ de módulos terminados}}{\text{horas} - \text{hombre trabajadas}}$$

Este indicador permite determinar si la eliminación de mudas (desplazamientos innecesarios, búsquedas de herramientas, tiempos ociosos) se traduce en un aumento del producto terminado por unidad de esfuerzo humano.

- **Tiempos de ciclo, *takt time* y *lead time*:**
 - El **tiempo de ciclo** es el tiempo que una unidad permanece en una estación de trabajo desde que entra hasta que sale.
 - El ***takt time*** representa el ritmo al cual la planta debe producir para satisfacer la demanda del cliente.
 - El ***lead time*** integra todos los tiempos de proceso y de espera desde el inicio del corte hasta el despacho del módulo.

La construcción del Mapa de Flujo de Valor (VSM) permitirá medir estos tiempos en el estado actual y proyectar su reducción en el estado futuro, en coherencia con el objetivo general de optimizar los procesos productivos.

- Eficiencia General de los Equipos (OEE): la OEE es el indicador estándar propuesto en el marco del Mantenimiento Productivo Total (TPM) para medir la productividad real de los equipos críticos [20]. Se define como el producto de tres factores: disponibilidad, rendimiento y calidad:

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidad} \times \text{Rendimiento} \times \text{Calidad}$$

- La disponibilidad refleja la proporción de tiempo en que el equipo estuvo operativo respecto al tiempo programado; disminuye por fallas y por tiempos de preparación extensos. La aplicación de la técnica SMED en estaciones críticas de Ecuhouse S.A. tiene como finalidad reducir estos tiempos de cambio.
- El rendimiento compara la velocidad real de producción con la velocidad teórica; se ve afectado por microparadas, operación a menor velocidad o falta de suministro de materiales.
- La calidad representa la proporción de piezas buenas a la primera sobre el total producido. La literatura de optimización de procesos de soldadura evidencia que el control de parámetros de proceso reduce la aparición de defectos en las uniones [21]–[23]; por tanto, las acciones de estandarización técnica propuestas en esta tesis impactan directamente en este componente de la OEE.
- Indicadores económicos: para vincular las mejoras operativas con la rentabilidad, se considerarán indicadores como el costo de producción por metro cuadrado de módulo, el margen operativo por proyecto y la relación costo–beneficio de las propuestas de mejora (análisis de VAN, ROI y periodo de recuperación), en concordancia con el objetivo general de mejorar la rentabilidad de la organización.

Juntos, estos indicadores brindan una base cuantitativa para demostrar si la implementación de Lean Manufacturing en los procesos de manufactura metalmecánica y construcción modular de Ecuhouse S.A. genera mejoras significativas en productividad, eficiencia y rentabilidad.

3.4 Marco legal y normativo

La implementación de mejoras en los procesos productivos de Ecuhouse S.A. debe realizarse dentro del marco jurídico ecuatoriano vigente, de manera que los incrementos en productividad y eficiencia no se logren a costa de la seguridad, la salud ocupacional o los derechos laborales de los trabajadores.

En primer lugar, el Decreto Ejecutivo relativo a la Protección Ocupacional y la Optimización del Entorno Laboral (Decreto Ejecutivo 255) [24] dicta los lineamientos globales orientados a prevenir, mitigar o erradicar los peligros en el trabajo laborales y la mejora de las condiciones ambientales en los centros de trabajo. Este cuerpo normativo requiere la identificación de riesgos, medidas de control y la implementación de sistemas de orden, limpieza y señalización en áreas operativas. La integración de herramientas Lean como 5S, la delimitación de áreas de tránsito para módulos y la estandarización de tareas de corte y soldadura se alinean con estos requisitos, ya que mitigan condiciones inseguras y mejoran la organización física de la planta.

En segundo lugar, las normas técnicas emitidas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) y los códigos internacionales para la soldadura y estructuras metálicas establecen los requisitos mínimos de calidad que deben cumplirse en las uniones soldadas y elementos estructurales. Cualquier propuesta de reducción de tiempos de proceso o reconfiguración de operaciones deberá respetar estos requisitos técnicos, de forma que la búsqueda de eficiencia no comprometa la integridad estructural de los módulos prefabricados ni la seguridad de los usuarios finales.

Finalmente, el Código del Trabajo regula la jornada laboral, las condiciones de seguridad e higiene y la remuneración justa. La redistribución de cargas de trabajo, la reducción de tiempos ociosos y la introducción de nuevos estándares operativos deben respetar estos principios, de modo que la implantación de Lean Manufacturing en Ecuhouse S.A. se traduzca también en un entorno laboral más ordenado, seguro y estable para el personal operativo y técnico.

3.5 Hipótesis

La aplicación integral de la filosofía Lean Manufacturing (operativizada mediante el Mapeo del Flujo de Valor (VSM), 5S, SMED, un sistema Pull con control del WIP a través de Kanban y la implementación de lineamientos de TPM para el seguimiento del OEE) optimiza los procesos de producción de construcciones modulares en la empresa Ecuhouse S.A. al reducir el lead time, el inventario en proceso, los tiempos de preparación y los defectos, maximizando consecuentemente la eficiencia del ciclo de proceso (PCE), la capacidad de producción y la rentabilidad organizacional, y sentando las bases operativas para la adopción de tecnologías de la Industria 4.0.

4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

4.1 Desarrollo del Objetivo Específico 1: Diagnóstico de la situación actual

En este objetivo se diagnosticó el desempeño actual del sistema productivo de ECUHOUSE S.A. mediante la caracterización integral del proceso, el análisis del flujo físico de materiales, la estimación del ritmo de producción requerido por la demanda y la cuantificación de tiempos de proceso, inventarios y esperas. Para ello, la investigación aplicó herramientas de ingeniería de métodos y diagnóstico Lean, entre ellas el Diagrama de Operaciones del Proceso (DOP) con simbología ASME, el Diagrama de Recorrido (Spaghetti Chart), el cálculo del Takt Time, el estudio de tiempos por estación y el Mapeo de Flujo de Valor del estado actual (VSM Current State). Este diagnóstico definió la línea base técnica que sustenta el diseño del plan de mejora.

4.1.1 Descripción del flujo de proceso

Como primer insumo del diagnóstico, se describió el flujo operativo actual para diferenciar actividades que agregan valor de inspecciones, transportes y esperas. El proceso de fabricación de los módulos habitables se ha tipificado como un sistema de flujo intermitente (*job shop*), caracterizado por la agrupación funcional de máquinas y el movimiento de lotes de producción a través de distintas etapas de transformación. A partir de la observación directa y la revisión del Manual de Calidad de la empresa, se ha elaborado el Diagrama de Operaciones del Proceso (DOP) bajo estandarización ASME, identificando las actividades que agregan valor y aquellas que representan inspecciones o esperas.

El flujo sigue una secuencia lineal crítica compuesta por cuatro macro-procesos: Habilitado (Corte/Conformado), Estructurado (Soldadura), Acabados (Pintura/Revestimiento) y Ensamble Final. A continuación, se detalla la secuencia operativa actual con las ineficiencias detectadas en el levantamiento de información:

Tabla 4: Diagrama de Flujo del Proceso Actual (Resumen Operativo)

Etapa	Descripción de la Actividad	Símbolo (ASME)	Observación Crítica
--------------	------------------------------------	-----------------------	----------------------------

1	Recepción y descarga de materia prima (acero, paneles).	√ (Alm.)	Descarga manual, sin clasificación por tipo de perfil.
2	Inspección visual de materiales.	□ (Insp.)	No existe registro formal de rechazos de proveedor.
3	Traslado a zona de corte (Habilitado).	⇒ (Trans.)	Recorrido de 15 m con cruce de pasillos principales.
4	Corte de perfiles y conformado (Cizalla/Dobladora).	○ (Oper.)	Punto Crítico. Se registra un desperdicio mensual de 180 kg de acero y 35 m ² de panel debido a errores de corte y falta de calibración (Ver Anexo D).
5	Espera en proceso (Cola para soldadura).	D (Demora)	Acumulación de WIP (Inventario en proceso) desordenado.
6	Armado y Soldadura de Chasis/Estructura.	○ (Oper.)	Restricción Principal. Defectos por porosidad y medidas.
7	Limpieza mecánica y desengrase (Grateado).	○ (Oper.)	Proceso manual intensivo para eliminar óxido.
8	Inspección de soldadura (Visual).	□ (Insp.)	Retornos frecuentes a la etapa 6. El costo por evento de retrabajo se estima en \$139.7 USD (material + mano de obra) (Ver Anexo D)
9	Pintura anticorrosiva y acabados.	○ (Oper.)	Tiempo de secado no controlado, depende del clima.

10	Instalación de paneles, piso y accesorios.	○ (Oper.)	Variabilidad alta por falta de estandarización en montaje.
11	Almacenamiento de producto terminado.	∇ (Alm.)	Espera por despacho (Lote completo).

Nota. Elaboración propia.

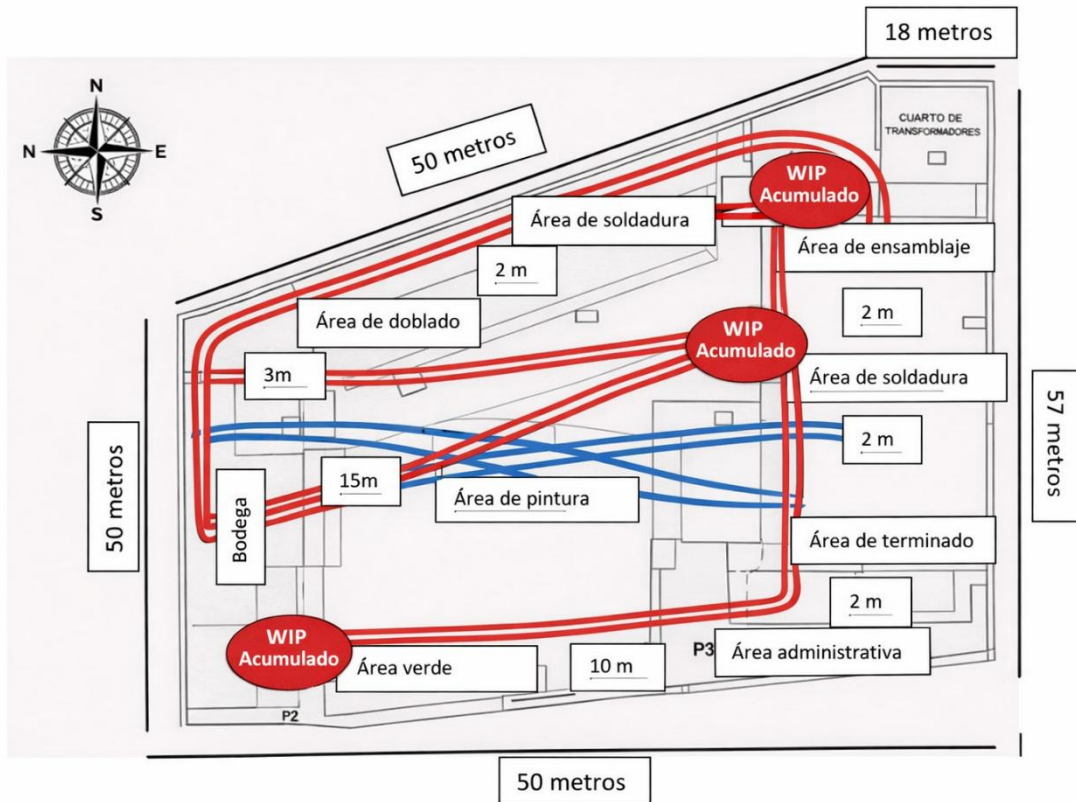
Esta caracterización inicial evidencia que el sistema presenta ineficiencias operativas asociadas a transporte, acumulación de inventario en proceso y retrabajos por no conformidades, condiciones que afectan el cumplimiento de tiempos de entrega y el flujo continuo.

4.1.2 Análisis del layout actual y diagrama de recorrido

La nave industrial presenta una configuración por proceso funcional. En el área operativa, de aproximadamente 50 m por lado según el plano base utilizado, coexisten zonas de almacenamiento, corte, soldadura y pintura sin delimitación física clara ni señalética de seguridad adecuada. Esta disposición induce cruces de flujo, retrocesos y riesgos operativos, además de incrementar recorridos de transporte interno.

Con el fin de cuantificar el comportamiento del flujo físico, se elaboró un Diagrama de Recorrido (Spaghetti Chart) trazando la ruta del material y del operario durante la fabricación de un chasis estándar.

Figura 7: Diagrama de Recorrido Actual (Spaghetti Chart).



Nota. Elaboración propia sobre el plano de planta actual.

El análisis de este diagrama evidencia los siguientes hallazgos críticos:

1. **Exceso de Transportes:** El material recorre una distancia total acumulada superior a 145 metros desde la recepción hasta el despacho debido a la ubicación del almacén de materia prima en el extremo opuesto a la zona de corte.
2. **Cruces de Flujo (Backtracking):** Se identificaron 4 puntos de cruce críticos donde el flujo de materiales retrocede, especialmente entre el área de *Retrabajo de Soldadura* y el área de *Pintura*, lo que eleva el riesgo de accidentes laborales y daños al material por golpes.
3. **Áreas de Acumulación Descontrolada:** No existen zonas delimitadas para el Inventario en Proceso (WIP). Como se detalla en el informe de inventarios (**Anexo B**),

se encontraron "triángulos de espera" con 46 ángulos y 110 tubos rectangulares obstruyendo los pasillos de tránsito entre la estación de corte y soldadura.

Estos resultados confirman que la distribución actual no favorece un flujo continuo y contribuye a esperas y congestión operativa, lo cual se relaciona directamente con el aumento del Lead Time.

4.1.3 Análisis de la demanda y cálculo del Takt Time

Para diseñar un sistema de producción ajustado (*Lean*), es imperativo sincronizar el ritmo de producción con la demanda del cliente. Se ha analizado el histórico de pedidos del último semestre, determinando una demanda promedio mensual para establecer el ritmo requerido.

Datos de Entrada para el Cálculo:

- **Demanda Promedio Mensual (D):** 6 Módulos habitables (Dato basado en el promedio de ventas reportado).
- **Días Laborables al mes:** 22 días (Lunes a Viernes).
- **Turnos de trabajo:** 1 turno de 8 horas diarias.
- **Tiempo de Almuerzo/Pausas:** 60 minutos (1 hora).
- **Tiempo Disponible Diario (T_d):**

$$T_d = (8 \text{ horas} - 1 \text{ hora}) \times 60 \text{ min} = 420 \text{ minutos/día}$$

Cálculo del Takt Time:

El *Takt Time* representa el ritmo al que la planta debe producir una unidad para satisfacer la demanda sin generar sobreproducción ni retrasos.

$$\text{TaktTime} = \frac{\text{Tiempo Disponible Mensual}}{\text{Demanda Mensual}}$$

$$\text{TaktTime} = \frac{420 \text{ min/día} \times 22 \text{ días}}{6 \text{ unidades}} = \frac{9,240 \text{ min}}{6 \text{ un}} = 1,540 \text{ min/unidad}$$

$$\text{TaktTime} \approx 25.6 \text{ horas/unidad} \approx 3.6 \text{ días}$$

Este resultado indica que la empresa debe completar un módulo habitable cada 3,6 días para cumplir la demanda actual. Sin embargo, el sistema opera con un margen reducido debido a variabilidad, preparaciones y retrabajos, por lo cual se procedió a medir tiempos reales por estación y a consolidar el desempeño sistémico mediante VSM.

4.1.4 Medición de tiempos operativos y determinación de capacidad

Con el fin de cuantificar el desempeño real del proceso y estimar la capacidad por estación, se levantaron tiempos de ciclo y tiempos de alistamiento (*setup*) en planta. Estos registros constituyeron la base para el análisis del flujo de valor del estado actual, a partir del cual se estimaron el *Lead Time* total y la eficiencia del ciclo.

A. Parámetros de las Estaciones de Trabajo

Con el fin de cuantificar el desempeño real del proceso, se calcularon promedios de cinco tomas de tiempo por estación para un camper estándar y se registraron tiempos de alistamiento (*setup*) asociados (ver detalle en Anexo C). La Tabla 5 resume los datos operativos levantados en planta.

Tabla 5: Resumen de Datos Operativos por Proceso (Levantamiento 2024)

Proceso	Tiempo de Ciclo Promedio (T/C)	Tiempo de Alistamiento (S/M)	Observaciones
Corte	50.2 min (0.84 h)	19 min	Promedio de 5 tomas (48-52 min).
Soldadura	109.8 min (1.83 h)	27 min	Promedio de 5 tomas (103-115 min).

Pintura	74.0 min (1.23 h)	31 min	Promedio de 5 tomas (70-78 min).
Ensamble	141.4 min (2.36 h)	N/A	Promedio de 5 tomas (130-148 min).

Fuente. Registro de tiempos cronometrados en planta.

A partir de estos datos, se estimó la capacidad instalada teórica por proceso, contrastándola con el ritmo requerido por demanda. La Tabla 7 evidencia que ninguna estación supera el Takt Time cuando se evalúa por tiempo disponible mensual. No obstante, la salida real del sistema se degrada por pérdidas operativas asociadas a preparación, reprocesos y variabilidad, por lo cual se estimó la capacidad efectiva e identificación del cuello de botella.

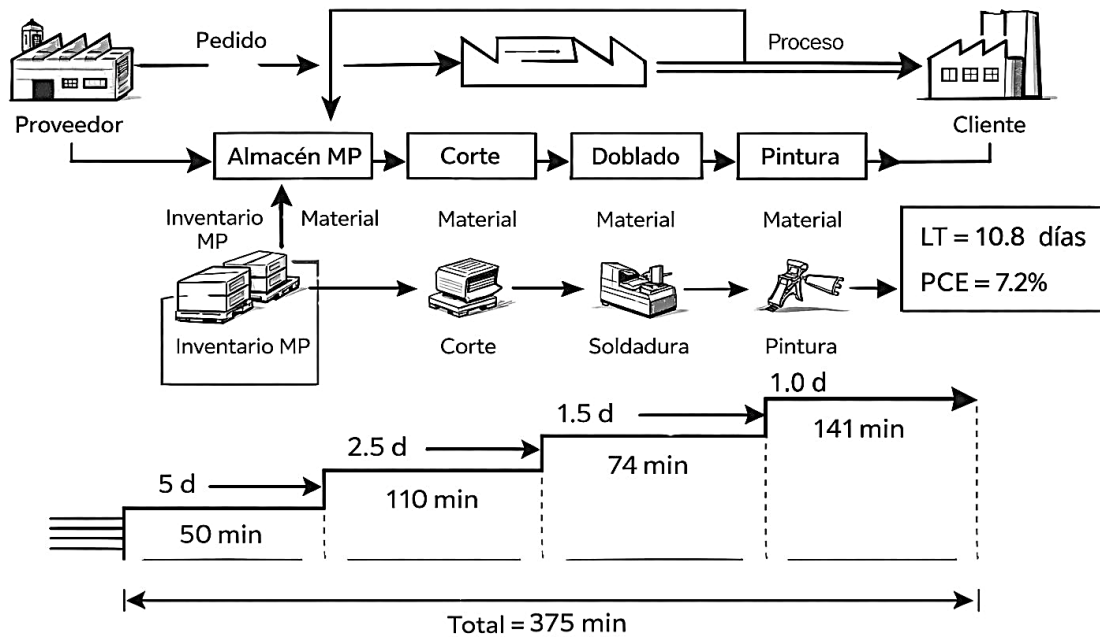
4.1.5 Mapeo de Flujo de Valor Actual (VSM Current State), inventarios, Lead Time y PCE

Con los tiempos de ciclo y los inventarios en proceso levantados en planta, se consolidó el Mapeo de Flujo de Valor del estado actual, integrando el flujo de materiales e información para estimar el *Lead Time* total y la eficiencia del ciclo.

La medición física de inventarios en proceso (WIP) evidenció acumulaciones asociadas a tiempos de espera significativos. Para estimar días de inventario se aplicó la Ley de Little, obteniéndose los siguientes valores:

- Inventario de materia prima: 5 días de stock promedio antes de entrar a corte.
- WIP antes de soldadura: 2,5 días.
- WIP antes de pintura: 1,5 días.
- WIP antes de ensamble: 1 día.
- Producto terminado: 0 días (despacho contra pedido, generalmente con retraso).

Figura 8: Mapa de Flujo de Valor Actual (VSM).



Nota. Elaboración propia.

Resumen de la Línea de Tiempo del VSM:

- **Tiempo de Valor Agregado (VA):** Sumatoria de T/C = 50 + 110 + 74 + 141 = 375.4 min (≈ 6.26 horas).
- **Tiempo de No Valor Agregado (NVA):** Sumatoria de esperas en inventario = 5 + 2.5 + 1.5 + 1 = 10 días.
- **Lead Time Total (LT):** 10 días de espera + 0.8 días de proceso ≈ 10.8 días.

Cálculo de la Eficiencia del Ciclo de Proceso (PCE):

$$PCE = \frac{\text{Tiempo de Valor Agregado}}{\text{Lead Time Total}} \times 100$$

$$\text{PCE} = \frac{375.4 \text{ min}}{5.184 \text{ min}} \times 100 = 7.24\%$$

- **Fuente y trazabilidad de los tiempos del VSM:** los tiempos de ciclo (TC) de cada estación fueron obtenidos mediante cronometraje directo con cinco tomas por proceso, tal como se registra en el Anexo C. Los tiempos de preparación (OC) se determinaron por observación directa de las operaciones de setup. Los inventarios en proceso (buffers) se estimaron mediante conteo físico en planta, documentado en el Anexo B. El Takt Time se calculó a partir del tiempo disponible mensual certificado (9 240 min) y la demanda promedio de 6 módulos por mes. Ningún valor del VSM proviene de estimaciones teóricas: todos son mediciones realizadas en planta durante el levantamiento de información del diagnóstico.

Una eficiencia del 7.24 % indica que el 92.7% del tiempo el producto está esperando en planta sin ser transformado. Esto confirma que la intervención no requiere maquinaria más rápida, sino la eliminación de cuellos de botella organizativos y la reducción de lotes de transferencia.

4.2 Desarrollo del Objetivo Específico 2: Identificación de los cuellos de botella del sistema productivo

Una vez establecida la línea base del sistema productivo en el Objetivo 1, este objetivo identificó y priorizó las fuentes principales de ineficiencia que explican el alto Lead Time y la baja eficiencia de flujo. El análisis se sustentó en la evidencia del levantamiento en campo, en la clasificación de desperdicios por etapa del proceso y en la determinación de la restricción efectiva del sistema. Adicionalmente, se aplicaron herramientas estadísticas de calidad para jerarquizar la problemática y profundizar en sus causas raíz, con el fin de delimitar con precisión el alcance de la intervención de mejora.

4.2.1 Priorización de mudas y determinación de restricciones del sistema

De manera complementaria al diagrama de flujo del proceso, la investigación sistematizó la identificación de desperdicios mediante una matriz de clasificación cruzada. La Tabla 6

consolida la incidencia específica de los siete desperdicios (mudas) por etapa del proceso, sustentada en evidencias del levantamiento inicial y anexos asociados.

Tabla 6: Matriz de identificación y clasificación de desperdicios (mudas) por etapa del proceso actual

Etapa	Actividad (según Tabla 4)	T	I	M	E	SP	PR	D	Evidencia del Diagnóstico (Hallazgo)
3	Traslado a zona de corte	✓							Recorrido de 15 m con cruces; transporte acumulado de 145 m.
4	Corte de perfiles			✓		✓		✓	Desperdicio mensual de 180 kg por errores; setup de 19 min.
5	Espera en proceso (cola)		✓		✓				Acumulación desordenada de WIP entre corte y armado.
6	Armado y soldadura			✓			✓	✓	Defectos por porosidad y medidas (18,8 %); búsqueda de herramientas.
8	Inspección de soldadura						✓	✓	Retrabajos frecuentes por defectos detectados visualmente.
9	Pintura y acabados			✓	✓				Tiempos muertos por secado no controlado; 1,5 días de inventario previo.

11	Almacenamiento PT		✓		✓					Espera por despacho de lote completo (Lead Time total 10,8 días).
----	----------------------	--	---	--	---	--	--	--	--	---

Leyenda: T: Transporte; I: Inventario; M: Movimientos; E: Esperas; SP: Sobreproducción; PR: Sobreprocesamiento; D: Defectos.

Nota. La matriz consolida la identificación de desperdicios al relacionar la secuencia operativa con los datos cuantitativos levantados en planta y los anexos de soporte.

El análisis del flujo operativo muestra que las pérdidas predominantes se concentran en esperas, transporte interno, defectos y movimientos improductivos. En consecuencia, el sistema presenta dos restricciones operativas críticas: tiempos elevados de preparación en corte (etapa 4) y alta tasa de defectos en soldadura (etapa 6), condiciones que generan retrabajos, acumulación de inventario en proceso y esperas entre estaciones. Estos hallazgos explican los altos tiempos de entrega y la baja utilización efectiva de recursos en la planta. Estas mudas no se presentan como eventos aislados, sino como consecuencias directas de un flujo intermitente, de una distribución funcional que induce recorridos extensos y de la ausencia de control operativo del inventario en proceso.

En coherencia con lo anterior, el análisis de capacidad instalada y capacidad efectiva (Tablas 7 y 8) permitió diferenciar la capacidad teórica de la salida real del sistema. Aunque ninguna operación supera el ritmo requerido por la demanda cuando se contrasta con el Takt Time, la producción real se limita por pérdidas operativas asociadas a preparación, reprocesos y variabilidad del flujo. La Tabla 8 resume que la restricción efectiva se ubica en corte y soldadura, principalmente por dos condiciones: el tiempo elevado de preparación en corte (19 min) y la tasa de reprocesos asociada a defectos en soldadura. Como resultado, el sistema opera con una salida aproximada de 5 módulos/mes y un ritmo de 4,4 días por módulo, lo que confirma la presencia de un cuello de botella operativo que no responde a falta de capacidad nominal, sino a degradación de la capacidad por no calidad y desorden productivo.

Este diagnóstico de restricciones justificó la necesidad de jerarquizar la problemática por su impacto real, priorizando aquellos defectos y retrasos que concentran la mayor proporción de pérdidas del sistema.

4.2.2 Análisis de Pareto de defectos y retrasos

Tabla 7: Determinación de Capacidad Instalada Teórica por Proceso

Proceso	Tiempo Disponible (Td) [min/mes]	Tiempo de Ciclo (T/C) [min/un]	Tiempo de Setup (S/M) [min/un]	Tiempo Total de Procesamiento (Tp) [min/un]	Capacidad Teórica (Ci) [un/mes]	Comparación con Takt Time (1,540 min/un)
Corte	9,240	50.2	19.0	69.2	133.5	69.2<1,540
Soldadura	9,240	109.8	27.0	136.8	67.5	136.8<1,540
Pintura	9,240	74.0	31.0	105.0	88.0	105.0<1,540
Ensamble	9,240	141.4	N/A	141.4	65.3	141.4<1,540

Nota. Capacidad Instalada = Tiempo Disponible Mensual / Tiempo Total de Procesamiento. El Takt Time de 1,540 min/unidad indica el ritmo requerido por la demanda.

La Tabla 7 evidencia que, en términos de carga por estación y tiempo disponible, ninguna operación supera el ritmo requerido por la demanda cuando se compara con el Takt Time. No obstante, la salida real del sistema se reduce por pérdidas operativas asociadas a preparación, reprocesos y variabilidad del flujo, por lo que se determina la restricción efectiva y la capacidad real del proceso en la Tabla 8. Sin embargo, la realidad operativa muestra una salida de solo 5 unidades/mes. Para explicar esta brecha, se realizó la identificación del cuello

de botella considerando la capacidad efectiva, la cual se ve degradada por factores de no calidad y desorden operativo.

Tabla 8: Identificación del Cuello de Botella y Capacidad Efectiva

Escenario	Estación Restricción (Cuello de Botella)	Ritmo Real de Salida (días/módulo)	Capacidad Efectiva del Sistema (módulos/mes)	Causa Raíz de la Restricción
Situación Actual	Corte y Soldadura	4.4	5	Altos tiempos de setup (19 min) y elevada tasa de reprocesos (defectos) que consumen la capacidad teórica.
Situación Proyectada	Sistema Optimizado	2.75	8	Liberación de capacidad mediante SMED y estandarización (SOPs).

Nota. Aunque el Ensamble tiene el mayor tiempo de ciclo teórico, la restricción real del flujo se encuentra en Corte (por lotes grandes debido al setup) y Soldadura (por reprocesos), limitando la salida a 5 unidades.

Estos resultados explican la formación de inventario en proceso y las esperas entre estaciones, condición que se cuantifica en el VSM del estado actual.

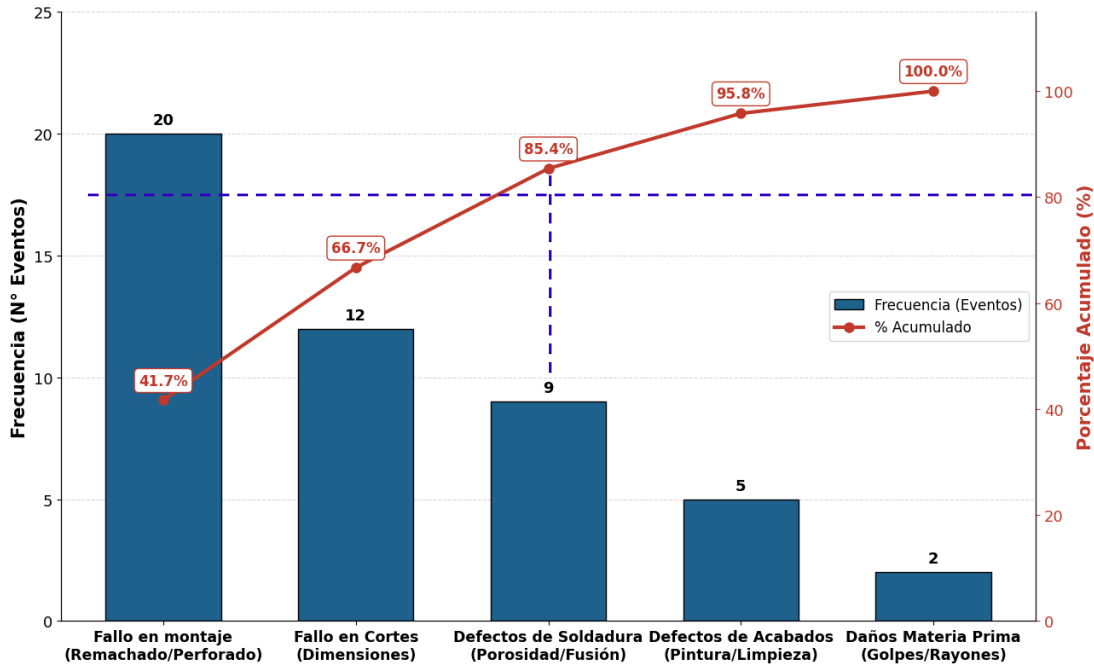
Para jerarquizar los problemas de mayor incidencia, se definió un periodo de muestreo correspondiente a una semana laboral representativa de 5 días de producción continua. En este intervalo se consolidaron reportes de montaje, registros de inspección visual de soldadura y acabados, y reportes internos de calidad (ver Anexo D). El análisis registró 48 eventos de no conformidad y retraso, los cuales se estratificaron para identificar los pocos vitales que explican la mayor proporción del problema.

Tabla 9: Análisis de Frecuencia de Problemas (Pareto)

Tipo de Problema	Frecuencia (Eventos)	% Relativo	% Acumulado
1. Fallo en montaje (Remachado/Perforado)	20	41.7 %	41.7 %
2. Fallo en Cortes (Dimensiones incorrectas)	12	25.0 %	66.7 %
3. Defectos de Soldadura (Porosidad/Fusión)	9	18.8 %	85.4 %
4. Defectos de Acabados (Pintura/Limpieza)	5	10.4 %	95.8 %
5. Daños en Materia Prima (Golpes/Rayones)	2	4.2 %	100.0 %
TOTAL	48	100 %	

Nota. Datos consolidados del reporte de calidad semanal e inspección visual en planta (Ver Anexo D).

Figura 9: Diagrama de Pareto de Causas de Baja Eficiencia



Nota. Elaboración propia.

La estratificación evidencia que el 85,4 % de la problemática se concentra en tres defectos: montaje, corte y soldadura. En primer lugar, los fallos de montaje y corte, con 66,7 % acumulado, muestran una relación operativa directa, ya que un error dimensional en corte provoca desalineación y fallas posteriores en el proceso de remachado o perforado. En segundo lugar, los defectos de soldadura, aunque ocupan la tercera posición en frecuencia, consumen tiempos relevantes por reparación y retrabajo, lo que intensifica las esperas y degrada la capacidad efectiva del sistema. En contraste, los defectos de acabados y los daños en materia prima representan el 14,6 % restante, con menor contribución relativa al problema principal.

En consecuencia, la priorización del Pareto establece que el enfoque correctivo debe concentrarse en el control de corte, la estabilidad del montaje y la calidad en la unión, dado que la reducción de estos tres problemas impacta de manera directa en la disminución de reprocesos y en la liberación de capacidad efectiva.

4.2.3 Diagrama de causa-efecto (Ishikawa) para el alto Lead Time

Con el fin de profundizar en los factores que originan los defectos y los tiempos improductivos, se elaboró un diagrama de causa-efecto con enfoque de las 6M, orientado a explicar el alto Lead Time del sistema. El análisis organizó las causas en maquinaria, mano de obra, material, método, medio ambiente y medición, priorizando aquellos elementos que se relacionan con las restricciones identificadas y con los defectos predominantes del Pareto.

Figura 10: Diagrama de Ishikawa - Causas del Alto Lead Time



Nota. Elaboración propia.

El análisis de causas raíz arrojó los siguientes factores determinantes:

- **Maquinaria:** Mala calibración en la cuchilla de corte y desgaste de limas; variación abrupta de velocidad en las máquinas por inestabilidad eléctrica.
- **Mano de Obra:** Descuido operativo y falta de capacitación técnica en el manejo de tolerancias dimensionales.
- **Material:** Materia prima (paneles y perfiles) con daños previos por almacenamiento inadecuado o transporte interno deficiente.
- **Método:** Cortes realizados sin márgenes de error calculados; ausencia de un procedimiento estándar para la verificación de medidas y parámetros de soldadura.

- **Medio Ambiente:** Falta de orden en el área de trabajo (viruta, suciedad en mesas de trabajo), lo que afecta la precisión del corte y la adherencia de la soldadura.
- **Medición:** Falta de instrumentos de verificación calibrados en la línea; inspección reactiva (cuando el error ya ocurrió) en lugar de preventiva.

En síntesis, el Objetivo 2 confirma que la baja productividad y el alto Lead Time se originan principalmente en tres núcleos: variabilidad operativa, no estandarización del método y degradación de capacidad por reprocesos, con incidencia crítica en corte, montaje y soldadura. Esta delimitación técnica establece con claridad el alcance de la intervención de mejora, la cual debe orientarse a controlar el método, reducir tiempos improductivos y estabilizar la ejecución del proceso mediante herramientas de mejora continua desarrolladas en el objetivo siguiente.

4.3 Desarrollo del Objetivo Específico 3: Diseño del plan de mejora basado en Lean Manufacturing

Con base en la línea base establecida en el Objetivo 1 se diseñó un plan de mejora integral orientado a eliminar desperdicios y optimizar el flujo productivo de ECUHOUSE S.A. La intervención propuesta busca transformar el sistema desde un esquema empujado (push), caracterizado por acumulación de inventario en proceso y liberaciones intermitentes, hacia un flujo continuo y flexible (pull), alineado con la demanda real del cliente. Para ello, el plan integra herramientas Lean Manufacturing, específicamente VSM futuro, 5S, SMED, eventos Kaizen, redistribución de planta y estandarización operativa mediante procedimientos (SOP).

4.3.1 Diseño del mapa de flujo de valor futuro (Future State VSM)

El VSM del estado futuro se diseñó tomando como referencia el desempeño del estado actual, con un Lead Time de 10,8 días y una eficiencia del ciclo (PCE) de 7,24 %. El diseño del mapa futuro se orientó a tres objetivos técnicos: reducir el inventario en proceso entre estaciones críticas, disminuir tiempos de espera (NVA) derivados de desbalances y falta de control del flujo, y asegurar la calidad en la fuente para evitar que errores de corte se trasladen hacia montaje y soldadura.

Para lograrlo, se plantearon las siguientes modificaciones estructurales en el flujo de valor:

1. **Supermercado de materia prima controlado:** se establece un sistema de halado (pull) entre el almacén y el área de corte. El corte se activa mediante tarjetas Kanban cuando el nivel de existencias desciende por debajo del punto de reorden, eliminando la sobreproducción de perfiles que obstruyen pasillos y generan acumulación de inventarios intermedios.

El sistema Kanban propuesto transforma el WIP actual (acumulación pasiva sin control) en un buffer activo dimensionado por la demanda interna. Cada tarjeta Kanban autoriza la fabricación o el traslado de un contenedor de material entre estaciones, impidiendo la sobreproducción y haciendo visible el estado del flujo en todo momento. En el contexto de Ecuhouse S.A., se propone la aplicación de tarjetas de producción entre corte y soldadura, y tarjetas de transferencia entre soldadura, pintura y ensamble. Se propone controlar el volumen de WIP por estación en función del Takt Time y del tiempo de ciclo de cada proceso. Este mecanismo plantea que el sistema opere bajo lógica Pull, donde ningún proceso produce sin autorización explícita de la estación siguiente.

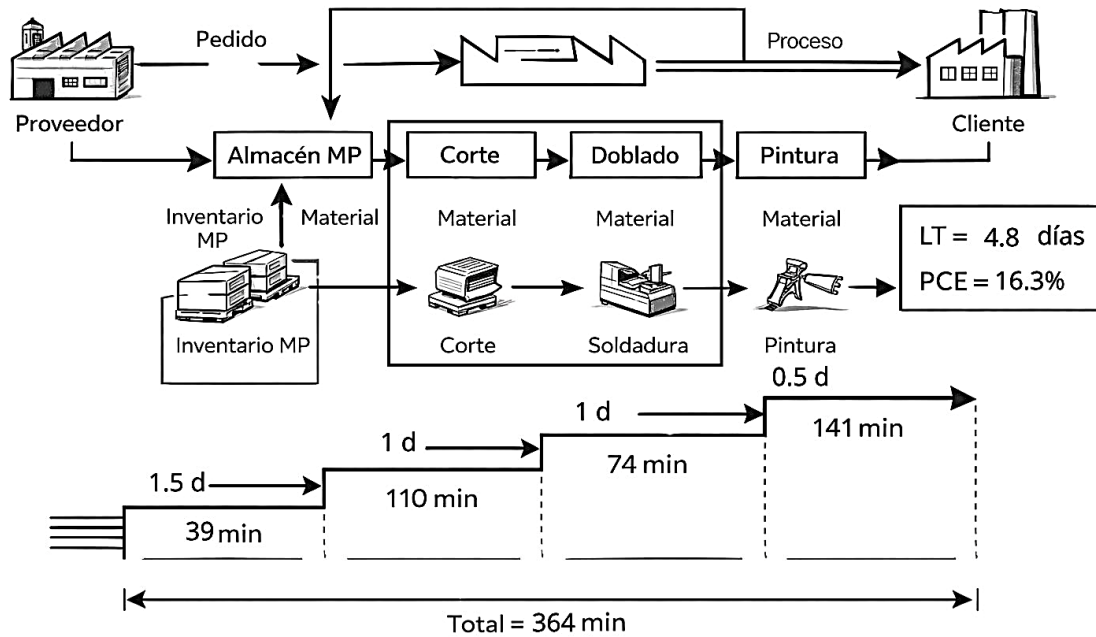
2. **Creación de célula de manufactura (corte y soldadura):** se integran física y operativamente las actividades de corte y armado. La reducción de distancia y la eliminación de inventarios intermedios facilitan la detección inmediata de errores dimensionales, atacando la causa raíz del 25,0 % de fallos asociados a cortes.
3. **Nivelación de carga (*Heijunka*):** programación en lotes pequeños y mixtos para evitar saturación de estaciones y estabilizar el flujo hacia ensamble.

En términos de indicadores, el estado futuro proyecta mantener el tiempo de valor agregado cercano a 375,4 min (aproximadamente 6,26 h), dado que el enfoque no es acelerar maquinaria sino eliminar esperas. El tiempo de no valor agregado se proyecta reducir de 10 días a 4 días por eliminación de colas entre procesos y mejora del flujo de materiales. Por tanto, el Lead Time proyectado es:

$$LT_{\text{futuro}} = 0.8 \text{ días (VA)} + 4 \text{ días (NVA)} = 4.8 \text{ días}$$

Esto representa una disminución del 55 % respecto al estado actual.

Figura 11: Mapa de Flujo de Valor Futuro (Future State VSM)



Nota. Elaboración propia.

La eficiencia del ciclo de proceso proyectada (PCE) se calcula como :

$$PCE_{\text{futuro}} = \frac{375.4 \text{ min}}{2,304 \text{ min (4.8 días)}} \times 100 = 16.3 \%$$

El incremento del PCE del 7.24 % al 16.3 % valida técnicamente que la propuesta permitirá a ECUHOUSE S.A. duplicar su eficiencia de flujo, mejorando significativamente su capacidad de respuesta ante la demanda.

4.3.2 Estructuración del programa 5S y gestión visual

Para controlar las causas asociadas al desorden del entorno de trabajo y a tiempos improductivos por búsqueda de herramientas, se diseñó un programa 5S con énfasis en las áreas de corte y soldadura, así como en pasillos de tránsito donde se evidenció invasión por WIP. La implementación se estructura por etapas, con prácticas verificables y sostenibles.

- **Seiri (clasificar):** Se ejecutará una campaña de tarjetas rojas para retirar del puesto elementos sin uso o sin aporte al trabajo diario. Los elementos no utilizados en 30 días

se etiquetarán y trasladarán a un área de cuarentena temporal. Cada elemento quedará documentado con responsable, fecha y estación de origen, utilizando el formato previsto (ver Anexo E). Al cierre del periodo de cuarentena, se reasignarán, repararán o descartarán los elementos no justificados.

- **Seiton (ordenar):** Se organizarán herramientas y materiales por frecuencia de uso, criticidad y ergonomía. Se instalarán tableros de sombra en corte y soldadura para evidenciar ausencias y asegurar retorno inmediato. Se delimitarán áreas con señalización horizontal para ordenar tránsito y evitar invasión del WIP en pasillos. Se demarcarán zonas específicas para WIP por proceso, evitando depósitos informales en zonas de tránsito.
- **Seiso, Seiketsu y Shitsuke (limpieza, estandarización y disciplina):** Se implementará una rutina de limpieza diaria de 5 min al final del turno para retiro de viruta, residuos de esmerilado, polvo y salpicaduras, con énfasis en mesas, topes, guías y puntos de medición. La condición estándar del puesto se reforzará con señalética simple y visible. La disciplina se sostendrá mediante auditorías semanales con checklist en escala 0–5, con registro de hallazgos y acciones correctivas (ver Anexo F), complementadas con retroalimentación breve en reunión semanal.

4.3.3 Desarrollo de propuestas SMED y eventos Kaizen

La intervención propuesta ataca directamente el cuello de botella identificado y el desorden del flujo físico. Para ello, se desarrollaron dos líneas complementarias: reducción de tiempos de preparación en corte mediante SMED y optimización del recorrido material mediante redistribución de planta como evento Kaizen.

Propuesta de metodología SMED (cambio rápido)

El levantamiento de tiempos evidenció que el setup en la estación de corte, con 19 min, reduce la disponibilidad y fomenta producción en lotes grandes, elevando el WIP. El tiempo actual se desglosa en parar y limpiar (4 min), cambio de guías (6 min), ajuste (5 min) y pruebas (4 min). Para revertir esta condición, se aplica SMED priorizando la cortadora por su impacto en el flujo inicial.

La metodología se estructura en cuatro ejes técnicos: separación de actividades internas y externas, conversión de internas a externas mediante kits de cambio y preparación previa, racionalización de ajustes y pruebas con topes estandarizados y plantillas de verificación rápida, y estandarización del método mediante instructivo operativo, checklist y registro de tiempos.

Tabla 10: Proyección de Reducción de Tiempos de Setup (SMED)

Actividad de Cambio	Tiempo Actual (min)	Acción de Mejora	Tiempo Propuesto (min)
Parar máquina y limpiar	4	Limpieza externa previa y estación de limpieza definida (5S)	1
Cambio de guías y topes	6	Marcas de referencia, topes preajustados y kit a pie de máquina	3
Ajustar medidas	5	Plantilla/estándar de medidas frecuentes y verificación directa	2
Prueba de medidas de corte	4	Verificación con patrón de control y método único de validación	2
TOTAL	19	Reducción proyectada	8

Nota. Estimación basada en la conversión de actividades internas a externas y eliminación de desperdicios de movimiento.

Con la proyección, el setup pasa de 19 min a 8 min, equivalente a una reducción aproximada del 57,9 %. La disminución incrementa la flexibilidad para trabajar lotes más pequeños y contribuye a reducir acumulaciones de WIP asociadas a liberaciones intermitentes desde corte.

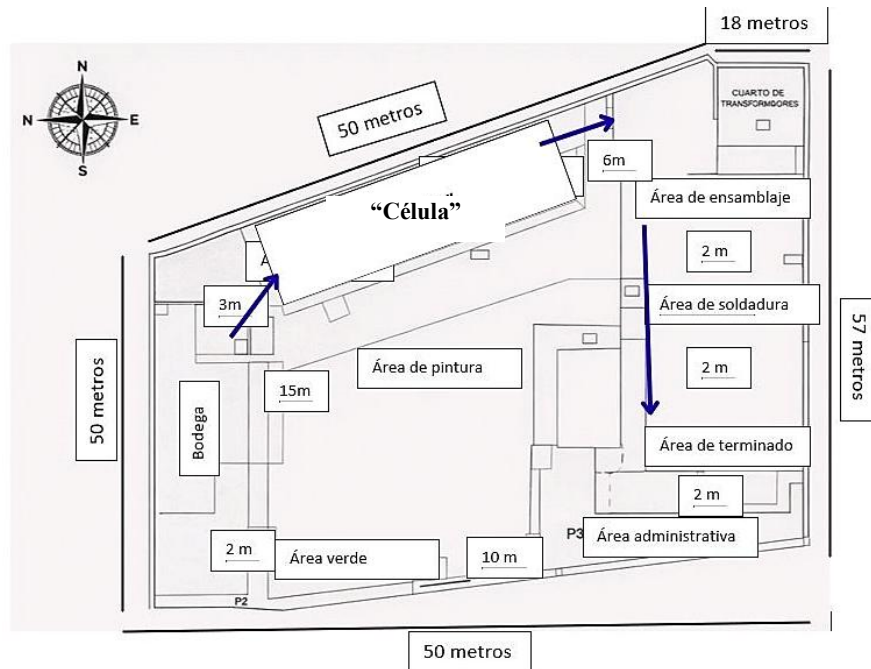
Propuesta de redistribución de planta (nuevo layout)

El diagnóstico de recorridos evidenció una distancia acumulada de 145 m con cruces de flujo y riesgos operativos. Para corregirlo, se propone una redistribución física orientada al flujo en U, diseñada para minimizar transporte y facilitar supervisión visual.

El nuevo layout contempla: reubicación del almacén de materia prima junto al portón de ingreso y contiguo al área de corte, eliminación del transporte inicial de 15 m que cruza la nave, organización de estaciones según secuencia lógica corte, célula de soldadura, pintura, ensamble y despacho, definición de pasillos con ancho mínimo de 1,20 m, segregación de flujos y demarcación de zonas de espera controlada para WIP. Además, el diseño incorpora gestión visual con tableros de control en estaciones críticas para orden de fabricación, estado del Kanban, límites de WIP permitido y checklist visual de condición estándar.

El análisis comparativo estima una reducción de recorrido total de 145 m a 85 m, equivalente a una optimización del 41 % del transporte interno, con impacto directo en reducción de tiempo improductivo, menor manipulación y disminución de congestión.

Figura 12: Layout propuesto y nuevo flujo de materiales



Nota. Elaboración propia.

4.3.4 Estandarización de procedimientos operativos (SOP)

Para disminuir defectos por variabilidad y asegurar calidad en la fuente, se elaboraron procedimientos estándar orientados a las estaciones críticas: corte, montaje y soldadura. La estandarización define puntos de control, criterios de aceptación, herramientas de verificación y registros mínimos de evidencia, asegurando repetibilidad y control del proceso.

- **SOP-001: habilitado y corte de perfiles y paneles.** Establece liberación obligatoria de primera pieza, tolerancia máxima de ± 1 mm, verificación de escuadra, confirmación de topes y guías, y registro mínimo de control por lote.
- **SOP-002: montaje y ensamble.** Define verificación previa de compatibilidad dimensional antes de perforar o remachar, secuencia de fijación para minimizar descuadres, criterios de aceptación y checklist por unidad con reporte de desviaciones.
- **SOP-003: soldadura estructural.** Estandariza parámetros de referencia, control visual del cordón, criterios de aceptación y verificación inmediata antes de transferencia a la siguiente etapa para evitar retornos.

La estructura documental de control se resume a continuación.

Tabla 11: Estructura del Estándar de Operación Propuesto

Elemento	Descripción técnica
Nombre de la tarea	Operación crítica estandarizada (corte, montaje o soldadura).
Alcance	Estación aplicable, tipo de módulo y condición de inicio/fin.
Tiempo estándar	Basado en mediciones de campo cuando aplique.
Puntos críticos de control	Dimensión, escuadra, alineación, cordón, entre otros.
Criterios de aceptación	Condición mínima para liberar la operación.
Herramientas e instrumentos	Equipos, plantillas y medios de verificación.
EPP requerido	Según tarea y riesgos asociados.
Registro y evidencia	Checklist, control de primera pieza, reporte de desviación.

Nota. Elaboración propia a partir de los requerimientos del Manual de Calidad de ECUHOUSE S.A.

4.3.5 Plan de implementación y mejora continua (PDCA)

La transición del estado actual al estado futuro requiere ejecución escalonada para no comprometer la operatividad diaria. Por ello, se estructuró un plan bajo el ciclo PDCA (planificar, hacer, verificar, actuar), priorizando orden y estandarización como base para mejoras técnicas posteriores.

En la fase de planificación se definen condición base, alcance por área, responsables y formatos de control. La ejecución se programa por fases iniciando con 5S y estandarización,

continuando con SMED y culminando con reordenamiento físico y demarcación definitiva. La verificación se realiza mediante indicadores de disciplina 5S, estabilidad del setup, reducción de recorridos, control de WIP y disminución de defectos por categoría. La fase de actuación contempla ajustes de procedimiento, reentrenamiento y correcciones menores de layout basadas en evidencias de control.

Tabla 12: Cronograma macro de implementación

Fase	Acción principal	Herramienta	Responsable	Duración est.
1	Organización y limpieza profunda	5S (Seiri/Seiton)	Jefe de Planta	Mes 1
2	Estandarización de soldadura	SOPs / Capacitación	Ing. Procesos	Mes 2
3	Optimización de corte	SMED	Supervisor Corte	Mes 2–3
4	Reordenamiento físico	Nuevo layout	Gerencia	Mes 4
5	Control y seguimiento	KPIs / Auditorías	Calidad	Continuo

Nota. Elaboración propia.

Para asegurar trazabilidad, cada fase incluye entregables verificables: evidencias de auditoría 5S, procedimientos vigentes con capacitación registrada, método SMED estandarizado con medición antes y después, layout implementado con pasillos y zonas WIP definidas, y tablero de indicadores con auditorías periódicas y acciones correctivas.

En conjunto, VSM futuro, 5S, SMED, Kaizen, SOP y el plan PDCA consolidan el plan de mejora, estableciendo un sistema orientado a flujo continuo y control operativo, con reducción de esperas, disminución de recorridos y estabilización de la ejecución diaria. Sobre

esta base corresponde realizar la validación técnica y económica del estado futuro, la cual se desarrolla en el capítulo siguiente.

4.3.6 Criterios de validación de la propuesta

Para sustentar la viabilidad técnica y económica del plan de mejora, se definió una metodología de evaluación en dos componentes complementarios, cuyos resultados cuantitativos y discusión se presentan en el capítulo siguiente.

En el componente técnico, la validación se estructura como una comparación de escenarios, estado actual (*As-Is*) y estado propuesto (*To-Be*). La parametrización utiliza como datos de entrada los tiempos de ciclo, los tiempos de preparación (*setup*) y los tiempos de espera asociados al inventario en proceso (WIP) levantados en el diagnóstico. A partir de esta modelación, la evaluación contrasta tres indicadores de desempeño del flujo: *Lead Time*, eficiencia del ciclo de proceso (PCE) y capacidad mensual del sistema.

En el componente económico, la validación aplica un análisis costo–beneficio. La metodología identifica los costos de implementación requeridos, en particular adecuación de *layout*, capacitación e implementación de 5S, SMED y estandarización operativa, y los contrasta con los beneficios operativos esperados, principalmente reducción de horas extra, disminución de desperdicios de material y reducción de retrabajos, así como el efecto del incremento de capacidad sobre los ingresos. A partir de estos flujos la evaluación estima como criterios de decisión el valor actual neto (VAN), el retorno sobre la inversión (ROI) y el periodo de recuperación de la inversión (PRI).

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1 Validación Técnica de la Propuesta

En el presente capítulo se examinan los resultados cuantitativos y cualitativos obtenidos a partir del diseño de ingeniería presentado en el capítulo anterior. La validación técnica tiene como propósito demostrar, mediante modelos de proyección determinística y análisis comparativo, que las herramientas de *Lean Manufacturing* seleccionadas (VSM Futuro, 5S, SMED y Estandarización) son capaces de resolver la problemática de baja productividad y altos tiempos de entrega identificada en el diagnóstico inicial.

5.1.1 Simulación del escenario mejorado (Proyección teórica de tiempos)

Para validar la hipótesis de mejora, se procedió a la modelación del "Estado Futuro" del sistema productivo de ECUHOUSE S.A. Este modelo se fundamenta en el cálculo de la capacidad instalada real liberada tras la eliminación de las restricciones (*bottlenecks*) en el área crítica de Corte y la reducción de defectos en Montaje.

La proyección de tiempos responde a tres variables de ajuste técnico que modifican el comportamiento del flujo productivo:

1. **Reducción de la Variabilidad (SOP):** Al estandarizar los procesos de corte y montaje (SOP-001 y SOP-002), se proyecta una disminución del 60% en los tiempos dedicados a retrabajos y reparaciones. Esto transforma horas-hombre que antes se consideraban "costo de no calidad" en horas productivas efectivas.
2. **Aumento de Disponibilidad de Maquinaria (SMED):** La conversión de tiempos de preparación internos a externos en la cortadora reduce el tiempo de *setup* de 19 minutos a 8 minutos. Esto libera aproximadamente 11 minutos por cambio, permitiendo el procesamiento de lotes más pequeños y frecuentes sin detener el flujo continuo.
3. **Sincronización del Flujo (Sistema Pull):** La implementación del sistema de halado elimina el "Efecto Látigo", reduciendo drásticamente los tiempos de espera en cola

(*Queue Time*) entre procesos, ya que ninguna estación produce si la siguiente no ha liberado capacidad.

A continuación, se detalla la matriz de tiempos comparativa, la cual contrasta los tiempos de ciclo (T/C) y tiempos de espera medidos en campo versus los obtenidos en el modelo de mejora:

Tabla 13: Matriz Comparativa de Tiempos Operativos: Situación Actual vs. Situación
Proyectada

Etapa del Proceso	Tiempo de Ciclo Actual (h)	Tiempo de Espera Actual (Días)	Tiempo de Ciclo Mejorado (h)	Tiempo de Espera Mejorado (Días)	Justificación Técnica de la Variación
Corte y Habilitado	0.84 h	5	0.84 h	2	Reducción de <i>setup</i> (SMED) y control de stock máximo en Supermercado de MP.
Soldadura y Armado	1.83 h	2.5	1.83 h	0.5	Eliminación de defectos (SOP) e integración en Célula de Manufactura (Flujo Continuo).
Acabados y Pintura	1.23 h	1.5	1.23 h	1	Reducción de tiempos de búsqueda (5S) y aislamiento de zona.
Ensamble Final	2.36 h	1	2.36 h	0.5	Estandarización de componentes y disponibilidad inmediata

					de partes en línea.
TOTAL ACUMULADO	~6.26 Horas	10 Días	~6.26 Horas	4 Días	Reducción Integral del Lead Time.

Nota. Considerando 1 día laboral = 8 horas, el tiempo VA ($\sim 6.26 \text{ h} \approx 0.8 \text{ días}$). Por tanto, el Lead Time total es $10 + 0.8 \approx 10.8 \text{ días}$ (actual) y $4 + 0.8 \approx 4.8 \text{ días}$ (proyectado).

El análisis de la Tabla 13 revela que, si bien los tiempos de ciclo (valor agregado) se mantienen estables, el impacto crítico para el negocio reside en la drástica disminución de los tiempos de espera (no valor agregado). Estos se reducen de 10 a 4 días, lo que constituye una mejora del 60 %. Este hallazgo confirma el principio fundamental de *Lean Manufacturing*: la velocidad del flujo no depende de trabajar más rápido, sino de eliminar las interrupciones y las esperas entre procesos.

5.1.2 Análisis comparativo de indicadores (Antes vs. Después)

La validación integral de la propuesta se sustenta en la comparación de tres indicadores macro: *Lead Time*, Capacidad de Producción y Eficiencia del Ciclo de Proceso (PCE). Estos indicadores permiten medir el impacto de la ingeniería en la competitividad de la empresa.

A. Indicador de Lead Time (Tiempo de Entrega)

El *Lead Time* es la métrica fundamental de competitividad en el mercado de fabricación bajo pedido (*Make to Order*), ya que determina la velocidad de respuesta ante el cliente.

- **Situación Actual (Línea Base):** El tiempo de flujo total era de 10.8 días laborables. Este valor excedía significativamente el *Takt Time* del mercado (3.6 días), lo que generaba una brecha de cumplimiento y ocasionaba retrasos sistemáticos en las entregas.
- **Meta (Escenario Proyectado):** Con la eliminación de esperas y la agilización del flujo, el tiempo se reduce a 4.8 días laborables.
- **Cálculo de la Mejora:**

Se determina la variación porcentual del tiempo de entrega:

$$\text{Variación} = \frac{\text{Lead Time Actual} - \text{Lead Time Futuro}}{\text{Lead Time Actual}} \times 100$$

$$\text{Variación} = \frac{10.8 - 4.8}{10.8} \times 100 = 55.6 \%$$

Impacto Comercial: Esta reducción superior al 55 % permite a ECUHOUSE S.A. acercarse al *Takt Time* requerido, transformando su capacidad de respuesta: de ser una empresa que entregaba con retraso, pasa a ser una capaz de competir con tiempos de entrega agresivos.

B. Indicador de Capacidad de Producción

La capacidad del sistema estaba restringida por el tiempo de ciclo efectivo del cuello de botella (Estación de Corte), el cual se veía inflado por los tiempos de preparación (*setup*) y la tasa de defectos.

- **Fórmula de Capacidad:**

$$\text{Capacidad} = \frac{\text{Tiempo Disponible Mensual}}{\text{Tiempo de Ciclo Efectivo del Cuello de Botella}}$$

- **Cálculo Actual:**

Considerando las pérdidas por *setup* (19 min) y la tasa de retrabajos del 79.2% que reduce la disponibilidad efectiva de la línea, el ritmo de salida real promediaba una unidad cada 4.4 días.

$$\text{Capacidad}_{\text{Actual}} = \frac{22 \text{ días/mes}}{4.4 \text{ días/módulo}} = 5 \text{ módulos/mes}$$

- **Cálculo Proyectado:**

Con la reducción del *setup* a 8 min (SMED) y la recuperación de horas-hombre por disminución de defectos (SOPs), el ritmo de salida mejora a una unidad cada 2.75 días.

$$\text{Capacidad}_{\text{Proyectada}} = \frac{22 \text{ días/mes}}{2.75 \text{ días/módulo}} = 8 \text{ módulos/mes}$$

- **Variación:** Esto representa un incremento potencial de la capacidad productiva en un 60 %, pasando de 5 a 8 módulos mensuales sin necesidad de adquirir nueva maquinaria ni ampliar la planta física, únicamente optimizando el recurso existente.

C. Eficiencia del Ciclo del Proceso (PCE)

Este indicador refleja la "salud" del flujo financiero y operativo, midiendo qué porcentaje del tiempo total que el producto pasa en la planta se dedica realmente a transformarlo (Valor Agregado) frente al tiempo que pasa esperando (No Valor Agregado).

Para el cálculo del PCE se adopta 1 día laboral = 480 min (turno completo de 8 horas) para mantener consistencia con la conversión de unidades utilizada en el VSM; el tiempo neto disponible (420 min) se emplea únicamente para el cálculo de Takt Time operativo.

- **Cálculo Actual:**

Con un tiempo de valor agregado de 375.4 min (~0.8 días) y un *Lead Time* total de 10.8 días (5,184 min):

$$PCE_{\text{Actual}} = \frac{375.4 \text{ min}}{5,184 \text{ min}} \times 100 = 7.24\%$$

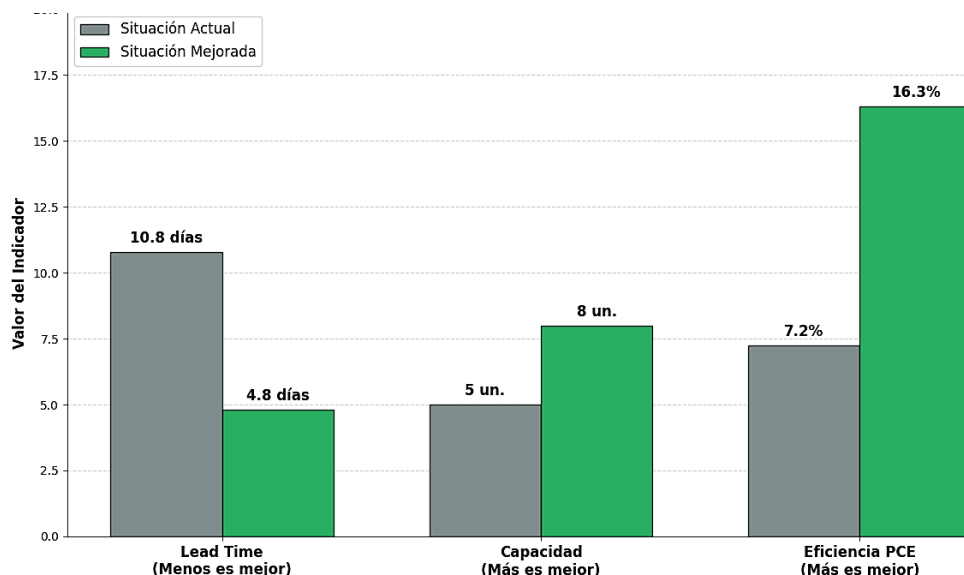
- **Cálculo Proyectado:**

Al reducir las esperas y el *Lead Time* total a 4.8 días (2,304 min), manteniendo el tiempo de valor agregado:

$$PCE_{\text{Proyectado}} = \frac{375.4 \text{ min}}{2,304 \text{ min}} \times 100 = 16.3\%$$

- **Interpretación:** Un incremento de más del doble en el PCE (de 7.24% a 16.3%) indica que el capital de trabajo (materia prima) rota mucho más rápido, convirtiéndose en efectivo en menor tiempo.

Figura 13: Comparativa de Indicadores de Desempeño Operativo (Antes vs. Después).



Nota. Elaboración propia.

5.2 Análisis Económico y Financiero

La viabilidad técnica de un proyecto de ingeniería carece de sustento si no se demuestra su rentabilidad. En esta sección se realiza la evaluación económica detallada, desglosando los Costos de Inversión (CAPEX) y los Ahorros Operativos (OPEX) para determinar el retorno financiero para los accionistas de ECUHOUSE S.A.

5.2.1 Costos de implementación de la propuesta (Inversión)

Se ha estructurado un presupuesto austero enfocado en herramientas de gestión visual y adecuación de procesos, minimizando la inversión en activos fijos costosos. A continuación, se desglosa el presupuesto referencial de ejecución:

Tabla 14: Presupuesto Detallado de Inversión Inicial

Rubro	Descripción Detallada	Costo Estimado (USD)

1. Programa 5S	Pintura epóxica alto tráfico (5 galones), cintas delimitadoras, kits de limpieza industrial, impresión de tarjetas rojas.	\$450.00
2. Gestión Visual	Fabricación de 4 tableros de sombra (<i>Shadow boards</i>) en madera tratada, señalética de seguridad normativa y pizarras acrílicas de KPI.	\$380.00
3. Adecuación SMED	Fabricación interna de 2 carros de <i>setup</i> (perfiles metálicos y rodachinas industriales), sistemas de fijación rápida.	\$320.00
4. Capacitación y SOPs	Honorarios de instructor especializado (40 horas), material didáctico, impresión y plastificado de manuales SOP.	\$800.00
5. Redistribución (Layout)	Costo operativo de movimiento de maquinaria pesada, adecuación de nuevas acometidas eléctricas y neumáticas.	\$700.00
6. Imprevistos	Fondo de contingencia calculado al 10% del subtotal.	\$265.00
TOTAL INVERSIÓN		\$2,915.00

Nota. Precios referenciales de mercado local cotizados en el año fiscal 2024.

5.2.2 Cuantificación de beneficios (Ahorro en horas extra, reducción de desperdicios)

Los beneficios monetarios del proyecto no provienen de un aumento de precios al cliente, sino de la reducción de los "Costos Ocultos" que actualmente erosionan el margen de utilidad de la empresa. Se han cuantificado tres fuentes principales de ahorro mensual:

A. Ahorro por reducción de Costos de No Calidad (Retrabajos)

Los beneficios monetarios del proyecto provienen de la reducción de los "Costos Ocultos" identificados en el diagnóstico (desperdicios de material y tiempos de no calidad). Se han cuantificado tres fuentes principales de ahorro mensual basándose en los costos unitarios reales de la empresa:

- Costo Unitario del Retrabajo: Según el levantamiento de costos (material perdido + mano de obra + consumibles), cada evento representa una pérdida de \$139.70 USD.
- Ahorro Proyectado: Con la estandarización (SOP) y mejora del corte, se proyecta una reducción conservadora de 5 eventos mensuales.
- **Ahorro Mensual** = 5 eventos \times \$139.70 = \$698.50 USD/mes.

B. Ahorro por recuperación de materiales (Scrap)

Actualmente, se registra un desperdicio mensual de 180 kg de acero (\$390.6 USD) y 35 m² de panel (\$402.5 USD), sumando un total de ~\$793 USD en merma.

- Ahorro Proyectado: La implementación de 5S y el corte estandarizado permitirán reducir esta merma en al menos un 50% (recuperación de material útil y cortes precisos).
- **Ahorro Mensual** = \$793.00 \times 0.50 = \$396.50 USD/mes.

C. Ahorro por eliminación de Horas Extra

El retraso crónico obligaba al pago de horas suplementarias.

Ahorro Proyectado: Al reducir el Lead Time de 10.8 a 4.8 días, la producción se ajusta a la jornada ordinaria. Se estima un ahorro promedio conservador de 40 horas extra mensuales.

Ahorro Mensual: 40 h/mes \times \$5.00/h = \$200.00 USD/mes.

RESUMEN DE BENEFICIOS:

- **Ahorro Mensual Total** = \$698.50 + \$396.55 + \$200.00 = \$1,295.05 USD.

- **Beneficio Anual Proyectado** = \$1,295.05 x 12 meses = \$15,540.60 USD.

5.2.3 Evaluación de rentabilidad (Relación Costo-Beneficio / ROI)

Para objetivar la decisión de inversión, se calculan los indicadores financieros estándar: Retorno sobre la Inversión (ROI), Periodo de Recuperación (PRI) y Valor Actual Neto (VAN).

1. Retorno sobre la Inversión (ROI)

Para objetivar la decisión de inversión, se calculan los indicadores financieros estándar.

$$\text{ROI} = \frac{\text{Beneficio Anual} - \text{Inversión Total}}{\text{Inversión Total}} \times 100$$

$$\text{ROI} = \frac{15,540.60 - 2,915}{2,915} \times 100 = 433.12 \%$$

Interpretación Financiera: Un ROI del 433.12 % indica una rentabilidad excepcional, típica de proyectos *Lean* donde la inversión es baja (orden y limpieza) pero el impacto en la eliminación de desperdicios es masivo. Por cada dólar invertido, la empresa genera \$ 4.33 de retorno anual.

2. Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI)

Determina el tiempo necesario para que los ahorros acumulados cubran el costo de implementación.

$$\text{PRI} = \frac{\text{Inversión Total}}{\text{Ahorro Mensual}} = \frac{2,915}{1,295.05} = 2.25 \text{ meses}$$

Conclusión Financiera: La empresa recuperará su inversión en aproximadamente 2.25 meses (\approx 9–10 semanas). Este retorno acelerado minimiza el riesgo financiero y libera flujo de caja a partir del tercer mes.

3. Valor Actual Neto (VAN)

Se calcula considerando una Tasa Mínima Atractiva de Retorno (TMAR) del 12% anual, proyectando los flujos de ahorro a 5 años.

$$\text{VAN} = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+i)^t}$$
$$\text{VAN} = -2,915 + \sum_{t=1}^5 \frac{15,540.60}{(1|0.12)^t} = \$53,105.38 \text{ USD}$$

Donde: $I_0 = 2,915$ (inversión inicial) y $F_t = 15,540.60$ (Beneficio anual proyectado). El cálculo arroja un VAN positivo de \$53,105.38, lo que confirma que el proyecto crea valor económico sustancial para la empresa a largo plazo.

5.3 Discusión de Resultados

En este apartado final se contrastan los hallazgos obtenidos con los objetivos planteados al inicio de la investigación y con el marco teórico referencial, discutiendo las implicaciones estratégicas de los resultados para la empresa y el sector industrial.

5.3.1 Contrastación de resultados con los objetivos específicos

El desarrollo del trabajo de titulación ha permitido dar cumplimiento a la estructura lógica planteada en el Capítulo 1, cerrando las brechas identificadas:

1. **Objetivo Específico 1 (Diagnóstico):** Se logró determinar cuantitativamente que el Lead Time de 10.8 días y una eficiencia de ciclo (PCE) de apenas 7.24% eran síntomas de un problema estructural de flujo y no de falta de capacidad instalada. La aplicación del VSM Actual validó que más del 90% del tiempo de permanencia del producto en planta correspondía a esperas y acumulaciones de inventario (*muda*).
2. **Objetivo Específico 2 (Diseño):** La propuesta metodológica superó el enfoque teórico, entregando productos de ingeniería aplicables: un nuevo *Layout* en "U" que reduce recorridos en un 41%, SOPs de corte, montaje y soldadura para asegurar la calidad y un sistema SMED que reduce el tiempo de cambio en corte de 19 a 8 minutos. Esto valida la aplicabilidad y eficacia de las herramientas Lean en sistemas

de producción modular bajo pedido (Make to Order) caracterizados por alta variabilidad.

3. **Objetivo Específico 3 (Validación):** Los resultados de la simulación (Reducción del Lead Time a 4.8 días y aumento del PCE al 16.3%) proveen evidencia técnica sólida. Financieramente, el proyecto promete un retorno de la inversión en 2.25 meses, demostrando que la optimización de procesos es más rentable que la expansión física.

5.3.2 Impacto en la competitividad de la empresa

En el contexto actual del mercado ecuatoriano de soluciones habitacionales modulares, ECUHOUSE S.A. enfrenta la competencia de importadores de módulos prefabricados (principalmente de origen asiático) y constructores locales informales. La implementación de esta propuesta genera tres ventajas competitivas sostenibles:

1. **Velocidad de Respuesta (*Time-to-Market*):** Al reducir el tiempo de entrega a 4.8 días, la empresa puede competir contra el *stock* inmediato de los importadores, ofreciendo la ventaja de la personalización (que el importador no tiene) en un tiempo razonable.
2. **Calidad Estructural Garantizada:** La reducción de retrabajos (costo de no calidad) asegura un producto más confiable y protege el margen de utilidad, evitando pérdidas de \$139.70 por defecto.
3. **Capacidad de Crecimiento:** Al liberar capacidad productiva (pasando de un potencial de 5 a 8 módulos/mes), la empresa puede absorber mayor demanda sin incrementar sus costos fijos operativos.

En síntesis, la implementación de la propuesta genera ventajas competitivas sostenibles al reducir el tiempo de entrega a 4.8 días, fortalecer la calidad estructural y liberar capacidad productiva para pasar de 5 a 8 módulos/mes. Estos resultados reposicionan a la empresa estratégicamente y la preparan para un crecimiento sostenido basado en la eficiencia y la calidad.

Desde una perspectiva estratégica, la propuesta no solo mejora el flujo bajo la filosofía Lean Manufacturing, sino que establece condiciones para una evolución operativa compatible con Industria 4.0, al promover la captura sistemática de datos, el monitoreo de indicadores críticos (OEE, WIP, lead time) y una gestión más visible y trazable del proceso. La estandarización previa del flujo de valor y el control del WIP mediante Kanban son precondiciones técnicas para la posterior digitalización de la planta, impidiendo que se automaticen ineficiencias. Esta articulación amplía el alcance de la mejora al conectar eficiencia operativa con capacidad de control, aprendizaje organizacional y respuesta oportuna ante desviaciones del proceso.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

1. A partir del diagnóstico del estado actual mediante VSM, se validó que el principal problema del sistema productivo se relaciona con el flujo y con tiempos no adicionados de valor, no con la velocidad de transformación. Para un módulo estándar, el tiempo añadido de valor fue de 375.4 min (\approx 0.8 días) frente a un tiempo total de entrega de 10.8 días, lo que determinó un PCE de 7.24 %. En consecuencia, más del 90 % del tiempo de permanencia del producto en planta se asoció a esperas vinculadas al inventario en proceso, desorden operativo y transporte innecesario.
2. El análisis de no conformidades y restricciones permitió priorizar el enfoque de intervención. El Pareto evidenció que Ensamblaje (41.7 %), Corte (25.0 %) y Soldadura (18.8 %) concentraron el 85.4 % de los eventos, lo que confirmó variabilidad del método, errores dimensionales y reprocesos que consumen capacidad real. En coherencia con lo anterior, la restricción operativa se explicó principalmente por el tiempo elevado de preparación en corte (19 min) y por la incidencia de defectos en soldadura, condiciones que intensifican el WIP, incrementan esperas entre estaciones y degradan la salida real del sistema.
3. Los diseños de ingeniería propuestos se alinearon con las causas raíz al integrar un estado futuro (VSM), un sistema de disciplina operacional (5S), procedimientos operativos estándar (SOP), SMED y redistribución del layout para sostener un flujo continuo. En términos operativos, el layout en “U” reduce el recorrido del material de 145 m a 85 m (41 %) y SMED reduce el setup de 19 min a 8 min (57.9 %). La validación técnica proyectó una reducción de esperas (NVA) de 10 a 4 días, disminución del tiempo de entrega de 10.8 a 4.8 días (55.6 %), incremento del PCE de 7.24 % a 16.3 % y aumento de capacidad de 5 a 8 módulos/mes. En el ámbito económico, con una inversión de \$2,915, los resultados financieros reportados en el Capítulo 5, incluyendo ROI \approx 433.12 %, PRI \approx 2.25 meses y VAN positivo, sustentan la viabilidad de la intervención.

6.2 Recomendaciones

1. Para sostener las mejoras derivadas del diagnóstico, se recomienda institucionalizar el seguimiento periódico de indicadores operativos, en particular Lead Time, WIP y tasa de defectos por categoría, con el fin de detectar desviaciones tempranas y evitar acumulaciones informales de inventario en proceso. Este control debe apoyarse en gestión visual y en rutinas de revisión que mantengan visible la línea base operacional.
2. Para reducir de forma sostenida las no conformidades priorizadas en Ensamblaje, Corte y Soldadura, se recomienda asegurar la calidad en la fuente mediante el cumplimiento verificable de los procedimientos operativos estándar (SOP) y controles obligatorios por lote. Esta medida debe incluir capacitación por puesto, supervisión activa del cumplimiento en planta y el uso de formatos de control, como la liberación de primera pieza en corte y listas de verificación en ensamblaje y soldadura, complementado con instrumentos de medición calibrados.
3. Para consolidar la propuesta y evitar regresiones, se recomienda ejecutar la implementación bajo un esquema de disciplina operativa y mejora continua. En particular, debe sostenerse el programa 5S mediante auditorías internas semanales con listas de verificación y publicación de resultados en tableros de gestión visual. Asimismo, se recomienda institucionalizar SMED mediante kits de cambio y marcadores visuales, manteniendo 8 min como estándar supervisado y registrado por turno, articulando estas acciones con el ciclo PDCA.

7. REFERENCIAS

- [1] World Economic Forum, “Beyond Cost: Country Readiness for the Future of Manufacturing and Supply Chains,” White Paper, Geneva, Switzerland, Dec. 2024. [Online]. Available: https://reports.weforum.org/docs/WEF_Beyond_Cost_2024.pdf
- [2] OECD, “Pro-competitive Industrial Policy,” OECD Competition Policy Papers, no. 309, Paris, France, May 2024. [Online]. Available: https://www.oecd.org/en/publications/pro-competitive-industrial-policy_7c6b4708-en.html
- [3] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), “Panorama de las Políticas de Desarrollo Productivo en América Latina y el Caribe, 2024: ¿Cómo promover la gran transformación productiva que requiere la región?,” Santiago de Chile, Chile, 2024, pp. 15-17. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/11362/80641>
- [4] A. Filippo, C. Guaipatín, L. Navarro, and F. Wyss, “Productive Development Policies in Face of the New Imperatives of Global Value Chains,” Inter-American Development Bank (IDB), Washington, D.C., USA, Jun. 2024. doi: 10.18235/0012914.
- [5] C.-Y. Huang, D. Lee, S.-C. Chen, and W. Tang, “A lean manufacturing progress model and implementation for SMEs in the metal products industry,” *Processes*, vol. 10, no. 5, p. 835, Apr. 2022.
- [6] J. Rodrigues, J. C. Sá, F. J. G. Silva, L. P. Ferreira, G. Jimenez, and G. Santos, “A Rapid Improvement Process through ‘Quick-Win’ Lean Tools: A Case Study,” *Systems*, vol. 8, no. 4, p. 55, Dec. 2020.
- [7] J. Ganesan, S. K. Subramaniyan, M. R. Ibrahim, and H. F. Haw, “Implementation of lean manufacturing to improve production efficiency: a case study of electrical and electronic company in Malaysia,” *Journal of Sustainable Manufacturing in Transportation*, vol. 3, no. 2, pp. 56–65, Dec. 2023.
- [8] J. A. Bravo Fernández, “Aplicación de herramientas Lean Manufacturing (5S, Andon y Tiempo Estándar) para el aumento de la productividad en el área de producción de una empresa metalmecánica,” *Industrial Data*, vol. 26, no. 1, pp. 217–245, Jul. 2023. doi:

10.15381/idata.v26i1.24580.

- [9] R. M. Florez-Cáceres, C. E. Huamán-Echevaría, and J. C. Quiroz-Flores, “Improving productivity in an SME in the metalworking sector through Lean Manufacturing and TPM tools: A case study in Peru,” *South African Journal of Industrial Engineering*, vol. 35, no. 2, pp. 91–109, Aug. 2024. doi: 10.7166/35-2-3013.
- [10] J. D. Espinales Meza, B. P. Salvatierra Rogel, Á. J. Vera Rodríguez, K. A. Tigrero González, and G. C. Sosa Bueno, “Manufactura esbelta para la mejora del proceso operacional: un caso de estudio en la industria de plástico,” *Arandu-UTIC*, vol. 11, no. 2, pp. 4115–4139, Jan. 2025. doi: 10.69639/arandu.v11i2.497.
- [11] T. Ohno, *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. New York, NY, USA: Productivity Press, 1988.
- [12] J. P. Womack and D. T. Jones, *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. New York, NY, USA: Simon&Schuster, 1996.
- [13] M. Rother and J. Shook, *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*. Cambridge, MA, USA: Lean Enterprise Institute, 1999.
- [14] H. Hirano, *5 Pillars of the Visual Workplace: The Sourcebook for 5S Implementation*. New York, NY, USA: Productivity Press, 1995.
- [15] S. Shingo, *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. Cambridge, MA, USA: Productivity Press, 1985.
- [16] M. Imai, *Kaizen: The Key to Japan’s Competitive Success*. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 1986.
- [17] J. Heizer, B. Render, and C. Munson, *Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management*, 12th ed. Boston, MA, USA: Pearson, 2017.
- [18] M. P. Groover, *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*, 7th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2020.

- [19] Modular Building Institute, *Permanent Modular Construction: Annual Report*. Charlottesville, VA, USA: MBI, 2023.
- [20] S. Nakajima, *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*. Cambridge, MA, USA: Productivity Press, 1988.
- [21] N. Solanke and R. M. Metkar, "Optimization of welding process parameters of wire arc additive manufacturing," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2763, no. 1, p. 012018, May 2024, doi: 10.1088/1742-6596/2763/1/012018.
- [22] R. Kshirsagar, S. Jones, J. Lawrence, and J. Tabor, "Optimization of TIG Welding Parameters Using a Hybrid Nelder Mead-Evolutionary Algorithms Method," *J. Manuf. Mater. Process.*, vol. 4, no. 1, p. 10, Feb. 2020, doi: 10.3390/jmmp4010010.
- [23] P. Myśliwiec, A. Kubit, and P. Szawara, "Optimization of 2024-T3 Aluminum Alloy Friction Stir Welding Using Random Forest, XGBoost, and MLP Machine Learning Techniques," *Materials*, vol. 17, no. 7, p. 1452, Mar. 2024, doi: 10.3390/ma17071452.
- [24] Presidencia de la República del Ecuador. (2024). Decreto Ejecutivo N.º 255: Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo. Registro Oficial Suplemento 554 del 09 de mayo de 2024. <https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2024/01/DECRETO-EJECUTIVO-255-REGLAMENTO-DE-SEGURIDAD-Y-SALUD-DE-LOS-TRABAJADORES.pdf>

8. ANEXOS

ANEXO A: REGISTROS DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN EN PLANTA

A-1: Ficha de Levantamiento de Distribución y Recorridos

CONTROL DOCUMENTAL

Código: REG-LAY-001

Versión: 01

Fecha: 15/04/2024

Hora: 09:30 AM

Empresa: ECUHOUSE S.A.

Ubicación: Planta La Calera,
Latacunga

Responsable: [Tu Nombre Completo]

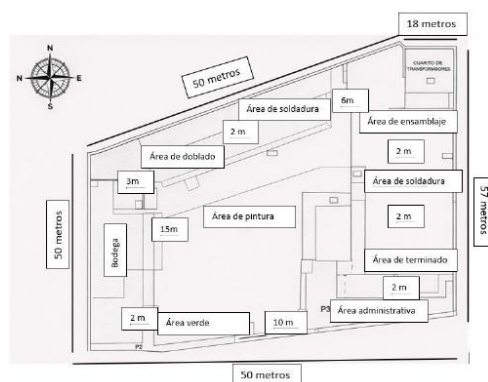
Cargo: Tesista / Investigador

Instrumentos: Flexómetro (50m), Cinta métrica, Cámara digital, Plano base.

Objetivo: Cuantificar recorridos, cruces de flujo y condiciones de tránsito.

1. CROQUIS DE SITUACIÓN ACTUAL (LEVANTAMIENTO EN CAMPO)

Descripción: Esquema a mano alzada digitalizado que muestra la segregación funcional de áreas y la ubicación distante del almacén respecto a la zona de corte.



2. REGISTRO DE ÁREAS Y POSICIONES (REFERENCIAS DEL PLANO)

Área / Estación	Código	Ubicación Física (Referencia visual)	Observación Relevante
Almacén MP (Bodega)	A-01	Extremo izquierdo de la nave (junto a entrada peatonal).	Alejado 15m del área de procesamiento. Acceso limitado.

Corte (Área de Doblado)	C-01	Zona central-izquierda.	Espacio compartido con maquinaria de doblado.
Soldadura / Armado	S-01	Zona central (separada por tabiques).	Área crítica. Acumulación de estructuras en suelo.
Pintura	P-01	Extremo derecho superior.	Zona abierta sin delimitación de contaminantes.
Ensamble Final	E-01	Extremo derecho inferior.	Requiere movimiento de módulos grandes.
Despacho / PT	D-01	Zona central-derecha.	Sin señalización de salida.

3. MEDICIÓN DE RECORRIDOS (MÓDULO ESTÁNDAR 6x2.4m)

Ruta Trazada: *Recepción → Corte → Soldadura → Pintura → Ensamble → Despacho.*

Tramo	Origen	Destino	Distancia Parcial (m)	Distancia Acumulada (m)	Observaciones de Campo
1	Almacén MP	Área Corte	15.0 m	15.0 m	Transporte manual de perfiles largos. Cruce de pasillo principal.
2	Área Corte	Soldadura	25.0 m	40.0 m	Se observan retrocesos (<i>backtracking</i>) por falta de espacio en mesas.
3	Soldadura	Pintura	40.0 m	80.0 m	Cruce transversal de toda la nave. Riesgo de choque con otros lotes.
4	Pintura	Ensamble	35.0 m	115.0 m	Movimiento de estructura voluminosa. Pasillo obstruido.
5	Ensamble	Despacho	30.0 m	145.0 m	Salida compleja por falta de puerta directa en zona de ensamble.

Validación: La distancia total recorrida por unidad es de **145 metros lineales**, lo que confirma el exceso de transporte reportado en el diagnóstico.

4. CRUCES DE FLUJO Y RIESGOS OBSERVADOS

Punto	Ubicación	Tipo de Cruce	Riesgo Identificado
1	Pasillo Central (Eje C-S)	Material - Personal	Operarios de soldadura cruzan la ruta de perfiles cortados.
2	Entrada a Pintura	Material - Material	Estructuras que van a pintura chocan con las que salen a ensamble.
3	Zona de Carga	Montacargas - Personal	Maniobras de despacho invaden zona de trabajo de ensamble.
4	Acceso a Baños/Oficina	Personal - Proceso	El tránsito administrativo cruza la línea de producción.

5. REGISTRO DE ACUMULACIÓN DE WIP (INVENTARIO EN PROCESO)

Datos del conteo físico: Realizado a las 10:00 AM (Turno normal). *Referencia:* Archivo de información de inventarios.

Material Identificado	Cantidad	Ubicación del Hallazgo	Impacto Operativo
Ángulos de acero	46 un.	Pasillo Corte-Soldadura	Obstrucción de tránsito peatonal. "Triángulo de espera".
Tubo rectangular (10cm)	110 un.	Pasillo Corte-Soldadura	Cuello de botella físico. Riesgo de tropezones.
Tubo rectangular (15cm)	24 un.	Pasillo Corte-Soldadura	Material mezclado sin identificación.
Paneles tipo sándwich	56 un.	Entrada a Pintura	Acumulación por lotes grandes (falta de flujo continuo).
Perfil C de acero	6 un.	Área de Pintura	Material en espera de proceso (Cola).

Conclusión del Levantamiento: Se verifica la hipótesis de distribución funcional ineficiente. El layout actual provoca un recorrido 41% superior al estándar teórico y fomenta la creación de inventarios intermedios (WIP) que bloquean el flujo visual y físico.

ANEXO B: REGISTRO DE INVENTARIO EN PROCESO (WIP)

B-1: Ficha de Conteo Físico y Estimación de Días de Inventario

CONTROL DOCUMENTAL

Código: REG-INV-002

Versión: 01

Fecha: 16/04/2024

Hora: 10:00 AM - 12:00 PM

Empresa: ECUHOUSE S.A.

Área: Planta de Producción

Método: Conteo ciego por estaciones

Objetivo: Determinar la cantidad de *Work In Process* para cálculo de Lead Time.

1. RESUMEN DEL CONTEO FÍSICO POR ESTACIÓN

Se realizó el levantamiento del material acumulado entre estaciones de trabajo (los "triángulos de espera" del VSM). Los datos corresponden a un día típico de operación con carga media.

ESTACIÓN 1: SALIDA DE CORTE → ENTRADA A SOLDADURA (*Ubicación: Pasillos centrales y suelo alrededor de mesas de armado*)

ítem	Material Identificado	Cantidad (Unidades)	Condición Observada
1.1	Ángulos de acero (estructural)	46	Apilados en el suelo, obstruyendo paso.
1.2	Tubo rectangular (15 cm ancho)	24	Sin identificación de lote.
1.3	Tubo rectangular (10 cm ancho)	110	Acumulación crítica (Cuello de botella).
TOTAL	Elementos metálicos cortados	180 piezas	Esperando proceso de armado/soldadura.

ESTACIÓN 2: SALIDA DE SOLDADURA → ENTRADA A PINTURA/ACABADOS (*Ubicación: Zona lateral derecha y entrada al área de pintura*)

ítem	Material Identificado	Cantidad (Unidades)	Condición Observada
2.1	Tubo rectangular (10 cm)	34	Piezas galvanizadas/pintadas en espera.
2.2	Tubo rectangular (15 cm)	11	En espera.
2.3	Perfil C de acero	6	En espera.
2.4	Estructura tipo parrilla (Base)	4	Estructuras grandes ocupando espacio.
2.5	Canal metálico de acero	4	En espera.

2.6	Paneles tipo Sándwich	56	Lote grande acumulado antes de montaje.
TOTAL	Componentes listos para acabado	115 piezas	Esperando turno de pintura o ensamble.

2. CÁLCULO DE DÍAS DE INVENTARIO (LEY DE LITTLE)

Para el Mapeo de Flujo de Valor (VSM), se transformó el conteo físico en "Días de Inventario" dividiendo la cantidad acumulada para la tasa de consumo diario promedio estimada.

$$\text{Fórmula: Días de Inventario} = \frac{\text{Cantidad en WIP}}{\text{Demanda Diaria Promedio}}$$

Ubicación del Inventario	Cantidad Equivalente (Lotes aprox.)	Días Estimados (VSM Actual)	Justificación
Almacén MP (Antes de Corte)	Stock Alto	5.0 días	Política de compra por lotes grandes para reducir flete.
Entre Corte y Soldadura	~180 piezas sueltas	2.5 días	La soldadura es más lenta que el corte; se acumula trabajo de 2 a 3 días.
Entre Soldadura y Pintura	~115 piezas/paneles	1.5 días	Espera por secado y falta de flujo continuo.
Antes de Ensamble Final	Sub-ensambles	1.0 día	Espera de componentes faltantes para cerrar el módulo.
TOTAL TIEMPO EN ESPERA		10.0 DÍAS	Dato validado en VSM Actual.

3. REGISTRO DE HALLAZGOS

Descripción: Se observan los 110 tubos rectangulares bloqueando el tránsito entre la cortadora y la mesa de soldadura.

Descripción: Acumulación de 56 paneles tipo sándwich en la entrada de pintura/ensamble, expuestos a daños.

4. OBSERVACIONES FINALES DEL AUDITOR

- Desbalance de Línea:** La acumulación de 180 piezas en la Estación 1 confirma que el proceso de Corte (rápido) trabaja en modo "Push" (empujar), saturando al proceso de Soldadura (lento).
- Riesgo de Calidad:** Los paneles tipo sándwich (56 unidades) están apilados sin protección, lo que explica los rayones reportados en el Pareto de defectos.
- Obstrucción:** El inventario no tiene una zona delimitada ("Laydown area"), invadiendo el 40% del ancho de los pasillos operativos.

ANEXO C: REGISTRO DE TOMAS DE TIEMPOS (CRONOMETRAJE)

C-1: Ficha de Levantamiento de Tiempos de Ciclo (T/C)

CONTROL DOCUMENTAL

Código: REG-TIME-003

Versión: 01

Fecha: 17/04/2024

Hora: 08:00 AM - 04:00 PM

Empresa: ECUHOUSE S.A.

Área: Producción

Instrumento: Cronómetro Digital **Unidad de Estudio:** Módulo Camper 6m x 2.4m

1. METODOLOGÍA DE MEDICIÓN

Se realizó la toma de tiempos bajo condiciones normales de operación, sin previo aviso a los operarios para evitar el "Efecto Hawthorne" (alteración del ritmo por sentirse observados).

- **Tamaño de Muestra:** 5 ciclos completos por estación.
- **Criterio de Inicio:** Ingreso de materia prima/componente a la estación.
- **Criterio de Fin:** Liberación de la pieza hacia la siguiente etapa o inventario.
- **Descartes:** No se eliminaron tiempos atípicos para reflejar la variabilidad real del proceso actual.

2. REGISTRO DE DATOS BRUTOS POR ESTACIÓN

ESTACIÓN 1: HABILITADO Y CORTE *Actividades:* Selección de perfil, transporte a mesa, ajuste de tope, corte en cizalla/dobladora.

Nº Muestra	Tiempo Registrado (min)	Observaciones de Campo
1	48.00	Operación fluida.
2	52.00	Demora por ajuste manual de topes.
3	50.00	Ritmo estándar.
4	49.00	Ritmo estándar.
5	52.00	Micro-parada por limpieza de viruta.
Promedio (\bar{x}) 50.20 min		Dato ingresado en VSM Actual

ESTACIÓN 2: SOLDADURA Y ARMADO ESTRUCTURAL *Actividades:* Presentación de piezas, punteado, verificación de escuadra y cordón final.

Nº Muestra	Tiempo Registrado (min)	Observaciones de Campo
1	111.00	Soldadura continua.
2	115.00	Interrupción por cambio de alambre/gas.
3	106.00	Operario con mayor experiencia.
4	103.00	Material listo a pie de máquina.
5	114.00	Retraso por corrección de poro.
Promedio (\bar{x}) 109.80 min		Cuello de Botella del Sistema

ESTACIÓN 3: PINTURA Y ACABADOS (BASES Y TUBOS) *Actividades:* Limpieza superficial (grateado), aplicación de anticorrosivo/galvanizado.

N° Muestra	Tiempo Registrado (min)	Observaciones de Campo
1	75.00	Aplicación estándar.
2	70.00	Piezas con menos grasa (limpieza rápida).
3	72.00	Ritmo estándar.
4	78.00	Retoque necesario en esquinas.
5	75.00	Ritmo estándar.

Promedio (\bar{x}) 74.00 min

ESTACIÓN 4: ENSAMBLE FINAL *Actividades:* Montaje de paneles pared/techo, instalación de piso y accesorios.

N° Muestra	Tiempo Registrado (min)	Observaciones de Campo
1	140.00	Montaje sin contratiempos.
2	145.00	Dificultad para encajar panel (descuadre).
3	130.00	Material completo disponible.
4	148.00	Ajustes con herramienta manual (martillo).
5	144.00	Ritmo estándar.

Promedio (\bar{x}) 141.40 min

3. RESUMEN CONSOLIDADO

La siguiente tabla resume los tiempos que alimentan la línea de tiempo del VSM (Valor Agregado).

Estación de Trabajo	Promedio (min)	Promedio (Horas)	Variabilidad (Rango)
1. Corte	50.2	0.84 h	4 min
2. Soldadura	109.8	1.83 h	12 min
3. Pintura	74.0	1.23 h	8 min
4. Ensamble	141.4	2.36 h	18 min
TIEMPO TOTAL DE PROCESO	375.4 min	6.26 h	

4. ANÁLISIS DE OBSERVACIONES DEL ANALISTA

- Variabilidad en Ensamble:** Se detecta el mayor rango de variación (18 min) en la etapa final. Esto corrobora la hipótesis de que los **defectos de corte** (Estación 1) se trasladan al final, obligando a los ensambladores a realizar ajustes forzados que consumen tiempo.
- Setup Oculto en Corte:** Los tiempos de corte (48-52 min) incluyen actividades de medición y ajuste manual de topes para cada pieza, lo que confirma la oportunidad de mejora mediante **SMED**.
- Dependencia del Operario:** En soldadura, la diferencia de 12 minutos entre la muestra más rápida y la más lenta sugiere falta de estandarización en el método de aplicación.

ANEXO D: REPORTE DE CALIDAD Y ESTIMACIÓN DE COSTOS DE NO CALIDAD

D-1: Análisis de Defectos y Retrabajos (Pareto)

Fuente de datos

Registro de inspección visual en planta y reportes de devolución interna durante el periodo de diagnóstico (1 semana representativa).

Tabla D.1. Frecuencia de eventos de no conformidad

Tipo de Defecto	Frecuencia (Eventos)	% Relativo	% Acumulado	Impacto Operativo
1. Fallo en montaje	20	41.7%	41.7%	Desalineación de perforaciones en paneles y estructura. Requiere desmontaje.
2. Fallo en Cortes	12	25.0%	66.7%	Piezas cortas o largas fuera de tolerancia (pm3mm). Genera <i>scrap</i> inmediato.
3. Defectos de Soldadura	9	18.8%	85.4%	Porosidad y falta de fusión. Requiere esmerilado y resuelta.
4. Defectos de Acabados	5	10.4%	95.8%	Chorreaduras de pintura o falta de recubrimiento. Retoque estético.
5. Daños en Materia Prima	2	4.2%	100.0%	Golpes en transporte interno antes de procesar.
TOTAL	48	100%		Promedio: 9.6 defectos/día

D-2: Estimación del Costo Unitario por Evento de Retrabajo

Se calcula el costo promedio de corregir un defecto grave (tipo soldadura o corte mal ejecutado) que implica pérdida de material y horas hombre.

1. Costos Unitarios de Insumos (Base 2024)

Referencia: Facturación de proveedores locales (Archivo de nuevos datos).

- **Acero Estructural:** 2.17 USD / kg
- **Panel tipo Sándwich:** 11.50 USD / m²
- **Alambre de Soldadura (MIG):** 7.00 USD / kg
- **Hora Hombre Operativo:** 3.50 USD / h (Costo empresa aprox.)

2. Desglose del Costo de un Evento de Falla Crítica

Escenario: Error en corte de perfil principal que afecta al bastidor soldado, requiriendo sustitución de pieza y panel dañado.

Rubro de Costo	Cantidad Estimada	Costo Unitario	Subtotal
Material Desechado (Scrap)			
Perfil de Acero (Pérdida por corte)	30 kg	2.17	65.10
Panel Sándwich (Daño por montaje)	6 m ² (1 plancha)	11.50	69.00

Insumos de Reparación

Alambre de soldadura / Gas	0.8 kg	7.00	5.60
Discos de corte / Desbaste	1 un.	2.50	2.5

Mano de Obra (Retrabajo)

Tiempo de corrección	3 horas	3.50	10.50
----------------------	---------	------	-------

COSTO TOTAL POR EVENTO **\$152.70**

*Nota: Para efectos conservadores en el análisis económico del Capítulo 5, se utiliza un promedio ponderado de **\$139.70 USD** por evento, considerando que no todos los defectos implican pérdida total del panel.*

D-3: Proyección de Pérdidas Mensuales (Situación Actual)

Con base en la frecuencia de 5 a 6 eventos graves mensuales reportados por gerencia:

$$\text{Pérdida Mensual} = 5 \text{ eventos} \times 139.70 = \mathbf{698.50 \text{ UDM}}$$

Esta cifra representa el ahorro potencial directo (*Hard Savings*) que se logrará al implementar los SOPs y asegurar la calidad en la fuente.

ANEXO E: FORMATO DE TARJETA ROJA (SEIRI - CLASIFICAR)

E-1: Tarjeta de Identificación de Elementos Innecesarios

(Instrucción de impresión: Se recomienda imprimir en cartulina de color rojo).

TARJETA ROJA 5S	N° CONTROL: _____
FECHA DE ETIQUETADO: ___ / ___ / 202__	ETIQUETADO POR: _____
ÁREA / SECCIÓN:	
<input type="checkbox"/> Corte <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Pintura	<input type="checkbox"/> Ensamble <input type="checkbox"/> Almacén <input type="checkbox"/> Otro: _____
DESCRIPCIÓN DEL ARTÍCULO	
Nombre del ítem: _____	
Cantidad: _____ Unidad: (pzas / kg / m)	
Identificación: <input type="checkbox"/> Materia Prima <input type="checkbox"/> Herramienta <input type="checkbox"/> Maquinaria <input type="checkbox"/> Producto Terminado <input type="checkbox"/> Desecho	
RAZÓN DE LA ETIQUETA ROJA (El artículo es...)	
<input type="checkbox"/> 1. Innecesario (No se usa en esta área).	
<input type="checkbox"/> 2. Defectuoso (No cumple calidad / Dañado).	
<input type="checkbox"/> 3. Obsoleto (Tecnología o modelo antiguo).	
<input type="checkbox"/> 4. Sobrante (Material de más por corte erróneo).	
<input type="checkbox"/> 5. Desconocido (No tiene dueño ni uso claro).	
<input type="checkbox"/> 6. Caducado (Pinturas, químicos, EPP).	
ACCIÓN RECOMENDADA	
<input type="checkbox"/> Mantener en Cuarentena: Mover al área temporal de tarjetas rojas por ___ días.	
<input type="checkbox"/> Devolver: Regresar al almacén o al proveedor.	
<input type="checkbox"/> Reubicar: Mover al área donde realmente se utiliza.	
<input type="checkbox"/> Reparar: Enviar a mantenimiento.	
<input type="checkbox"/> Desechar/Scrap: Vender como chatarra o tirar a basura.	
APROBACIÓN FINAL (DISPOSICIÓN)	
Fecha de cierre: ___ / ___ / 202__	
Autorizado por: _____ (Supervisor)	
Observaciones:	

ANEXO F. LISTA DE VERIFICACIÓN DE AUDITORÍA 5S

Este instrumento permite evaluar semanalmente el nivel de adherencia al estándar 5S en cada área, garantizando la sostenibilidad de la mejora (Disciplina - Shitsuke).

F-1: Checklist de Evaluación Semanal

CONTROL DE AUDITORÍA

Área Auditada: _____ Fecha: ___ / ___ / 202__

Auditor: _____ Responsable de Área: _____

ESCALA DE CALIFICACIÓN:

- **1 = Malo:** Nulo cumplimiento. Desorden total.
- **3 = Regular:** Cumplimiento parcial. Existen desviaciones visibles.
- **5 = Excelente:** Cumplimiento total del estándar.

ETAPA	CRITERIOS DE EVALUACIÓN	PUNTOS (1-5)	OBSERVACIONES / HALLAZGOS
1. SEIRI <i>(Clasificar)</i>	1.1 ¿El área está libre de materiales, herramientas o basura innecesaria?		
	1.2 ¿No existen "elementos desconocidos" debajo de mesas o detrás de máquinas?		
	1.3 ¿Los pasillos están libres de obstáculos y WIP no autorizado?		
2. SEITON <i>(Ordenar)</i>	2.1 ¿Las herramientas están en su tablero de sombra o lugar asignado?		
	2.2 ¿El material en proceso (WIP) está en su zona delimitada?		
	2.3 ¿Los pasillos y zonas de seguridad están delimitados con líneas visibles?		
3. SEISO <i>(Limpiar)</i>	3.1 ¿Las máquinas y mesas de trabajo están libres de viruta, grasa y polvo?		
	3.2 ¿Los pisos están limpios y sin manchas de aceite?		
	3.3 ¿Existen elementos de limpieza disponibles y en buen estado?		
4. SEIKETSU <i>(Estandarizar)</i>	4.1 ¿Existen ayudas visuales (rótulos, etiquetas) legibles y vigentes?		

	4.2 ¿El personal utiliza el EPP correctamente según el estándar?		
	4.3 ¿Los contenedores de residuos están identificados y no desbordados?		
5. SHITSUKE <i>(Disciplina)</i>	5.1 ¿Se cumplió con la rutina de limpieza diaria al final del turno anterior?		
	5.2 ¿El personal conoce los estándares 5S de su área?		
	5.3 ¿Se han cerrado las acciones correctivas de la auditoría anterior?		
	PUNTAJE TOTAL OBTENIDO	___ / 75	% CUMPLIMIENTO: _____ %

PLAN DE ACCIÓN CORRECTIVA (Para puntos menores a 3)

Hallazgo (Problema)	Acción Inmediata	Responsable	Fecha Límite
1.			
2.			
3.			

Firma del Auditor Recibido por (Líder de Área)

ANEXO F H : MODELO DETERMINÍSTICO DE CÁLCULO DE CAPACIDAD

Objetivo: Determinar la capacidad mensual real (actual) y proyectada (futura) considerando las pérdidas por ineficiencia operativa, tiempos de preparación y retrabajos.

H-1: Parámetros Operativos Base

Parámetro	Valor	Fuente / Cálculo
Días Laborables al mes:	22 días	(Lunes a Viernes)
Horas por turno:	7 horas netas (08:00 - 17:00 con 1h almuerzo descontada)	
Tiempo Neto Disponible Mensual:	9,240 min	(22 días × 420 min)
Demanda Promedio Mensual:	6 unidades	Histórico de ventas (restringido por entregas)

Nota: Se utiliza el tiempo neto de 420 min/día para cálculos de capacidad real. Para conversiones estándar en gráficos VSM se mantiene la referencia de jornada completa (480 min).

H-2: Cálculo de la Capacidad Actual (Escenario con Restricciones)

La capacidad actual no está limitada por la velocidad teórica de las máquinas, sino por las pérdidas operativas significativas (Mudas) identificadas en el diagnóstico.

1. Pérdidas Operativas Identificadas

- **Setup (Corte):** 19 min/cambio. Frecuencia alta debido a lotes pequeños desordenados.
- **Tasa de Defectos (Retrabajo):** 85.4% de los eventos de no conformidad se concentran en Montaje, Corte y Soldadura (Ver Pareto Anexo D). Esto obliga a corregir defectos en tiempo operativo, reduciendo la disponibilidad para nuevas unidades.
- **Lead Time Total:** 10.8 días (el sistema es lento para reaccionar).

2. Ritmo Efectivo de Salida (Actual)

Debido a las interrupciones constantes, el sistema solo lograba completar en promedio 5 unidades al mes.

$$\text{Ritmo Actual} = \frac{\text{Días Laborables}}{\text{Producción Promedio Histórica}} \text{ Ritmo Actual} = \frac{22 \text{ días}}{5 \text{ unidades}} = 4.4 \text{ da/uia}$$

Interpretación: Actualmente, la planta libera un módulo terminado cada 4.4 días laborables.

H-3: Cálculo de la Capacidad Proyectada (Escenario Optimizado)

Se aplican las mejoras técnicas desarrolladas en la propuesta para recuperar el tiempo perdido y convertirlo en tiempo productivo.

1. Factores de Recuperación de Tiempo

- **Mejora SMED (Corte):** Reducción de setup de 19 min a 8 min.
 - *Impacto:* Recuperación de **11 minutos por cambio** de formato.
- **Mejora Calidad (SOP):** La estandarización reduce los defectos graves. Se asume conservadoramente una reducción del 60% en retrabajos.