



EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Orizaba

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

OPCIÓN I. TESIS

TRABAJO PROFESIONAL

**“MEJORAMIENTO DEL CONTROL DE LA
PRODUCCIÓN EN EMPRESA METALMECÁNICA
EN EL ESTADO DE VERACRUZ, APLICANDO
LEAN CONSTRUCTION”**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

PRESENTA:

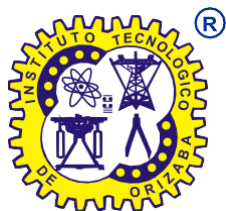
Ing. Luis Tlaxcala de la Cruz

DIRECTOR DE TESIS:

MMA. Jorge Luis Hernández Mortera

CODIRECTOR DE TESIS:

Dr. Fernando Ortiz Flores



ORIZABA, VERACRUZ, MÉXICO.

NOVIEMBRE 2025



Instituto Tecnológico de Orizaba
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Orizaba, Veracruz, **26/noviembre/2025**
Dependencia: **División de Estudios de
Posgrado e Investigación**
Asunto: **Autorización de Impresión**
OPCION: I

C. TLAXCALA DE LA CRUZ LUIS
Candidato(a) a Grado de Maestro(a) en:
INGENIERÍA INDUSTRIAL
PRESENTE

De acuerdo con el reglamento de Titulación vigente de los Centros e Institutos Tecnológicos Federales del Tecnológico Nacional de México, de la Secretaría de Educación Pública, y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora le hizo respecto a su Trabajo Profesional titulado:

"MEJORAMIENTO DEL CONTROL DE LA PRODUCCIÓN EN EMPRESA METALMECÁNICA EN EL ESTADO DE VERACRUZ, APLICANDO LEAN CONSTRUCTION"

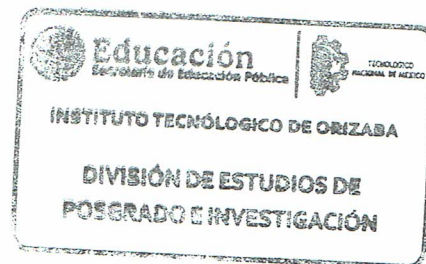
Comunico a usted que este Departamento concede su autorización para que proceda a la impresión del mismo.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA - TÉCNICA - CULTURA®


OFELIA LANDETA ESCAMILLA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

OLE/jarh

OG-13-F06





Orizaba Veracruz, 14/noviembre/2025

Asunto: Revisión de trabajo escrito

C. OFELIA LANDETA ESCAMILLA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
P R E S E N T E.-

Los que suscriben, miembros del jurado, han realizado la revisión de la Tesis del (la) C.:

TLAXCALA DE LA CRUZ LUIS

La cual lleva el título de:

MEJORAMIENTO DEL CONTROL DE LA PRODUCCIÓN EN EMPRESA METALMECÁNICA EN EL
ESTADO DE VERACRUZ, APLICANDO LEAN CONSTRUCTION

y concluyen que se acepta.

A T E N T A M E N T E
Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA - TÉCNICA - CULTURA®

PRESIDENTE: M.M.A. JORGE LUIS HERNÁNDEZ MORTERA

SECRETARIO: DR. FERNANDO ORTIZ FLORES

VOCAL: DRA. ALICIA AGUEDA CONDE ISLAS

VOCAL SUP.: M.C. JORGE ARTURO RAMIREZ HERNANDEZ



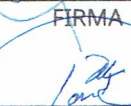
FIRMA



FIRMA



FIRMA



FIRMA

TA-09-F18



2025
Año de
La Mujer
Indígena



Declaración de originalidad y cesión de derechos

Orizaba, Veracruz, el día 01 del mes de diciembre del año 2025.

El(la) que suscribe

C. Luis Tlaxcala de la Cruz

Declaro que esta tesis, que tiene una extensión de 180 cuartillas, ha sido escrita por mí y constituye el registro escrito del trabajo de la tesis titulada "Mejoramiento del control de la producción en empresa metalmecánica en el estado de Veracruz, aplicando *Lean Construction*" del programa de Maestría en Ingeniería Industrial, bajo la asesoría y dirección del M.M.A. Jorge Luís Hernández Mortera y Dr. Fernando Ortiz Flores y no ha sido sometida en ninguna otra institución previamente.

Todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tales y, en los casos en que así lo requieran, cuento con las debidas autorizaciones de quienes poseen los derechos patrimoniales. Por lo tanto, me hago responsable de cualquier litigio o reclamación relacionada con derechos de propiedad intelectual, exonerando de toda responsabilidad al Tecnológico Nacional de México, campus Orizaba.

También declaro que, al presentar esta tesis, cedo los derechos del trabajo al Tecnológico Nacional de México, campus Orizaba, para su difusión, con fines académicos y de investigación, bajo las regulaciones propias de la institución y que, si existe algún acuerdo de confidencialidad de la información, lo haré saber en forma escrita para que se omitan las secciones correspondientes.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, las gráficas ni los datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y del director del trabajo. Este puede obtenerse escribiendo a la siguiente dirección: depi_orizaba@tecnm.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá expresar su agradecimiento correspondiente y citar la fuente.



Luis Tlaxcala de la Cruz
Nombre y firma

Dedicatorias

Dedico este trabajo a Dios, que ha marcado mi vida y que, de una u otra forma, me ha sostenido en los momentos en que creí que no podría continuar. Este logro nació del amor, la fuerza y la esperanza que sembró en mí cuando más lo necesitaba.

A mi familia, mi punto de partida y mi razón para seguir. A mis padres, gracias por enseñarme que la vida es un camino que se enfrenta con valentía, responsabilidad y corazón. Por cada consejo, por cada desvelo, por cada palabra que me levantó cuando las dudas me pesaban. Ustedes han sido mi motor silencioso, mi abrazo seguro, mi hogar en todos los sentidos.

A mi esposa María y a mi hija Metzy, quienes han transformado mis días, mis metas y mis sueños. Gracias por su paciencia, por su comprensión y por creer en mí incluso en los momentos en que yo mismo dudaba. Ustedes han sido un faro en medio de mis tormentas y la mayor motivación para no rendirme. Su amor me ha dado fuerzas que ni yo sabía que tenía.

Esta dedicatoria es para todos ustedes, que, con palabras, sonrisas, abrazos, silencios y presencia, me ayudaron a llegar hasta aquí. Este trabajo no solamente es el cierre de una etapa; es la prueba de que, con amor, apoyo y perseverancia, incluso los caminos más pesados pueden convertirse en historias hermosas.

Gracias por caminar conmigo, por sostenerme y por ser parte de mis motivos para seguir adelante. Este logro también les pertenece.

Agradecimientos

Quiero comenzar expresando mi profunda gratitud a Dios, quien me ha dado la fortaleza para superar cada obstáculo y la paciencia para afrontar las adversidades. Agradezco la sabiduría para aprender de cada tropiezo y la dicha de saber que nunca me abandona. Su presencia ha sido mi guía constante en este proceso.

A mi familia, gracias por su apoyo incondicional. A mis padres, les agradezco de todo corazón por estar siempre a mi lado, en los momentos buenos y difíciles. Sus consejos, regaños y amor me han guiado y ayudado a seguir adelante. A mis hermanos, Miguel, Citlali y Gregorio, gracias por ser ejemplos de superación y por brindarme amor y alegría en todo momento.

A mi esposa María y a mi hija Metzy, gracias por su amor, paciencia y apoyo en cada momento, tanto en los buenos como en los difíciles. Ustedes me han mostrado que siempre puedo contar con su respaldo y eso me da la fuerza para seguir adelante, con la certeza de que estamos juntos en este camino.

A mis compañeros de posgrado, que más que compañeros, se convirtieron en grandes amigos. Gracias por su apoyo y por acompañarme en distintas situaciones que hicieron de esta experiencia una vivencia única que recordaré con afecto y emoción.

A los profesores que generosamente compartieron su conocimiento y sabiduría. Su aporte será de gran utilidad para mi vida profesional. En especial, a mi asesor, por haber aceptado este proyecto y por alentarme a seguir adelante, incluso cuando las dificultades parecían insuperables. Agradezco profundamente la paciencia que tuvo y el apoyo constante que me brindó, que ha sido indispensable para culminar este proyecto de tesis. Sin su orientación y apoyo, este camino habría sido mucho más arduo. Gracias por hacer de este proceso algo más llevadero y por ayudarme a transformar los retos en oportunidades de crecimiento.

Resumen

El presente trabajo de tesis se centró en el mejoramiento del control de la producción en una empresa metalmecánica ubicada en el estado de Veracruz, mediante la implementación de técnicas de ingeniería industrial y herramientas de *Lean Construction*. El proyecto se basó en la necesidad de optimizar los procesos de producción, principalmente en la mejora del flujo de trabajo y el control de tiempos asociados a la fabricación de estructuras en el taller de estructuras metálicas de la empresa.

A lo largo de la investigación, se identificaron áreas clave de mejora en los procesos del taller de estructuras metálicas, donde la empresa experimentaba problemas con el control de la producción, lo que provocaba costos y tiempos superiores a los estimados. Se propuso la aplicación de herramientas como *Value Stream Mapping* (VSM), la prueba de los cinco minutos, el método de los 5 porque, y el diagrama de interrelaciones para diagnosticar la situación actual y las causas raíz de los problemas.

Como parte de la metodología *Lean Construction*, se implementó la herramienta *System Last Planner* (SLP), y herramientas de mejora continua. Estos enfoques permitieron reducir tiempos de espera, mejorar la coordinación de los equipos de trabajo y optimizar el uso de recursos. En particular, la herramienta SLP se utilizó para planificar y monitorear el progreso de los proyectos, logrando un aumento en la eficiencia operativa y la reducción de sobrecostos.

El desarrollo del presente proyecto permitió mejoras significativas en el control de la producción, destacando la reducción en los tiempos de fabricación y el aumento en la capacidad de la empresa para cumplir con los plazos de entrega de los pedidos. Asimismo, la implementación de "Tablas y gráficos dinámicos para control y avance" facilitó el seguimiento detallado de cada proyecto, proporcionando un acceso más rápido y preciso a la información clave, lo que optimizó la toma de decisiones.

Abstrac

This thesis focuses on improving production control in a metalworking company located in the state of Veracruz, through the implementation of industrial engineering techniques and Lean Construction tools. The project is based on the need to optimize production processes, primarily focusing on improving workflow and time control associated with the manufacturing of structures in the company's metal structure workshop.

Throughout the research, key areas for improvement were identified in the processes of the metal structure workshop, where the company faced production control issues, resulting in costs and time exceeding the estimates. The application of tools such as Value Stream Mapping (VSM), the five-minute test, the 5 Whys method, and the interrelationship diagram was proposed to diagnose the current situation and identify the root causes of the issues.

As part of the Lean Construction methodology, the Last Planner System (LPS) tool and continuous improvement techniques were implemented. These approaches helped reduce wait times, improved coordination among work teams, and optimized resource utilization. Specifically, the LPS tool was used to plan and monitor project progress, resulting in increased operational efficiency and a reduction in cost overruns.

The development of this project led to significant improvements in production control, including reductions in manufacturing times and an increased ability for the company to meet delivery deadlines. Furthermore, the implementation of dynamic "Tables and Graphs for Control and Progress" facilitated detailed tracking of each project, providing quicker and more accurate access to key information, thus optimizing decision-making.

Índice general

Resumen	I
Abstrac.....	II
Índice general.....	III
Índice de figuras	VIII
Índice de tablas	IX
Introducción	1
Planteamiento del problema.....	3
Hipótesis	4
Contenido de la tesis	4
Capítulo 1 Antecedentes.....	7
1.1 Estado del campo	7
1.1.1 Industria de la construcción	7
1.1.1.1 Partes involucradas en la industria de la construcción.....	8
1.1.1.2 Características del proceso de trabajo en la industria de la construcción.....	9
1.1.1.3 Problemas crónicos de la construcción	10
1.1.2 Revisión de artículos.....	11
1.1.3 Revisión de tesis	15
1.2 Generalidades de la empresa	18
1.2.1 Antecedentes de la empresa	19
1.2.2 Cultura organizacional.....	19
1.2.2.1 Misión	19
1.2.2.2 Visión	20
1.2.2.3 Valores	20
1.2.3 Localización.....	21
1.2.4 Organigrama	22
1.2.5 Distribución de planta.....	23
1.2.6 Descripción del proceso para el desarrollo de un proyecto de construcción	25

1.3	Objetivos	27
1.3.1	Objetivo General.....	28
1.3.2	Objetivos específicos	28
1.4	Justificación	28
1.5	Conclusión	29
Capítulo 2 Marco teórico		30
2.1	Filosofía <i>Lean</i>	30
2.1.1	Concepto de desperdicio.....	31
2.1.2	Concepto de valor	31
2.1.3	Principios <i>Lean</i>	32
2.1.4	Construcción con enfoque <i>Lean</i>	32
2.2	<i>Lean Construction</i>	33
2.2.1	Origen y Evolución de <i>Lean Construction</i>	33
2.2.2	Definiciones clave de <i>Lean Construction</i>	33
2.2.3	Los once principios heurísticos de <i>Lean Construcción</i>	34
2.2.4	Herramientas y Métodos de <i>Lean Construction</i>	35
2.2.5	Beneficios de implementar <i>Lean Construction</i>	36
2.2.6	Desafíos y Barreras de Implementación	36
2.3	Mapa de la cadena de valor/ <i>Value Stream Mapping</i> (MCV/ <i>VSM</i>).....	37
2.3.1	Objetivo del <i>VSM</i>	37
2.3.2	Pasos para la implementación del <i>VSM</i>	38
2.3.3	Pasos para recopilar información sobre el proceso.	38
2.3.4	Pasos para dibujar el <i>VSM</i>	39
2.3.5	Ventajas del <i>VSM</i>	45
2.4	Prueba de los cinco minutos.....	46
2.4.1	Tiempos característicos en actividades de construcción	46
2.4.2	Procedimiento para aplicar la prueba de los 5 minutos.....	46
2.5	System Last Planner (LPS)	49
2.5.1	¿Quién es el último planificador?	50
2.5.2	Conceptos “debe – se puede – se hará”.....	51
2.5.3	Planificación <i>pull</i> o <i>pull sesion</i>	52
2.5.4	Metodología.....	53
2.6	Tamaño de muestra	54
2.6.1	Conceptos fundamentales	55
2.6.2	Formulas para el cálculo del tamaño de muestra	55
2.6.3	Método de aplicación.....	¡Error! Marcador no definido.
2.7	Método por puntos	¡Error! Marcador no definido.
2.7.1	Metodología.....	60
2.7.2	Ventajas y Desventajas	62

2.8 5 Porqués.....	62
2.8.1 Metodología.....	63
2.8.2 Ventajas	64
2.8 Conclusión	65
Capítulo 3 Implementación de mejoras.....	66
3.1 Metodología	66
3.2 Obtener un panorama general de la empresa.....	67
3.3 Identificar problemáticas, inquietudes de mejora y áreas de oportunidad.....	68
3.4 Selección de área de oportunidad para el proyecto	69
3.5 Describir área de oportunidad seleccionada: taller de estructuras metálicas	72
3.5.1 Recepción de información y materiales	73
3.5.2 Habilitado de materiales	74
3.5.3 Armado de estructura.....	76
3.5.4 Soldadura de estructura.....	78
3.5.5 Verificación de estructuras para envío y envío de material para limpieza y pintura	81
3.6 Identificación de actividades productivas, contributivas y, no contributivas del taller de estructuras metálicas, con la prueba de los 5 minutos	81
3.6.1 Definir procesos para la prueba de los 5 minutos	82
3.6.2 Realizar prueba de los 5 minutos en habilitado.....	82
3.6.2.1 Actividades antes de la prueba	82
3.6.2.2 Actividades durante la prueba	86
3.6.2.3 Actividades después de la prueba	86
3.6.3 Realizar prueba de los 5 minutos en armado.....	88
3.6.3.1 Actividades antes de la prueba	89
3.6.3.2 Actividades durante la prueba	89
3.6.3.3 Actividades después de la prueba.....	90
3.6.4 Realizar prueba de los 5 minutos en soldadura	92
3.6.4.1 Actividades antes de la prueba	92
3.6.4.2 Actividades durante la prueba	93
3.6.4.3 Actividades después de la prueba	94
3.7 Realizar <i>VSM</i> del área en estudio.....	96
3.7.1 Identificación de familias de productos y sus procesos.....	97
3.7.2 Selección de la familia de productos.....	98
3.7.3 Selección de indicadores.....	100
3.7.4 Medición de indicadores.....	101
3.7.5 Elaboración del mapa del estado actual	107

3.8 Seleccionar proceso y problemas de mayor impacto	110
3.8.1 Identificación de problemas	110
3.8.2 Evaluar los problemas con base a su impacto en el control de la producción de la empresa	113
3.8.3 Selección de proceso y problemas de mayor impacto	115
3.9 Identificación de causas raíz a los problemas seleccionados en el proceso de armado	116
3.10 Identificar y seleccionar actividades de mejora	118
3.10.1 Identificar actividades de mejora	118
3.10.2 Seleccionar actividades de mejora	119
3.11 implementación de actividades de mejora.....	121
3.11.1 <i>System Last Planner (SLP)</i>	121
3.11.1.1 Identificación y selección de proyecto.....	122
3.11.1.2 Planificación a largo plazo	124
3.11.1.3 Planificación a mediano plazo	126
3.11.1.4 Planificación a corto plazo o planificación semanal	130
3.11.1.5 Análisis de la aplicación del <i>System Last Planner (SLP)</i>	132
3.11.2 Tablas y gráficas dinámicas para control y avance	136
3.11.2.1 Búsqueda y análisis de la información relacionada con los proyectos realizados por la empresa .	137
3.11.2.2 Creación de una base de datos en Excel, a partir de la revisión y selección de la información recopilada	139
3.11.2.3 Elaboración de tablas y gráficos dinámicos para el control y seguimiento del avance de los proyectos.	140
3.12 Conclusión	142
Capítulo 4 Resultados.....	143
4.1 Discusión.....	143
4.2 Productos académicos	144
Conclusiones y recomendaciones	146
Conclusiones	146
Recomendaciones.....	147
Fuentes de información	151
Anexo 1 Registros realizados en la prueba de los cinco minutos	154
Anexo 2 Datos de los formatos de la prueba de los cinco minutos registrados en una hoja de calculo.....	155

Anexo 3	Proyectos realizados en el periodo enero 2023 a enero 2024	158
Anexo 4	Tablas de la planificación semanal de la “fabricación de tambor mezclador” con la metodología <i>System Last Planner</i>	159
Anexo 5	Resultados de base de datos	164

Índice de figuras

Figura 1. 1 Macrolocalización de los talleres de estructuras de la empresa bajo estudio (Fuente: Google maps).	21
Figura 1. 2 Organigrama de la empresa constructora (Fuente: Empresa en estudio, 2023).	22
Figura 1. 3 Distribución de planta de la empresa en estudio (Fuente: elaboración propia).	24
Figura 1. 4 Distribución de planta del taller de limpieza mecánica y pintura (Fuente: Elaboración propia).	25
Figura 1. 5 Diagrama de flujo para el desarrollo del proceso de construcción de la empresa en estudio (Fuente: Elaboración propia).	26
Figura 2. 1 Pasos del 1-5 para dibujar el VSM (Adaptación de Lee & Snyder, 2007).	44
Figura 2. 2 Pasos del 6-10 para dibujar el VSM (Adaptación de Lee & Snyder, 2007).	44
Figura 2. 3 Pasos del 11-16 para dibujar el VSM (Adaptación de Lee & Snyder, 2007).	45
Figura 2. 4 Formato para la prueba de los cinco minutos (Fuente: Granados Morales, 2013).	47
Figura 3. 1 Diagrama de proceso de fabricación de estructura (Fuente: elaboración propia).	73
Figura 3. 2 Diagrama de proceso de habilitado (Fuente: elaboración propia).	75
Figura 3. 3 Diagrama de proceso de armado (Fuente: elaboración propia).	77
Figura 3. 4 Diagrama de soldadura de estructura (Fuente: elaboración propia).	78
Figura 3. 5 Formato de la prueba de los 5 minutos (Fuente: elaboración propia).	83
Figura 3. 6 Porcentajes de tiempo en el proceso de habilitado: a) Tiempo contributivo. b) Tiempo no contributivo. c) Porcentajes de tiempo en habilitado. d) Tiempo productivo (Fuente: elaboración propia).	87
Figura 3. 7 Porcentaje de tiempo en el proceso de armado: a) Tiempo contributivo. b) Tiempo no contributivo. c) Porcentajes de tiempo en armado. d) Tiempo productivo (Fuente: elaboración propia).	91
Figura 3. 8 Porcentaje de tiempo en el proceso de soldadura: a) Tiempo no contributivo. b) Tiempo contributivo. c) Porcentajes de tiempo en soldadura. d) Tiempo productivo (Fuente: elaboración propia).	95
Figura 3. 9 Diagrama de Pareto de familias de productos (Fuente: elaboración propia).	99
Figura 3. 10 Estaciones de trabajo para la realización del VSM actual en el proyecto con O.F. 2024-001 (Fuente: elaboración propia).	102
Figura 3. 11 VSM actual de la familia de productos seleccionada (Fuente: elaboración propia).	109
Figura 3. 12 Diagrama de interrelaciones de las problemáticas encontradas (Fuente: elaboración propia).	117
Figura 3. 13 Diagrama de estructura de desglose de trabajo o WBS (Fuente: elaboración propia).	125
Figura 3. 14 Planificación maestra (Fuente: elaboración propia).	125
Figura 3. 15 Planificación de fases mediante el diagrama de Gantt (Fuente: elaboración propia).	126
Figura 3. 16 Gráfico del porcentaje de actividades cumplidas del proyecto en cuestión (Fuente: elaboración propia).	133
Figura 3. 17 Gráfico de Pareto de las causas de cumplimiento (Fuente: elaboración propia).	134
Figura 3. 18 Búsqueda de causa raíz a la causa de no cumplimiento de la falta de materiales (Fuente: elaboración propia).	135
Figura 3. 19 búsqueda de causa raíz a la causa de no cumplimiento: "modificaciones en el diseño y falta de información (Fuente: elaboración propia).	136
Figura 3. 20 Archivos de bases de datos de la empresa, de diversos encargados (Fuente: elaboración propia)	138

Índice de tablas

Tabla 2. 1 Iconos de proceso (Fuente: Lee & Snyder, 2007).	40
Tabla 2. 2 Iconos de materiales (Fuente: Lee & Snyder, 2007).	40
Tabla 2. 3 Iconos de información (Fuente: Lee & Snyder, 2007).	41
Tabla 2. 4 Iconos varios del VSM (Fuente: Lee & Snyder, 2007).	42
Tabla 2. 5 Valores para el nivel de confianza Z más comunes (Fuente: Aguilar Barojas, 2005).;Error! Marcador no definido.	
Tabla 2. 6 Valores para precisiones más comunes (Adaptación de Aguilar Barojas, 2005). ;Error! Marcador no definido.	
Tabla 2. 7 Ejemplo de aplicación de los 5 porqués en una empresa manufacturera (Adaptación de Araújo, 2011).....	64
Tabla 3. 1 Problemáticas e inquietudes de mejora del área en estudio (Fuente: elaboración propia).	69
Tabla 3. 2 Diagrama de afinidad de las problemáticas encontradas versus áreas de oportunidad (Fuente: elaboración propia).	69
Tabla 3. 3 Ponderación de cada uno de los seis factores a evaluar (Fuente: elaboración propia).	71
Tabla 3. 4 Escala para evaluar cada factor según el área de oportunidad (Fuente: elaboración propia).	71
Tabla 3. 5 Método por puntos para selección de área de oportunidad (Fuente: elaboración propia).	71
Tabla 3. 6 Tiempo productivo (Fuente: Elaboración propia).	84
Tabla 3. 7 Tiempo contributivo (Fuente: Elaboración propia).	84
Tabla 3. 8 Tiempos no contributivos (Fuente: Elaboración propia).	84
Tabla 3. 9 Porcentajes de los TP, TC y TNC en el proceso de habilitado (Fuente: elaboración propia).	88
Tabla 3. 10 Porcentajes de los TP, TC y TNC en el proceso de armado (Fuente: elaboración propia).	92
Tabla 3. 11 Porcentajes de los TP, TC y TNC en el proceso de soldadura (Fuente: elaboración propia).	96
Tabla 3. 12 Muestra de proyectos realizados por la empresa de enero 2023 a enero 2024 (Fuente: elaboración propia). ..	97
Tabla 3. 13 Familias de productos en el proceso de producción (Fuente: elaboración propia).	98
Tabla 3. 14 Volumen de producción de las familias de productos (Fuente: elaboración propia).	99
Tabla 3. 15 Datos recopilados del Tiempo de ciclo por estación de trabajo (Fuente: elaboración propia).	103
Tabla 3. 16 Datos para el cálculo del TD (Fuente: elaboración propia).	103
Tabla 3. 17 Datos del % Uptime real promedio (Fuente: elaboración propia).	104
Tabla 3. 18 Tiempo de ciclo total del proyecto (Fuente: elaboración propia).	104
Tabla 3. 19 % de Tiempo de ciclo total trabajado (Fuente: elaboración propia).	105
Tabla 3. 20 Datos recopilados para realizar el VSM de la familia 1 por estaciones de trabajo (Fuente: elaboración propia).	;Error! Marcador no definido.
Tabla 3. 21 comparación del TCT vs %TCT trabajado (Fuente: elaboración propia).	;Error! Marcador no definido.
Tabla 3. 22 Problemas encontrados en el proceso de producción de la empresa en estudio (Fuente: elaboración propia). ..	111
Tabla 3. 23 Diagrama de afinidad de los problemas encontrados en el taller de estructuras metálicas (Fuente: elaboración propia).	112
Tabla 3. 24 Ponderación de cada uno de los cinco factores a evaluar (Fuente: elaboración propia).	114
Tabla 3. 25 Escala para evaluar cada problema según el área de oportunidad (Fuente: elaboración propia).	114

Tabla 3. 26 Evaluación para cada uno de los problemas por el método por puntos (Fuente: elaboración propia).	115
Tabla 3. 27 Orden de problemas por puntuación (Fuente: elaboración propia).....	116
Tabla 3. 28 Propuesta de actividades de mejora (Fuente: elaboración propia).....	118
Tabla 3. 29 Escala para evaluar cada actividad según su impacto (Fuente: elaboración propia).;Error! Marcador no definido.	
Tabla 3. 30 Evaluación para cada actividad de mejora por el método por puntos (Fuente: elaboración propia).	120
Tabla 3. 31 proyectos en puerta para la empresa (Fuente: elaboración propia).....	122
Tabla 3. 32 Escala para evaluar cada proyecto (Fuente: elaboración propia).....;Error! Marcador no definido.	
Tabla 3. 33 Evaluación para cada proyecto por el método por puntos (Fuente: elaboración propia).	123
Tabla 3. 34 Lookahead I (Fuente: elaboración propia).....	127
Tabla 3. 35 Lookahead II (Fuente: elaboración propia).	128
Tabla 3. 36 Formato de análisis de restricciones para Lookahead I (Fuente: elaboración propia).	129
Tabla 3. 37 Formato de análisis de restricciones para Lookahead II (Fuente: elaboración propia).	130
Tabla 3. 38 Planificación semana 1 (Fuente: elaboración propia).....	131
Tabla 3. 39 Planificación semana 2 (Fuente: elaboración propia).....	132
Tabla 3. 40 Porcentaje de PPC de cada semana (Fuente: elaboración propia).	133
Tabla 3. 41 Análisis de las causas de no cumplimiento (Fuente: elaboración propia).....	134
Tabla 3. 42 Ejemplo de información encontrada de los proyectos realizados (Fuente: elaboración propia)	138
Tabla 3. 43 Base de datos actualizada (Fuente: elaboración propia).	140
Tabla 3. 44 Tabla de búsqueda (Fuente: elaboración propia).....	141
Tabla 3. 45 Ejemplo de tablas y gráficos dinámicos (Fuente: elaboración propia)	142

Introducción

La industria de la construcción en México enfrenta el reto de optimizar sus procesos productivos para mantenerse competitiva en un mercado global cada vez más exigente. La creciente necesidad de mejorar la eficiencia en el uso de los recursos y reducir los costos operativos ha impulsado a las empresas a explorar nuevas metodologías que les permitan maximizar su productividad. En este contexto, la optimización de la producción se ha convertido en un elemento esencial para la sostenibilidad a largo plazo de estas empresas.

Una de las metodologías para la mejora de procesos es la filosofía *Lean Construction* (Construcción *Lean*), que busca reducir desperdicios y maximizar el valor de cada actividad productiva. Este enfoque, originado en la industria automotriz, ha sido adaptado con éxito a la construcción y sus principios están comenzando a ser aplicados en sectores como el metalmecánico, donde el control de tiempos y recursos es crucial.

El presente trabajo tiene como objetivo principal “Mejorar el control de la producción del taller de estructuras metálicas de una empresa constructora, mediante técnicas y herramientas de ingeniería industrial y *Lean Construction*” en una empresa metalmecánica ubicada en el estado de Veracruz. A través de la aplicación de técnicas como el mapeo del flujo de valor (*Value Stream Mapping*, VSM), el análisis de tiempos y el uso del *System Last Planner* (SLP), y las herramientas de los 5 minutos y método por puntos, se pretende identificar y eliminar los desperdicios en los procesos de producción, reduciendo los tiempos de espera, los retrabajos y otros factores que generan ineficiencias.

El trabajo se basó en la premisa de que, mediante la integración de las técnicas y herramientas seleccionadas, se logrará una mejora sustancial en el control de la producción del taller, lo cual mejorará el control de los tiempos y costos, y permitirá una mejor programación de los proyectos, contribuyendo al cumplimiento de los plazos establecidos y mejorando la competitividad de la empresa en el mercado.

Este trabajo aplicó los pasos para implementar la filosofía *Lean Construction*, evaluó los resultados mediante indicadores de desempeño y propuso acciones correctivas para fortalecer los procesos de producción. Además, se evaluó la viabilidad de implementar SLP y *Lean construction* en el sector de la construcción, considerando las características específicas de la empresa y el contexto industrial en el que opera.

Planteamiento del problema

La industria de la construcción en México desempeña un papel fundamental en la economía del país y las obras realizadas son un factor clave para impulsar la actividad productiva a nivel nacional.

El sector de la construcción ha desempeñado un papel clave en el desarrollo de México, actuando como un motor esencial del progreso del país. Entre sus contribuciones se encuentran proyectos de infraestructura como carreteras, sistemas de riego, redes de transmisión de energía, obras de edificación, destacando la vivienda de interés social, y la construcción de equipamiento urbano, que son considerados activos valiosos para la nación. En este sentido, el aumento en la cantidad de obras no solo impulsa la generación de riqueza, sino que también contribuye a la creación de empleo. Por estas razones, la construcción se establece como un sector de gran importancia social y económica en México (Poo Rubio, 2012).

La industria de la construcción, objeto de estudio de este proyecto, es una organización que surge en la década de los setenta, como consecuencia del gran desarrollo industrial y comercial que se dio en la zona de Orizaba y en la región.

La empresa constructora, especializada en proporcionar mano de obra de calidad para ofrecer servicios de construcción confiables, trabaja con ingenieros profesionales calificados y expertos para brindar servicios puntuales y confiables. Los servicios que ofrece incluyen la planeación de proyectos, el modelado arquitectónico y la administración de obras.

La empresa constructora se compone de dos instalaciones: taller de estructuras metálicas y el taller de limpieza mecánica y pintura; que para fines de este proyecto y con instrucciones de la gerencia, se enfocara en el taller de estructuras metálicas, debido a que no se tiene un buen control sobre la producción, lo cual ha generado que los materiales, tiempos y costos utilizados sean mayores a los que se planean inicialmente.

Con base en la sugerencia de la gerencia se analizó de manera rápida como se realizaba el control de la producción y se detectó que la empresa si realiza una planificación a inicio de cada proyecto y considera los recursos utilizar; sin embargo, los proyectos no terminan dentro del presupuesto y tiempo planeado, lo cual genera sobrecostos que son cubiertos por la empresa, lo cual reduce su margen de ganancia.

Con base en lo anterior, se propone la aplicación de técnicas y herramientas de ingeniería industrial y *Lean construction*, entre ellas la prueba de los cinco minutos, el VSM (*Value Stream Mapping*), *System Last Planner*, y las 5's, para detectar, eliminar o disminuir las causas que afectan el control de la producción, con el fin de disminuir el consumo de recursos al mejorar el control en la producción.

Hipótesis

Con la realización del presente proyecto se espera obtener resultados positivos para la empresa constructora., el cual se validará con el siguiente supuesto:

Los materiales y tiempos utilizados en el proceso de producción disminuirán en el taller de estructuras metálicas, de una empresa constructora. Mediante la implementación de herramientas y técnicas de la ingeniería industrial y *Lean Construction*.

Contenido de la tesis

Este trabajo de tesis se organiza de la siguiente forma:

1. Capítulo uno: información general de la empresa.

Este capítulo ofrece una descripción detallada de la empresa objeto de estudio. Se incluyen sus generalidades, misión, visión, valores y cultura organizacional. Además, realiza una descripción de la estructura organizacional, los procesos clave que lleva a cabo la empresa y la distribución física de su planta. Este capítulo también aborda la importancia de mejorar el control de la producción como factor estratégico para la empresa.

2. Capítulo dos: herramientas y técnicas de ingeniería industrial.

En este capítulo se describe el marco teórico que sustenta el proyecto. Se explica el uso de diversas herramientas y técnicas de la filosofía *Lean Construction* y de ingeniería industrial, como el *Value Stream Mapping* (VSM), la prueba de los cinco minutos, *System Lart Planner* (SLP), método por puntos, y los 5 porqués. Cada técnica y herramienta se explica en términos de su propósito, sus aplicaciones y cómo contribuye a la mejora de los procesos en la industria de la construcción.

3. Capítulo tres: aplicación de las herramientas y técnicas.

Este capítulo describe la aplicación práctica de las herramientas y técnicas mencionadas en el capítulo anterior. Se detallan los pasos seguidos desde la identificación de las áreas de oportunidad hasta la implementación de las mejoras en el taller de estructuras metálicas. Se abordan el diagnóstico inicial, la selección de áreas críticas y la implementación de actividades de mejora, destacando los resultados obtenidos.

4. Capítulo cuatro: resultados obtenidos.

En este capítulo se presentan los resultados de la aplicación de las mejoras en el taller de estructuras metálicas. Se muestran los productos académicos generados durante el desarrollo del proyecto: un informe técnico y dos ponencias. Este capítulo ofrece una evaluación completa de la eficacia de las técnicas empleadas y de su impacto en la empresa.

5. Conclusiones y recomendaciones.

En este capítulo se presentan las conclusiones generales del proyecto, destacando las mejoras logradas en los tiempos de respuesta y en la eficiencia de los procesos de la empresa. Además, se ofrecen recomendaciones para la sostenibilidad de los resultados a largo plazo, que sugieren medidas adicionales que la empresa podría implementar para mantener la mejora continua. También se proponen líneas de investigación futuras para seguir mejorando el control de la producción.

6. Fuentes de información.

Este apartado incluye todas las fuentes de información utilizadas durante el desarrollo del proyecto. Se mencionan los libros, artículos, tesis e investigaciones previas, así

como otros recursos que sirvieron de base para la formulación de las propuestas y la implementación de las herramientas de ingeniería industrial.

Capítulo 1

Antecedentes

En el presente capítulo se presenta el estado del campo relacionado con la problemática planteada, las generalidades de la industria de la construcción y algunas de sus características más importantes. Se realiza, además, una descripción de la empresa constructora con el fin de conocer sus antecedentes, ubicación, política de calidad, misión, visión, valores y proceso de desarrollo de un proyecto de construcción.

1.1 Estado del campo

Con base en la problemática presentada sobre el escaso control de la producción, se realizó una investigación del estado del campo con la finalidad de conocer, analizar y describir las características generales de la industria de la construcción, así como sus problemas crónicos. Al final de esta sección, se describen algunas aplicaciones de técnicas y herramientas de la ingeniería industrial en distintos casos relacionados con el control de la producción, a partir de la lectura de artículos y tesis de interés.

1.1.1 Industria de la construcción

La industria de la construcción desempeña un papel fundamental en el desarrollo y progreso de la nación. Los productos generados por este sector impactan directamente en el funcionamiento y el crecimiento de la sociedad, siendo utilizados ampliamente por todos sus miembros. Sin embargo, una característica distintiva de esta industria es su comportamiento productivo fluctuante. Esto significa que es muy sensible a las variaciones en los ciclos económicos, mostrando un crecimiento lento pero firme en los períodos de expansión, mientras que en tiempos de crisis o recesión se ve afectada con mayor rapidez y de forma más profunda que otros sectores (Peralta & Serpell, 1991).

De acuerdo con Peralta & Serpell (1991), Desde una perspectiva económica, se pueden identificar tres principales áreas en el sector de la construcción:

- Proyectos de edificación: construcciones residenciales, como viviendas y edificios de departamentos, así como proyectos no residenciales o de uso público, tales como hospitales, oficinas, escuelas y comercios, entre otros.
- Proyectos civiles: obras de ingeniería como puertos, infraestructuras marítimas (incluidas plataformas y tuberías submarinas), así como puentes, carreteras, caminos, túneles, presas y aeropuertos.
- Proyectos industriales: instalación y montaje de equipos en plantas procesadoras industriales.

1.1.1.1 Partes involucradas en la industria de la construcción

El sector de la construcción abarca diversos grupos de personas que participan activamente en el desarrollo integral de cada proyecto. De acuerdo con Oglesby et al. (1989), Se identifican los siguientes grupos y las funciones que desempeñan en un proyecto de construcción:

- Dueños o mandantes. Son responsables de idear y ajustar los proyectos de construcción. Habitualmente, se encargan de elegir y asignar los lugares o terrenos, definir los requisitos de diseño, proporcionar los recursos financieros del proyecto, gestionar los permisos requeridos y supervisar los contratos.
- Diseñadores (contratistas y subcontratistas). Normalmente, son ingenieros, arquitectos y otros profesionales con las competencias necesarias para convertir las ideas de los propietarios en directrices claras y precisas para la construcción mediante la elaboración de planos y especificaciones.
- Constructores. Este grupo está compuesto por ingenieros y constructores que poseen las competencias necesarias para manejar los recursos requeridos, con el propósito de convertir las pautas proporcionadas por los diseñadores y el propietario (como planos, especificaciones y otros documentos contractuales) en edificaciones, instalaciones y obras en general.
- Fuerza de trabajo. Está conformada principalmente por obreros y capataces. A través de sus destrezas y esfuerzos, ya sea de manera individual o en grupos liderados por capataces, los trabajadores hacen realidad lo establecido en los planos y

especificaciones. Siguiendo métodos creados por ellos o por los administradores, son los encargados de integrar los recursos materiales, la información, la maquinaria, las herramientas y el espacio de trabajo que se les asignan durante las distintas fases del proyecto.

1.1.1.2 Características del proceso de trabajo en la industria de la construcción

Se ha llegado a un consenso generalizado de que todos los proyectos de construcción, independientemente de su tipo, se desarrollan en fases; en otras palabras, el proceso de trabajo, o las tareas y operaciones a realizar, sigue una secuencia temporal comúnmente establecida. Para Oglesby et al. (1989), a continuación, se describen las etapas fundamentales que se repiten en la ejecución de cualquier proyecto, ya sea de construcción, infraestructura civil o de índole industrial:

- Etapa 1: Definición de un proyecto de construcción.
 - 1.1 Existencia de una necesidad.
 - 1.2 Toma de conciencia de la necesidad.
 - 1.3 Determinación de objetivos (sociales, económicos, funcionales, de lucro, etc.).
 - 1.4 Definición y evaluación de alternativas de solución (estudio de factibilidad, etc.).
- Etapa 2: Diseño.
 - 2.1 Estudio del terreno donde se construirá la obra (análisis de condiciones generales, topografía, geología, hidrología, etc.).
 - 2.2 Diseño arquitectónico.
 - 2.3 Diseño estructural.
 - 2.4 Diseño de instalaciones.
- Etapa 3: Construcción.
 - 3.1 Obtención de permisos.
 - 3.2 Redacción de bases administrativas (fijación de plazos, costos y relación entre dueños y empresa contratista).
 - 3.3 Planificación y promoción de la obra (fijación de plazos parciales y totales, asignación de recursos, etc.).

- 3.4 Elaboración y presupuestos de obra.
- 3.5 Determinación de la metodología de trabajo.
- 3.6 Ejecución de la obra.
- Etapa 4: Puesta en marcha.
 - 4.1 Puesta en funcionamiento de la obra.
 - 4.2 controles para determinar la calidad de la construcción.
 - 4.3 Recepción (provisionales, parciales o totales).

1.1.1.3 Problemas crónicos de la construcción

Los problemas recurrentes que el sector de la construcción ha enfrentado históricamente son bien conocidos. No obstante, esta industria suele mostrarse resistente a adoptar el sistema *Lean* y otras nuevas formas de gestión provenientes de sectores como el automotriz (Pons & Rubio 2019).

De acuerdo con Pons & Rubio (2019), el sector de la construcción ha señalado múltiples razones que hacen urgente un cambio de paradigma en esta industria. Aunque este proceso ya ha comenzado, aún no se ha consolidado a nivel global ni se ha implementado en todas las empresas ni en todos los países.

Para Pons & Rubio (2019), algunos de los problemas crónicos de la construcción que provocan incertidumbre y variabilidad, siendo estos dos de los mayores peligros en cualquier inversión, fueron agrupados en una lista con los 10 más recurrentes como se muestra a continuación:

1. Uso de métodos obsoletos para la planificación, el control y la gestión de la producción.
2. Escaso rigor en el cumplimiento de las medidas de seguridad.
3. Proyectos incompletos, poco detallados y escasamente analizados.
4. Controles de calidad ineficientes que no garantizan la entrega de calidad a la primera.
5. Incumplimiento sistemático de los plazos de entrega.
6. Mano de obra poco cualificada, en comparación con la industria manufacturera.
7. Falta de coordinación y de transparencia entre las partes interesadas.

8. Escasos o nulos controles de la productividad.
9. Sobrecostes.
10. Gran cantidad de retrabajos.

Para Pons & Rubio (2019), a lo largo de la historia, el enfoque tradicional en la producción, control y gestión de proyectos en diseño y construcción no ha sido capaz de solucionar de manera significativa los problemas recurrentes del sector. A pesar de los avances tecnológicos y el uso de software que han facilitado el trabajo en la industria de arquitectura, ingeniería y construcción (AIC) en las últimas décadas, su impacto en la mejora de la productividad y en la eliminación de desperdicios típicos ha sido limitado. En términos de sistema productivo, la industria AIC aún se encuentra en las primeras etapas de la transición de la producción en masa a la producción ajustada (*Lean Production*).

1.1.2 Revisión de artículos

En esta sección se describen algunas investigaciones publicadas en artículos científicos relacionadas con la mejora de la producción y el uso de herramientas de ingeniería industrial, con el objetivo de contar con un panorama más amplio frente a la problemática planteada.

- Gonzáles (2010), en su artículo “Diagnóstico sobre la Planeación y Control de Proyectos en las PYMES de Construcción” realizó una investigación preliminar sobre el análisis de la situación actual en la planificación y control de proyectos dentro de la industria de la construcción en la Península de Yucatán, México.

La metodología utilizada fue un estudio del tipo exploratorio que consistió en:

1. Obtención de datos primarios.
2. Revisión de la literatura sobre planificación y control de proyectos; desarrollo del instrumento; realización de la prueba piloto; detección de errores y deficiencias del instrumento, así como de las modificaciones correspondientes; aplicación del instrumento final; y análisis e interpretación de los resultados.
3. Recopilación de datos mediante una encuesta dividida en dos partes, una dedicada a la planeación y otra dedicada al control.

4. Análisis de datos y resultados.
5. Comparación de la literatura revisada de la planeación y control de la producción con lo obtenido.
6. Elaboración de propuesta general.

Los resultados obtenidos muestran que, de las PYMES analizadas, la mayoría indica que realiza planeación para llevar a cabo sus proyectos, aunque más de una quinta parte no lleva a cabo esta actividad administrativa, además, ninguna manifestó obtener diagramas de ejecución a partir de procedimientos como CPM, PDM, PERT, entre otros, lo cual provoca que estas PYMES enfrenten dificultades para terminar a tiempo sus proyectos.

Este artículo es de gran relevancia para el desarrollo de la presente tesis, ya que sugiere una metodología para mejorar el control de la producción, que en este caso son los proyectos de construcción.

- Botero Botero & Álvarez Villa (2004), en su artículo “Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda (*Lean construction* como estrategia de mejoramiento)”, abordaron un programa para mejorar la gestión de la construcción, logrando aumentar la competitividad en un grupo de empresas de la ciudad de Medellín.

La metodología utilizada para mejorar la gestión de la construcción fue la siguiente:

1. Revisión de literatura.
2. Medición y evaluación de indicadores.
3. Identificación de factores que inciden en la productividad.
4. Realización de acciones correctivas orientadas a la solución de los problemas identificados.
5. Elaboración de una guía de sugerencias para mejorar la productividad en la construcción.

Los resultados obtenidos describen factores que afectan la productividad en la construcción: errores en los diseños y falta de especificaciones, falta de supervisión de los trabajadores, alta rotación de estos, condiciones de seguridad deficientes, entre otros; acciones correctivas siguiendo el ciclo de mejoramiento de la productividad y la

propuesta de seis como guía para el mejoramiento de la productividad en la construcción.

- La lectura de Abad (2005) en su artículo: “*La empresa constructora y sus operaciones bajo un enfoque de sistemas*”; describe un análisis del funcionamiento de la empresa utilizando la teoría de los sistemas de producción, dándole un enfoque a la construcción.

La metodología utilizada, para mostrar que la teoría de los sistemas de producción es posible aplicarla a la construcción, fue la siguiente:

1. Revisión de literatura.
2. Identificación de las funciones principales de la administración.
3. Análisis de las actividades de producción de la empresa constructora según la teoría de las operaciones.
4. Definición de las características de un gerente de operaciones.
5. Caracterización de la gerencia de operaciones en una empresa constructora.
6. Medición el desempeño de las operaciones.
7. Evaluación de resultados.

La presente investigación no presenta resultados, debido a que fue un trabajo de investigación; sin embargo, el autor concluyó que se deben ejercer tres funciones principales de la administración de empresas constructoras: operaciones, finanzas y mercadotecnia.

La lectura de este artículo es de interés porque se analizó el funcionamiento de una empresa constructora, considerando cada una de las actividades según la teoría de las operaciones y teniendo en cuenta el enfoque sistémico. Además, se describieron las características que un gerente de operaciones en una empresa constructora debe alcanzar, lo cual proporciona conocimientos y un enfoque diferente al tradicional, siendo un medio de referencia para el desarrollo de la presente tesis.

- Mannan (2014), en su artículo: “*Application and análisis of Last Planner System in the construction Industry*”; describió y analizó la técnica del sistema ultimo planificador. La metodología para la implementación del *System last Planner* consistió en las siguientes fases:

1. Fase 1. *Work Shopy* observación de las prácticas actuales.

2. Fase 2. Planear semanalmente, planificación a corto plazo.
3. Fase 3. Planear actividades que se hacen pronto.
4. Fase 4. Planear semanalmente, planeación a mediano plazo.
5. Fase 5. Planear mirando hacia adelante, planificación a largo plazo.
6. Fase 6. Evaluación de la implementación del sistema.

Los resultados de su caso práctico mostraron ahorros importantes en cinco bloques o proyectos, en los que el tiempo y los costos fueron inferiores a los programados en el presupuesto.

Los buenos resultados mostrados de la implantación del sistema ultimo planificador representa una motivación para el desarrollo de la presente tesis, la cual se complementa con los objetivos propuestos.

- Rojas López et al., (2017) en su artículo de revisión: “*Lean construction bajo el pensamiento Lean*”; proponen la aplicación del pensamiento *Lean* en procesos del sector de la construcción, con el objetivo de mejorar la productividad en dicho sector. La metodología propuesta para conseguir la correcta aplicación del pensamiento *Lean* en el sector de la construcción es la siguiente:

1. Establecer el valor de cada proyecto desde el punto de vista del cliente.
2. Analizar el flujo de valor.
3. Llevar a cabo acciones para asegurar que el flujo de valor se desarrolle de manera continua y sin interrupciones.
4. Permitir que el cliente se involucre durante el proceso de producción; de esta manera, se eliminan desperdicios al construir solo lo necesario cuando es pertinente para el cliente.
5. Buscar permanentemente la perfección.

La presente investigación no presenta resultados, ya que se trató de un trabajo de investigación; sin embargo, los autores concluyen que, en la actualidad, las empresas siguen utilizando sistemas convencionales para planear y ejecutar obras del sector de la construcción, lo cual difiere del pensamiento *Lean*.

La lectura de este artículo es de interés debido a que se realizó un análisis de la filosofía *Lean* en la construcción, que transforma el enfoque tradicional de trabajo a través de la adopción de sistemas de gestión innovadores, enfocados en el análisis de pérdidas, y la

organización de las actividades con el objetivo de mejorar la productividad en la construcción, se establece un marco esencial para alcanzar los objetivos de la presente tesis.

1.1.3 Revisión de tesis

En esta sección se describen algunas investigaciones de tesis relacionados con la mejora de la producción y el uso de herramientas de ingeniería industrial, con el objetivo de tener un panorama más amplio frente a la problemática planteada.

- Arellano Hernández (2017) realizó su tesis, titulada “*Identificación y reducción de desperdicios operativos en una empresa constructora, utilizando simulación y lean construction*”, con la finalidad de reducir desperdicios operativos en los procesos de fabricación de una empresa constructora. Esta tesis muestra la aplicación de diversas técnicas y herramientas, para el diagnóstico y mejora sustancial de la empresa.

La metodología utilizada se muestra a continuación:

1. Obtención de un panorama general de la empresa.
2. Identificación de problemas e inquietudes de mejora.
3. Evaluación de la situación actual.
4. Análisis del rendimiento actual de los procesos, centrado en las áreas de oportunidad identificadas.
5. Definición y selección de desperdicios a reducir.
6. Definición de las mejoras a aplicar en las áreas con oportunidades de mejora.
7. Ejecución de las mejoras.
8. Comprobación de los resultados a través de un análisis estadístico.
9. Verificación de los resultados obtenidos.

La aplicación de la metodología, inspirada en la filosofía *Lean Construction*, permitió reducir el retrabajo en un 2.33% en el proceso de armado y en un 1.5% en el proceso de pintura.

La lectura de esta tesis fue de gran importancia debido a que para la solución de la problemática se emplearon distintas herramientas y técnicas: la prueba de los cinco minutos, mapa de la cadena de valor (*VSM*), simulación, estandarización del trabajo, y

el *Systematic Layout Planning (SLP)*; las cuales servirán como referencia para la realización de la presente tesis.

- Koskela (1992), en su reporte técnico: “*Application of the New Production Philosophy to Construction*”, mostró el desarrollo de una investigación para la industria de la construcción bajo un enfoque de la filosofía *lean*.

La metodología de este trabajo consistió, principalmente, en los siguientes pasos:

1. Revisar literatura.
2. Analizar conceptos y síntesis, de un estudio para cuatro compañías de construcción.
3. Determinar las principales funciones administrativas de las empresas constructoras.
4. Determinar los tipos de operación y sus implicaciones.
5. Determinar el nivel de implementación de la nueva filosofía.

El autor concluyó que la industria de la construcción debería verse como un proceso de flujo que consista en actividades de conversión y desechos, y no sólo de procesos de conversión, como lo demostró previamente la industria manufacturera. Por ello, es necesaria la adopción de la nueva filosofía de producción.

Este reporte es de interés debido a que maneja la aplicación de la filosofía de la producción en el ámbito de la construcción; además, se desarrolló un conjunto de principios para el diseño y mejora de procesos de flujo, los cuales pueden funcionar como una guía para su implementación, lo cual es referente para lograr los objetivos del presente proyecto.

- Ramales Morales (2020), realizó su tesis: “*Eficiencia de la metodología last planner como herramienta de planeación en edificaciones*”; con el objetivo de realizar un estudio sobre el proceso de planeación en la construcción de edificaciones, comparando el método tradicional, que predomina en México, con la metodología de planeación *Last Planner System*.

La metodología de este trabajo consistió, principalmente, de los siguientes pasos:

1. Capacitación del personal en metodologías de gestión de proyectos de construcción.
2. Revisión y análisis del diseño actual.

3. Revisión y evaluación de la programación y estimación de costos.
4. Evaluación de la ingeniería.
5. Representación del plan de obra mediante un diagrama esquemático.
6. Planificación intermedia para controlar el flujo de trabajo.
7. Coordinación de oficios.
8. Control de costos y administración del programa.

Los resultados obtenidos, de la implementación del *System Last Planner*, fueron la anticipación a eventualidades que generan restricciones, la reducción de plazos contractuales de ejecución de proyectos, la reducción de coste de proyectos y el aumento de la productividad de los recursos, debido a que se limitó la utilización de éstos.

La presente tesis es de interés porque aplica el *System Last Planner* y el CPM-PERT con el fin de reducir los costos y aumentar la productividad en una empresa constructora, lo cual constituye un referente para lograr los objetivos del presente proyecto.

- Figueroa Rosas (2012) realizó su tesis: “Control de la gestión para la constructora *Jonac* contratistas enfocado en el control de costos e implementación de un software de gestión”; Con el objetivo de evaluar la efectividad de las prácticas organizacionales implementadas por la empresa constructora *Jonac Contratistas* en relación con el control de gestión y costos, se llevó a cabo la implementación de un sistema de control que facilitó el registro y análisis de los costos incurridos por la empresa, con el objetivo de disminuirlos sin alterar el proceso de construcción.

La metodología de este trabajo consistió, principalmente, en los siguientes pasos:

1. Recopilación de información.
2. Resumen y análisis de los datos recolectados.
3. Evaluación de las prácticas organizacionales.
4. Comparación y elección de sistemas para el control de costos.
5. Implementación del software y valoración de la experiencia durante el proceso de implementación

El autor concluyó que es de gran importancia llevar a cabo prácticas de investigación y análisis de costos. Con su aplicación, la empresa adquirió mucha más competitividad.

Esto se debe a que todas las acciones tomadas en relación con la gestión de recursos humanos, materiales, equipos y gastos generales estuvieron fundamentadas en una investigación.

La lectura de esta tesis fue de gran interés debido a que se generaron recomendaciones con la finalidad de reducir el costo de obras y al mismo tiempo llevar un control ordenado de éstos, además de la utilización de un software llamado *BrickControl* que permitió controlar los costos de la empresa lo cual es referente para el objetivo general del presente proyecto.

1.2 Generalidades de la empresa

La empresa constructora en estudio se enfoca en ofrecer mano de obra calificada para garantizar servicios de construcción confiables. Está compuesta por ingenieros profesionales de la construcción calificados y expertos para brindar servicios puntuales y confiables. Los servicios que ofrece incluyen la planeación de proyectos, el modelado arquitectónico y la administración de obras.

La empresa, además, se especializa en la construcción de estructuras de acero y ha desarrollado proyectos de gran importancia, incluso para el extranjero, puesto que considera que existen ciertas ventajas al trabajar con estructuras de acero, especialmente para grandes alturas.

La empresa resuelve con éxito los problemas estructurales de soporte de peso mediante pilares de dimensiones reducidas, con un alto nivel de fluencia frente a la tracción, y evita movimientos debidos a la acción del viento. Por lo anterior, la empresa es una organización que impulsa la tecnología de punta en sus productos y/o servicios industriales, y abre una vanguardia en su ramo con los servicios más modernos y eficientes, en apoyo al desarrollo y a la productividad.

1.2.1 Antecedentes de la empresa

La empresa comenzó su operación en el corredor industrial Veracruz-Puebla, y actualmente tiene presencia en todo el país, realizando exportaciones ocasionales a Norteamérica y Centroamérica.

La empresa, de ingeniería y construcción, inició actividades en la región centro, del estado de Veracruz, en el mes de abril de 1974 con diferentes razones sociales, que, por motivo de confidencialidad, no pueden mencionarse.

En respuesta a las necesidades de la organización y con el propósito de formar un grupo, se fundó en febrero de 1977 una empresa encargada de representar y supervisar a la corporación, lo que dio lugar a la empresa objeto de este estudio.

La empresa, en sus casi 50 años de experiencia, se ha especializado en desarrollar proyectos de “edificación no residencial” y “trabajos especiales y servicios relacionados con la construcción”.

1.2.2 Cultura organizacional

La cultura organizacional de una empresa constituye el corazón de ésta, por esta razón, en la presente sección se dan a conocer la visión, misión y valores, ya que permite conocer la estructura y los objetivos de la organización, así como su cultura, su papel en la sociedad y su forma de respuesta ante cualquier decisión o problema.

1.2.2.1 Misión

La misión de la empresa desempeña un papel crucial, ya que guía las decisiones y acciones de todos los integrantes en beneficio de la empresa. En otras palabras, facilita la definición de objetivos y la formulación de estrategias, promoviendo así la coherencia y organización:

“Agregar el máximo valor posible a nuestros recursos, satisfaciendo las necesidades de nuestros clientes de manera sustentable y dentro de los más estrictos estándares de calidad y seguridad” (Empresa en estudio, 2013).

1.2.2.2 Visión

La visión de la empresa es de gran importancia, ya que con ella se determina la dirección de la empresa, teniendo en cuenta las metas a mediano y largo plazo. Es por lo que la visión de la empresa, que plantea su meta más ambiciosa, se encuentra expresada en las siguientes líneas:

“Alcanzar el nivel de empresa de clase mundial a través de la mejora continua, la innovación, la estandarización de procesos, la capacitación y el desarrollo”
(Empresa en estudio, 2013).

1.2.2.3 Valores

La empresa, en estudio que reconoce la importancia de su personal en el cumplimiento de los objetivos de la empresa, por lo que son necesarios ciertos valores; estos contribuyen a establecer de manera precisa el comportamiento ético tanto de la empresa como de sus empleados, que son fundamento para la toma de decisiones. Los principales valores, que son base y soporte moral de la empresa, son los siguientes:

- Honestidad. Realizar las actividades de manera transparente, sin afán de engaño o trampa.
- Respeto. Escuchar y respetar las opiniones de los demás. Siempre es importante mejorar los procesos de la empresa. La cordialidad mutua debe predominar para mejorar la motivación, el ambiente de trabajo y el desempeño.
- Trabajo en equipo. Trabajar por un objetivo compartido y ayuda mutua para la solución de problemas.
- Innovación. Favorecer un clima que impulse el desarrollo y asimilación de técnicas y productos innovadores para crear un ambiente de mejora constante.
- Puntualidad. Favorecer el carácter, el orden y la eficacia de cada uno de los integrantes de la empresa.

- Servicio e igualdad de género, raza o religión. Garantizar la igualdad de derechos y libertades del trabajador, independientemente de sexo, raza, actitud a la religión, convicciones, así como algunas otras circunstancias.

1.2.3 Localización

La empresa constructora se compone de dos instalaciones:

- Taller de estructuras metálicas.
- Taller de limpieza mecánica y pintura.

Los dos talleres la empresa constructora se encuentran ubicado en la zona centro del estado de Veracruz, como se muestra en la Figura 1. 1.

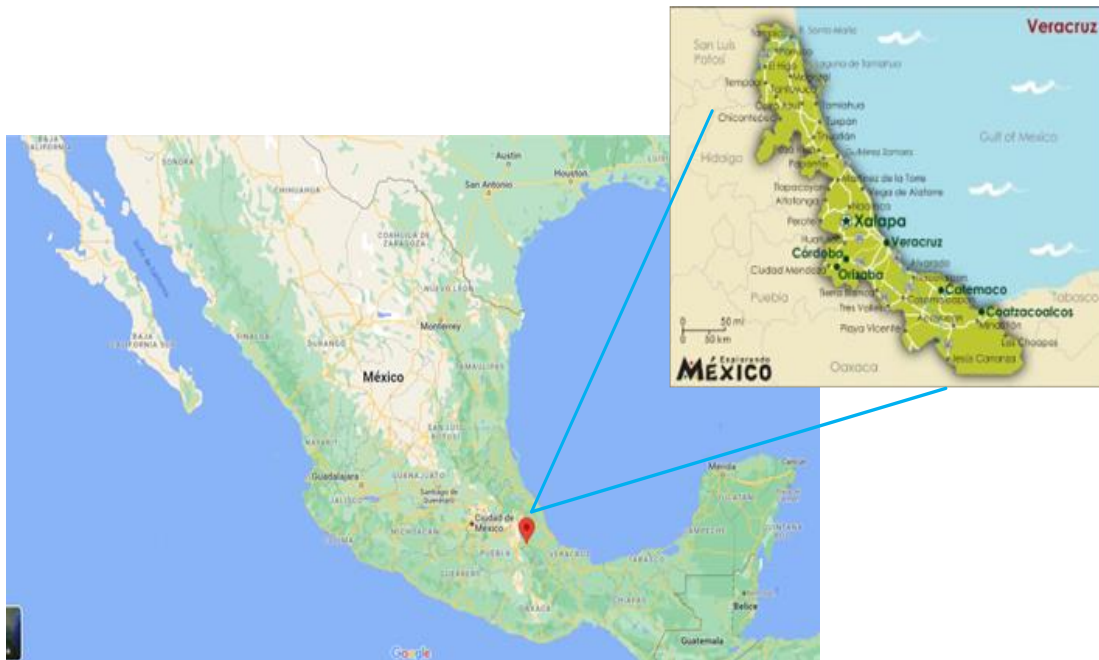


Figura 1. 1 Macrolocalización de los talleres de estructuras de la empresa bajo estudio (Fuente: Google maps).

1.2.4 Organigrama

Las organizaciones son estructuras complejas que requieren una jerarquía que defina las responsabilidades de cada puesto en la empresa. La correcta organización de los roles depende de un organigrama bien diseñado, que define las jerarquías de autoridad y responsabilidad, así como los canales de comunicación y supervisión que enlazan las distintas áreas de la estructura organizativa (Palomino Portilla, 2005).

En la Figura 1. 2 se muestra la estructura del organigrama de la empresa constructora en estudio. En donde se aprecia que, en la parte más alta, se encuentra la dirección general, que toma las decisiones estratégicas en beneficio de la empresa; sin embargo, este rinde cuentas al consejo de administración.

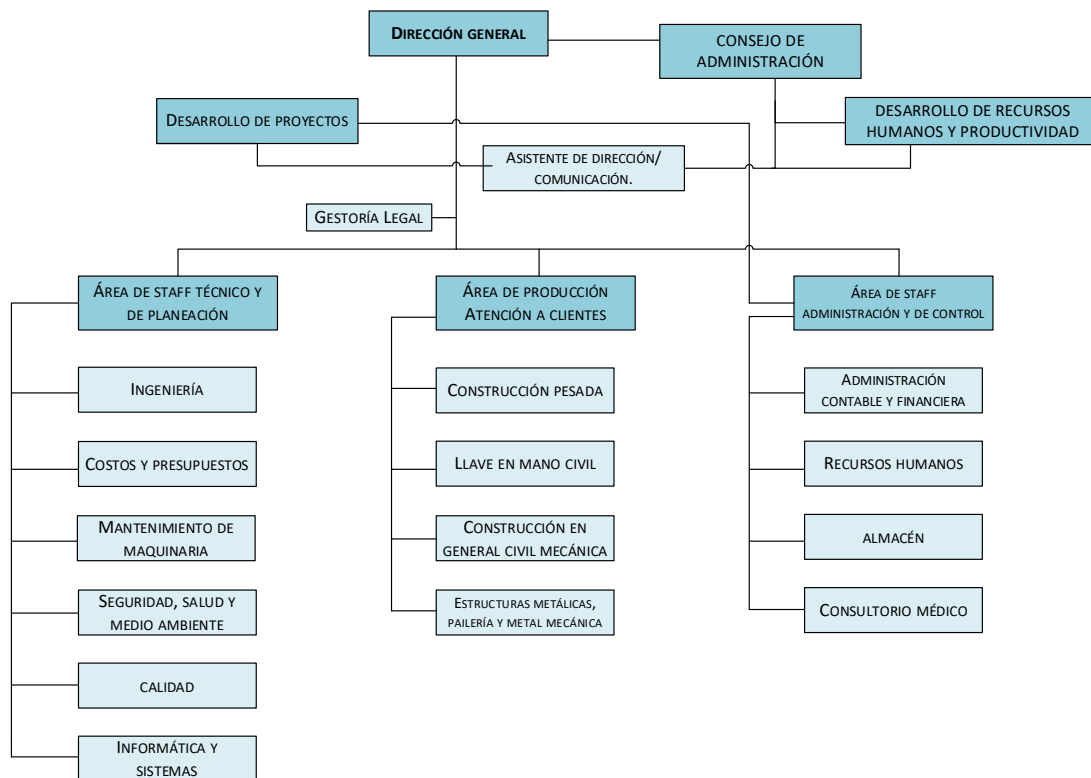


Figura 1. 2 Organigrama de la empresa constructora (Fuente: Empresa en estudio, 2023).

1.2.5 Distribución de planta

La distribución del taller de estructuras metálicas (Figura 1. 3), de la empresa en estudio, se encuentra conformada por dos talleres, el taller de estructuras metálicas y el taller de limpieza mecánica y pintura.

El taller de estructuras metálicas cuenta con las siguientes áreas:

- Área de producción:

Dentro de ésta se encuentra el lugar principal de trabajo, donde se elaboran las estructuras y se desarrollará el presente trabajo de tesis; los espacios que la conforman son los siguientes:

- Nave 1: cuenta con una grúa mecánica de altura, dos pantógrafos de corte, cizalla, dobladora, cuatro roladoras y un área para cinco parejas de pailería. Las operaciones realizadas son corte, doblado, rolado y armado.
- Nave 2: cuenta con una grúa mecánica de altura, dos pantógrafos de corte, cizalla, dobladora, cuatro roladoras y un área para cinco parejas de pailería. Las operaciones realizadas son corte, doblado, rolado y armado.
- Nave 3: cuenta con una grúa mecánica de altura, un equipo de soldadura por arco sumergido y seis estaciones de soldadura. Las operaciones realizadas son la soldadura y el enderezado de estructura.
- Nave 4: dispone de dos áreas para merma, dos estaciones de grúas, una estación para el doblado de varillas y cinco estaciones de trabajo. Las operaciones realizadas son, armado, soldadura y doblado de varillas.
- Área 51: cuenta con una estación de soldadura a altas temperaturas y cuatro estaciones de trabajo, las operaciones realizadas son armado, soldadura y pulido.
- Área de torno: se utiliza para el mecanizado de piezas de la estructura en construcción.
- Áreas de carga y descarga: se utilizan para la carga y descarga de materia prima y/o de producto terminado.
- Almacén: para llevar el control de la materia prima, insumos y herramientas.

- Central eléctrica: espacio donde se encuentra el cuarto de control eléctrico de la empresa.
- Áreas comunes: son espacios destinados a la operativa.
- Área administrativa: dentro de ésta se localizan los siguientes espacios:
 - Oficinas de cabos.
 - Sala de reuniones.
 - Departamento de control de calidad.
 - Departamento de producción.
 - Departamento de costos.
 - Dirección.
 - Departamento de diseño.
 - Departamento de administrativo.

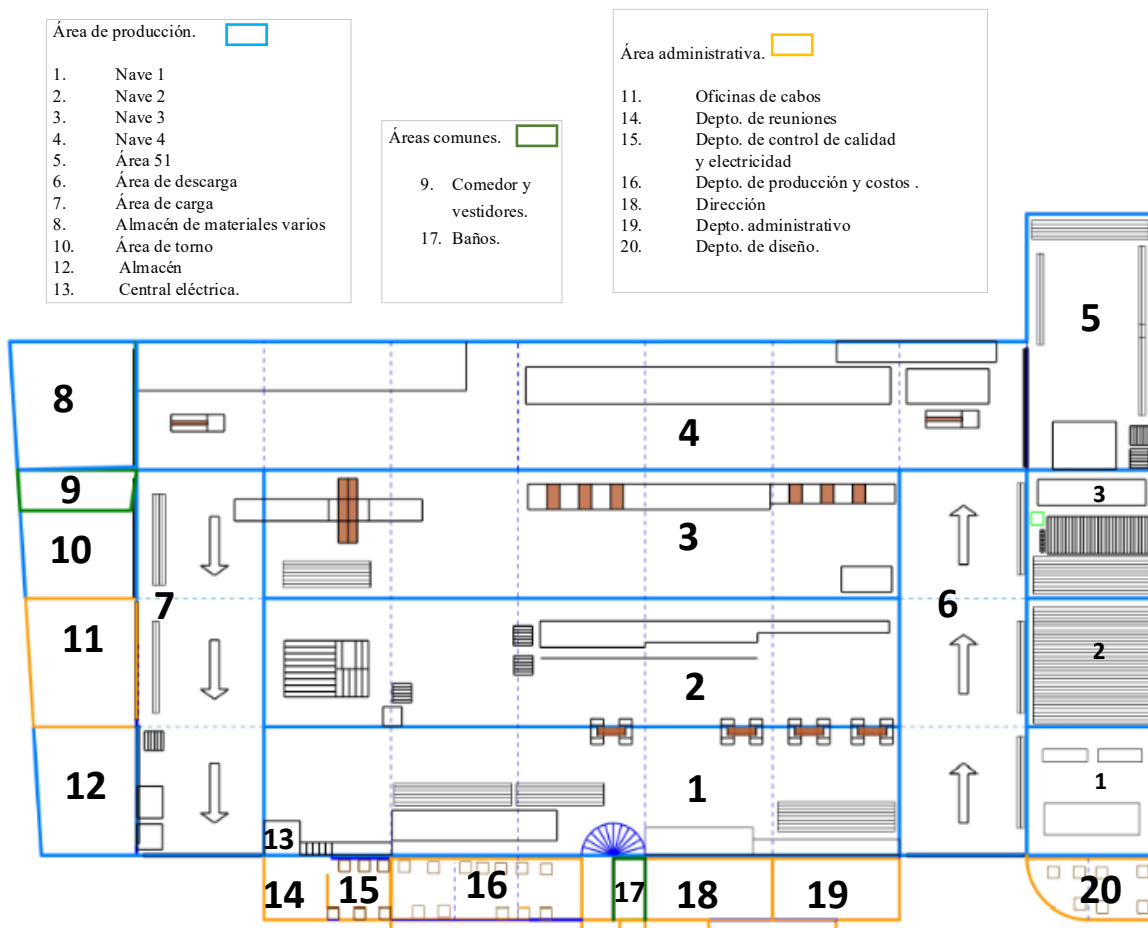


Figura 1. 3 Distribución de planta de la empresa en estudio (Fuente: elaboración propia).

El taller de limpieza mecánica y pintura (Figura 1. 4) cuenta con los siguientes espacios: áreas:

- Limpieza mecánica. Lugar donde se realiza la limpieza de piezas o estructuras mediante la remoción mecánica de imperfecciones.
- *Sandblasting*. Espacio donde se lleva a cabo la limpieza de piezas o estructuras mediante la acción de arena a presión.
- Almacén de arena. Espacio destinado a almacenar la arena de sílica empleada en el *Sandblasting*.
- Pintura y secado. Espacio destinado al pintado y al secado de estructuras.
- Embarque. Espacio destinado a la preparación y al envío de las estructuras al lugar de trabajo.

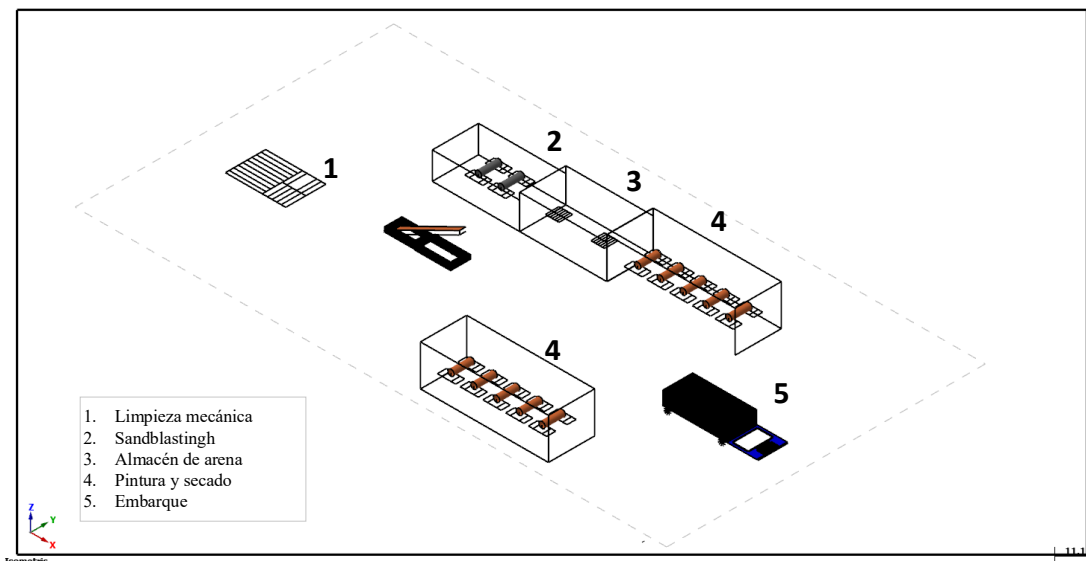


Figura 1. 4 Distribución de planta del taller de limpieza mecánica y pintura (Fuente: Elaboración propia).

1.2.6 Descripción del proceso para el desarrollo de un proyecto de construcción

El desarrollo de cada proyecto de construcción de la empresa en estudio es único; es decir, cada proyecto es diferente en cuanto a material, tiempo, costos, diseño, etc.; sin embargo, hay un consenso generalizado de que todos los proyectos, sin importar su tipo, en la empresa

se desarrollan en fases, es decir, el proceso de trabajo a realizar sigue una secuencia a lo largo del tiempo.

Por lo anterior, para el desarrollo de un proyecto de construcción por parte de la empresa, es necesario iniciar con la identificación de la necesidad del cliente y, antes de ser entregado, aplicar las cuatro etapas generales que se muestran en la Figura 1. 5 y que se describen a continuación:

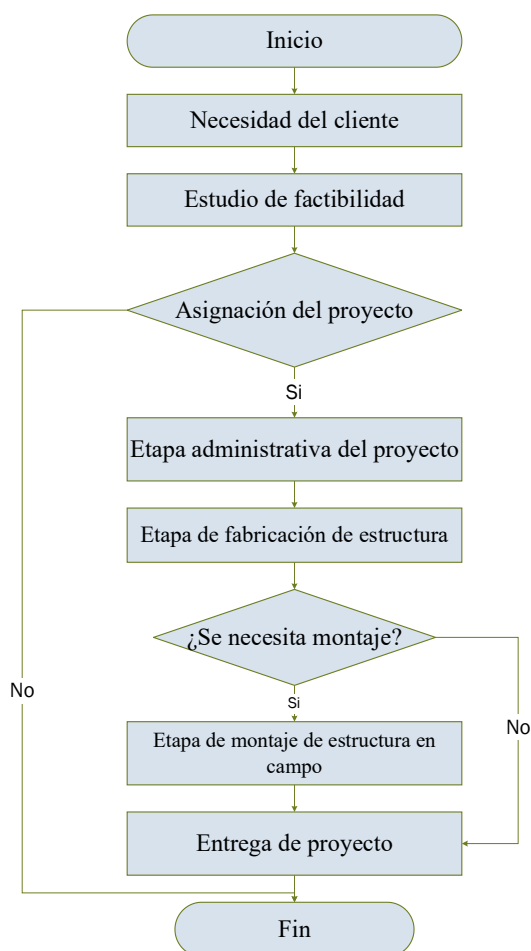


Figura 1. 5 Diagrama de flujo para el desarrollo del proceso de construcción de la empresa en estudio (Fuente: Elaboración propia).

1. Estudio de factibilidad. En esta etapa, se definen y evalúan las alternativas de solución para satisfacer la necesidad del cliente. Se realizan las actividades necesarias para mostrar al cliente que la empresa es apta para realizar el proyecto,

cumpliendo todas sus especificaciones y necesidades a un costo admisible. En esta fase intervienen los departamentos de presupuestos e ingeniería.

2. Administración del proyecto. Una vez aprobado el proyecto, se realizan actividades de modelado, cuantificación y compra de materiales. En esta fase intervienen los departamentos a cargo de las gerencias de ingeniería, costos y diseño.
3. Fabricación de estructuras. Se realizan actividades para la fabricación de las estructuras o piezas necesarias del proyecto en cuestión, ya sea para su entrega o montaje. En esta fase intervienen los departamentos a cargo de las gerencias de producción, calidad e ingeniería.
4. Montaje. Esta etapa depende del cliente; en caso de requerirse, se realiza el montaje de las estructuras en obra. Si no es necesario, se entrega la pieza solicitada. En esta fase, intervienen los departamentos a cargo de las gerencias de ingeniería y producción.

Una vez realizada la etapa cuatro, una persona del departamento de ingeniería y del departamento de calidad, serán los responsables de supervisar e inspeccionar el proceso de montaje, además de determinar la calidad de la construcción. También serán ellos quienes liberen el proyecto cuando este cumpla con todos los requerimientos establecidos en los planos.

Cabe mencionar que, para el desarrollo de un proyecto, no siempre se siguen las cuatro etapas descritas previamente, pudiendo omitirse alguna o algunas de ellas, sin dejar de lado el orden lógico en que se llevan a cabo.

1.3 Objetivos

En esta sección se presentan el objetivo general y los objetivos específicos, con los que se pretende resolver la problemática expuesta en la presente propuesta de tesis.

1.3.1 Objetivo General

El siguiente objetivo general establece la idea central y propósito de la presente propuesta de tesis.

Mejorar el control de la producción del taller de estructuras metálicas de una empresa constructora, mediante técnicas y herramientas de ingeniería industrial y Lean Construction.

1.3.2 Objetivos específicos

En este apartado se describen los objetivos específicos del proyecto definidos con base en la metodología propuesta. El cumplimiento de cada uno de los siguientes objetivos específicos permitirá lograr el objetivo general del proyecto:

- Conocer los procesos actuales del taller de estructuras de la empresa.
- Definir herramientas y técnicas de la ingeniería industrial para disminuir materiales y tiempos.
- Generar un plan de mejora para controlar la producción mediante la metodología *lean construction*.
- Generar un plan de seguimiento a la mejora propuesta.

1.4 Justificación

La empresa constructora, que incursiona dentro de la industria de la construcción, desea disminuir sus desperdicios notables: esperas por falta de material, esperas por mala planeación, retrabajo por errores de diseño, esperas por falta de herramienta y equipo; debido a que le generan un impacto negativo, el cual es visible en los sobre costos que absorbe la empresa al final del proyecto.

Con base en el impacto negativo, de la empresa Grupo Constructo, surge la idea de realizar un proyecto de tesis el cual buscará áreas de oportunidad que permitan mejorar el control de

la producción, además de disminuir tiempos y costos de los proyectos que se llevan a cabo en la empresa bajo estudio.

De acuerdo con la investigación del estado del campo, realizada sobre la aplicación de metodologías, técnicas y herramientas de la ingeniería industrial, enfocadas en el control de la producción, disminución de materiales, tiempos y costos utilizados o aumento de la productividad en el área de la construcción, se observó que para eliminar la preocupación de la empresa constructora es necesario la aplicación de diversas herramientas de ingeniería industrial.

Con base en el estudio del campo, se observa que la realización del presente proyecto puede reducir los tiempos de fabricación, aumentar la capacidad para dar respuesta a los pedidos de los clientes y aprovechar de manera adecuada los recursos de la empresa, lo cual se espera se vea reflejado en el aumento de las utilidades y a su vez en el aumento en la satisfacción de los clientes. Adicionalmente, el desarrollo del presente proyecto permitirá al tesista emplear los conocimientos adquiridos durante su estancia de estudios de maestría en el Instituto Tecnológico de Orizaba, para la solución de la problemática planteada.

1.5 Conclusión

En este capítulo se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva de antecedentes relacionados con el presente proyecto de tesis, ofreciendo un panorama integral de diversos proyectos en la industria de la construcción y las distintas metodologías empleadas para abordar las problemáticas encontradas. Además, se describieron las características relevantes de la empresa en estudio, las cuales fueron fundamentales para definir el objetivo principal del proyecto de tesis

Capítulo 2

Marco teórico

En el presente capítulo se describirán las herramientas y técnicas que se esperan aplicar para el cumplimiento del objetivo general de este proyecto de tesis. Como primera instancia se habla de la filosofía de gestión de la producción en el sector de la construcción llamada *Lean Construction*, la cual es base para el desarrollo del presente proyecto, posteriormente se mencionan las herramientas de diagnóstico para obtener el panorama actual del área en estudio, entre las cuales se encuentran el mapa de la cadena de valor (*VSM*) y la prueba de los cinco minutos. Posteriormente se describen aquellas herramientas que tienen como finalidad la reducción o eliminación del desperdicio, entre ellas se encuentra la herramienta *System Last Planner*.

2.1 Filosofía *Lean*

De acuerdo con Botero Botero (2021), la filosofía *Lean* tiene su origen en el *Toyota Production System* (TPS), creado en Japón tras el fin de la Segunda Guerra Mundial. Taiichi Ohno y Shigeo Shingo diseñaron un sistema de producción que buscaba hacer más con menos: menos tiempo, menos inventario, menos espacio, menos costos y menos errores. Dicho sistema se basa en dos pilares:

- *Just-in-Time* (JIT): producir lo necesario en el momento exacto y en la cantidad requerida.
- *Jidoka*: detener el proceso en cuanto se detecta una anomalía para evitar defectos y garantizar la calidad desde la fuente.

Con base en los dos principios, *Lean* es una filosofía de gestión de la producción que tiene como objetivo generar el máximo valor para el cliente utilizando la menor cantidad posible de recursos. Se basa en la identificación y eliminación sistemática de desperdicios, en la producción ajustada a la demanda real (*Just-in-Time*) y en el control de calidad en el origen (*Jidoka*). Más que un conjunto de herramientas constituye una forma de pensar y mejorar

continuamente los procesos, involucrando a todas las personas de la organización para lograr flujos de trabajo eficientes, reducir la variabilidad y optimizar los resultados.

2.1.1 Concepto de desperdicio

Botero Botero, (2021) menciona que en la filosofía *Lean* todo aquello que consume recursos, sin agregar valor, es considerado desperdicio (muda). Taiichi Ohno identificó siete categorías clásicas de desperdicio:

1. Sobreproducción.
2. Tiempos de espera.
3. Transportes innecesarios.
4. Procesos innecesarios o sobreprocesamiento.
5. Inventarios excesivos.
6. Movimientos innecesarios.
7. Defectos en productos o procesos

Socconini (2008) y P. Womack et al. (2017) agregaron un octavo desperdicio, relacionado con la subutilización de las capacidades humanas, es decir, el no aprovechar el conocimiento y creatividad de los trabajadores. Por lo tanto, eliminar estos desperdicios es fundamental para alcanzar flujos de trabajo más eficientes, mejorar la productividad y reducir costos.

2.1.2 Concepto de valor

De acuerdo con Botero Botero (2021) el valor en *Lean* se define desde la perspectiva del cliente. No basta con producir un bien de calidad, sino que debe cumplir las necesidades y expectativas de quien lo recibe.

Koskela (1992) señala que el valor es un concepto multidimensional y dinámico, que incluye aspectos económicos, funcionales, sociales y ambientales. No es estático, pues depende del contexto, del conocimiento del cliente y de sus propios valores personales y organizacionales

En construcción, el valor implica entregar proyectos que no solamente satisfacen los requisitos técnicos, sino que también generan beneficios a los usuarios, la sociedad y el entorno.

2.1.3 Principios *Lean*

P. Womack et al., (1996) establecieron cinco principios fundamentales del pensamiento *Lean*:

1. Definir el valor: identificar lo que es valioso desde la perspectiva del cliente.
2. Mapeo de la cadena de valor: identificar todas las actividades y eliminar aquellas que no generen valor.
3. Establecer un flujo continuo: reestructurar los procesos para garantizar que las actividades transcurran sin interrupciones.
4. Implementar un sistema *Pull*: producir únicamente en respuesta a la demanda real.
5. Perseguir la perfección: promover la mejora continua (*Kaizen*) en todos los niveles

Estos principios no se aplican de manera aislada, sino que forman un sistema integrado que guía la toma de decisiones en toda la organización.

2.1.4 Construcción con enfoque *Lean*

Para Botero Botero (2021) la construcción tradicional suele presentar altos niveles de desperdicio, baja productividad, retrasos y sobrecostos. Aplicar el enfoque *Lean* a la construcción significa repensar los proyectos como sistemas de producción, enfocándose en:

- Eliminar actividades que no agregan valor (esperas, reprocesos, transporte excesivo).
- Planificar de manera colaborativa, integrando a diseñadores, contratistas y proveedores.
- Asegurar el flujo de trabajo, evitando interrupciones mediante herramientas como el *Last Planner System*.
- Estandarizar y medir el desempeño, generando aprendizaje para proyectos futuros.

2.2 *Lean Construction*

En este apartado se aborda la filosofía *Lean Construction*, una filosofía que optimiza procesos y reduce desperdicios en la construcción. Se tratará su origen, evolución y el impacto del trabajo, con base en lo descrito por Koskela (1992), que inició este movimiento global. También se explorarán sus definiciones clave, principios heurísticos, herramientas de implementación, beneficios y los desafíos que enfrenta su adopción.

2.2.1 Origen y Evolución de *Lean Construction*

Para Botero Botero (2021), el concepto de *Lean Construction* (LC) nace a partir de la propuesta de Koskela (1992) en su trabajo *Application of the New Production Philosophy to Construction*, en la que propuso que la construcción debía dejar de verse como una simple secuencia de conversiones (transformaciones de insumos) y adoptar un enfoque de flujo, identificando y eliminando todas las actividades que no agregan valor, como esperas, transportes innecesarios o reprocesos

En 1993 se conformó el *International Group for Lean Construction* (IGLC), que organiza conferencias anuales para difundir investigación y casos de aplicación a nivel mundial. En 1997, Glenn Ballard y Greg Howell fundaron el *Lean Construction Institute* (LCI) en EE. UU., organización sin ánimo de lucro que actúa como plataforma para promover la filosofía *Lean* en el sector.

En la actualidad, *Lean Construction* se considera un movimiento global, con capítulos en países de América, Europa, Asia y Oceanía. Ha evolucionado de un enfoque centrado en herramientas (*Kanban*, *JIT*, *Last Planner*) hacia un marco integral de gestión de proyectos, que combina filosofía, métodos y cultura organizacional

2.2.2 Definiciones clave de *Lean Construction*

De acuerdo con Botero Botero (2021), diferentes autores y organizaciones han ofrecido definiciones complementarias de LC, lo que evidencia su carácter multidimensional:

- Koskela (2002): *“Una forma de diseñar sistemas de producción para minimizar el desperdicio de materiales, tiempo y esfuerzo, y generar la máxima cantidad de valor posible.”*
- Howell (1999): *“Una nueva forma de gestión de la producción en construcción que persigue objetivos claros de entrega, diseño concurrente y control proactivo de los procesos.”*
- *Lean Construction Institute (2013): “Una cultura de respeto y mejora continua orientada a crear más valor para el cliente, a la vez que se identifican y eliminan los desperdicios.”*
- Cano Moya (2019): *“Un sistema de gestión de la producción de proyectos de construcción que garantiza el cumplimiento de la oferta de valor mediante principios Lean, cultura sin pérdidas, enfoque en el cliente y uso de innovación tecnológica.”*

Estas definiciones destacan tres elementos comunes:

- Maximizar el valor para el cliente.
- Reducir pérdidas en todas las fases del proyecto.
- Crear un sistema colaborativo y confiable de diseño y construcción.

2.2.3 Los once principios heurísticos de *Lean Construcción*

Aunque los cinco principios de Womack y Jones sirven como base para la filosofía *Lean Construction*, Koskela (1992) amplió el marco para adaptarlo a la realidad de los proyectos constructivos, proponiendo 11 principios fundamentales:

1. Disminuir las actividades que no agregan valor.
2. Aumentar el valor para el cliente mediante una comprensión detallada de sus necesidades.
3. Reducir la variabilidad en los procesos (plazos, calidad, costos).
4. Reducir los tiempos de ciclo para acelerar la entrega.
5. Simplificar mediante la reducción del número de pasos y transferencias.

6. Incrementar la transparencia del proceso, para que los problemas sean visibles y se actúe rápidamente.
7. Centrarse en el control del proceso en lugar de limitarse a inspeccionar resultados.
8. Equilibrar la carga de trabajo para evitar cuellos de botella.
9. Introducir mejoras continuas en todas las fases.
10. Maximizar el uso de las habilidades y el conocimiento de las personas.
11. Formar un sistema de producción como red, con colaboración entre todos los participantes

Estos principios llevan a un cambio de paradigma: de una visión fragmentada del proyecto a un sistema integral, donde todos los actores trabajan hacia un objetivo común.

2.2.4 Herramientas y Métodos de *Lean Construction*

Para Botero Botero, (2021) *Lean Construction* no es solamente teoría; se apoya en herramientas prácticas que facilitan su implementación. Algunas de las más relevantes son las siguientes:

- *Last Planner System* (LPS): herramienta de planificación colaborativa que mejora la confiabilidad de los cronogramas mediante compromisos de corto plazo.
- *Kanban*: sistema visual para controlar el flujo de materiales e información.
- *Pull Planning*: planificación “jalonada” según la demanda real de las siguientes actividades.
- *5S*: metodología para ordenar, clasificar y mantener el lugar de trabajo eficiente.
- *Value Stream Mapping*: mapeo de la cadena de valor para identificar desperdicios.
- *Integrated Project Delivery* (IPD): modelo contractual que fomenta la colaboración temprana y la distribución equitativa de riesgos y beneficios.
- *A3 Problem Solving*: enfoque estructurado para resolver problemas y documentar las lecciones aprendidas.

2.2.5 Beneficios de implementar *Lean Construction*

De acuerdo con Botero Botero (2021) numerosas investigaciones y casos de estudio reportan beneficios medibles al adoptar *Lean Construction*, los cuales se mencionan a continuación:

- Productividad: aumenta entre 20 % y 30 % al reducir los tiempos de espera, los transportes y los retrabajos.
- Costos: disminuyen gracias al uso más eficiente de materiales y recursos.
- Plazos: se logra una mayor confiabilidad y cumplimiento de cronogramas.
- Calidad: mejora al detectar y corregir problemas en su origen.
- Seguridad: entornos de trabajo más ordenados y controlados reducen los incidentes.
- Satisfacción del cliente: se entrega el proyecto con los atributos esperados y menor variabilidad.
- Sostenibilidad: menos desperdicio implica una menor huella ambiental y un mejor uso de los recursos.

Estos beneficios convierten a *Lean Construction* en una estrategia competitiva para las empresas del sector.

2.2.6 Desafíos y Barreras de Implementación

A pesar de sus beneficios, *Lean Construction* enfrenta diversos desafíos en su adopción:

- Resistencia cultural al cambio por parte de empresas y trabajadores.
- Falta de capacitación en principios y herramientas *Lean*.
- Dificultades contractuales, ya que los modelos tradicionales no fomentan colaboración.
- Escasa medición de desempeño en algunas organizaciones, lo que dificulta evaluar mejoras.

Superar estas barreras requiere liderazgo comprometido, programas de formación, ajustes contractuales (por ejemplo, contratos colaborativos tipo IPD) y una cultura de aprendizaje organizacional continuo (Botero Botero, 2021).

2.3 Mapa de la cadena de valor/*Value Stream Mapping* (MCV/*VSM*)

De acuerdo con Alarcón Cárdenas & Pellicer Armiñana (2009), el mapeo de la cadena de valor es una herramienta gráfica que ayuda a visualizar el estado presente y proyectado del sistema de producción, permitiendo a los usuarios identificar de manera más clara las actividades que generan desperdicio y deben ser eliminadas. Esta herramienta, tanto poderosa como fácil de usar, ayuda a identificar y distinguir con claridad el valor real del producto, destacándose por su simplicidad y eficacia.

Para Latorre Uriz (2015), el *VSM* es una herramienta altamente eficaz que facilita la identificación del flujo en la cadena de valor; además, es crucial en el análisis de los procesos dentro de cualquier organización, con el propósito de identificar las actividades que puedan ofrecer una ventaja competitiva a la empresa. La cadena de valor abarca todas las acciones necesarias para:

- Transformar la materia prima en el producto final que se entrega al cliente.
- Organizar el flujo de trabajo desde la idea inicial hasta el lanzamiento del producto.

2.3.1 Objetivo del *VSM*

Para Pellicer Armiñana (2009) el propósito principal al crear el mapa de la cadena de valor es identificar el desperdicio mediante su análisis. De acuerdo con lo propuesto por Ohno, responsable del sistema de producción de Toyota, el desperdicio se clasifica de la siguiente forma:

1. Sobreproducción.
2. Espera.
3. Inventario.
4. Transporte.

5. Sobreproceso.
6. Movimientos.
7. Defectos.

2.3.2 Pasos para la implementación del *VSM*

Pellicer Armiñana (2009) menciona el siguiente procedimiento para implementar el mapeo de la cadena de valor:

1. Elección de un área clave o de una familia de productos.
2. Preparar el mapa del estado actual.
3. Revisar documentación existente.
4. Identificar procesos principales.
5. Identificar los datos faltantes que deben ser recolectados.
6. Recolectar los datos.
7. Analizar el mapa del estado actual.
8. Mapa del estado futuro.
9. Calcular el *Takt Time*.
10. Definir el tiempo esperado.
11. Implementar herramientas de mejora.

2.3.3 Pasos para recopilar información sobre el proceso.

Latorre Uriz (2015), propone los siguientes pasos para recopilar información de un proceso determinado, mediante el *VSM*:

1. Seleccionar el área y definir los límites, especificando claramente el alcance.
2. Establecer la provisión.
3. Evaluar el flujo de materiales e identificar la información necesaria para su correcta circulación.
4. Examinar el proceso aguas arriba, donde se registran los tiempos de las actividades.
5. Dibujar una caja de procesos para cada proceso, donde figurarán los siguientes datos:

- Tiempo de ciclo. Tiempo total necesario para finalizar el proceso, que no solo incluye el tiempo de ejecución, sino también el destinado a la redacción de documentos, las esperas, el transporte, el almacenamiento, la revisión de tareas y posibles repeticiones de trabajo.
 - Valor agregado. Tiempo invertido en los procesos que transforman el producto de tal forma que el cliente lo considera valioso y está dispuesto a pagar por él.
 - Tiempo de cambio de modelo. Tiempo que transcurre desde la salida de la última pieza aceptable del lote anterior hasta la salida de la primera pieza aceptable del siguiente lote, tras un cambio.
 - Número de personas requeridas. Es fundamental determinar cuántas personas son necesarias para formar un equipo básico y una plantilla adecuada a las necesidades de la empresa antes de iniciar un proceso de reclutamiento efectivo.
 - Tiempo de trabajo disponible del personal. Equivale a las horas en que el empleado debe estar disponible en su puesto de trabajo.
 - Plazos de espera. Son los tiempos dedicados a la espera, al tiempo ocioso, a los reprocesos, a los descansos, etc.
6. Especificar el inventario de cada proceso mediante el símbolo de un triángulo.
 7. Representar el flujo de información con líneas rectas si es manual y con un símbolo de rayo si es electrónica.
 8. Colocar una línea de tiempo debajo de los procesos, indicando los tiempos correspondientes a cada uno.

2.3.4 Pasos para dibujar el VSM

Para empezar a dibujar el VSM es necesario conocer los iconos para su correcta elaboración, ya que cada icono tiene un significado y aplicación diferente (García Cantó & Amador Gandía, 2019).

De acuerdo con Lee & Snyder (2007), estos iconos se clasifican en cuatro grupos principales:

1. Iconos de proceso (Tabla 2. 1). Estos iconos representan equipamiento, grupos de trabajo, departamentos o proveedores y clientes. El tiempo dedicado a estas áreas suele ser un valor añadido
2. Iconos de materiales *VSM* (Tabla 2. 2). Estos iconos representan material almacenado o transportado Estas actividades rara vez añaden valor.
3. Iconos de información (Tabla 2. 3). Estos iconos representan el flujo de información, señales en el proceso, o bien, etiquetas.
4. Iconos varios del *VSM* (Tabla 2. 4). Estos iconos no están estandarizados y, por lo tanto, están sujetos a algunas variaciones.

Tabla 2. 1 Iconos de proceso (Fuente: Lee & Snyder, 2007).

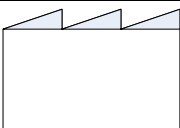
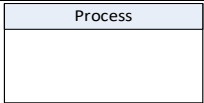
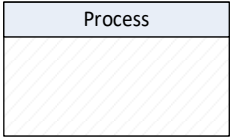
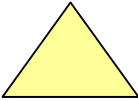
Ícono	Concepto	Descripción
	Cliente/Proveedor	Este ícono simboliza al proveedor cuando está ubicado en la parte superior izquierda. Cuando se coloca en la parte superior derecha, representa al cliente.
	Proceso dedicado	Este icono representa un proceso, operación, máquina o departamento a través del cual fluye el material.
	Proceso compartido	Se trata de una operación de proceso, departamento o centro de trabajo que es compartida por otras familias dentro del flujo de valor.
	Caja de información	Se coloca debajo de los procesos que contienen la información importante requerida para analizar el sistema.

Tabla 2. 2 Iconos de materiales (Fuente: Lee & Snyder, 2007).

Ícono	Concepto	Descripción
	Cliente/Proveedor	Este icono representa el inventario entre dos procesos; de la misma forma, puede representar el almacenamiento de materia prima o de productos terminados.
	Flecha de traslado	Este ícono simboliza el traslado de materias primas desde los proveedores hasta los muelles de recepción en la fábrica, o el desplazamiento de productos terminados desde los muelles de embarque hasta los clientes.

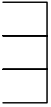
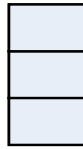
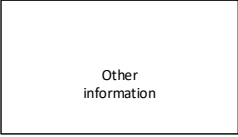
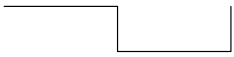
Ícono	Concepto	Descripción
	Flecha de empuje	Este icono representa el "empuje de los materiales de un proceso al siguiente". <i>Push</i> significa que un proceso produce algo independientemente de las necesidades inmediatas de un proceso posterior.
	Supermercado	Este icono representa un "supermercado" de inventario (punto de stock <i>Kanban</i>). Al igual que en un supermercado, hay un inventario limitado y uno o más clientes intermedios acuden para recoger lo que necesitan.
	<i>Pull</i> material.	Los supermercados se conectan a los procesos posteriores mediante este ícono " <i>Pull</i> ", que indica la eliminación física.
	Carril <i>FIFO</i>	Inventario de primero en entrar, primero en salir. Utilice este icono cuando los procesos estén conectados a un sistema <i>FIFO</i> que limite la entrada. Un ejemplo es un transportador de rodillos de acumulación. Registre el máximo inventario posible.
	<i>Stock</i> de seguridad	Este ícono simboliza una 'cobertura' de inventario (o stock de seguridad) frente a situaciones como el tiempo de inactividad, ayudando a proteger el sistema ante fluctuaciones inesperadas en los pedidos de los clientes o fallas del sistema.
	Envío Externo	Envíos desde proveedores o a clientes mediante transporte externo. Utilice el icono correspondiente para envíos ferroviarios o aéreos.

Tabla 2. 3 Iconos de información (Fuente: Lee & Snyder, 2007).

Ícono	Concepto	Descripción
	Control de producción	Este cuadro representa un departamento, una persona u una operación central de programación o de control de producción.
	Información manual	Una flecha recta y delgada muestra el flujo general de información proveniente de memorandos, informes o conversaciones. La frecuencia y otras notas pueden ser relevantes.
	Información electrónica	Esta flecha oscilante representa el flujo electrónico, como el intercambio electrónico de datos (<i>EDI</i>),

Ícono	Concepto	Descripción
		Internet, correo electrónico, intranets, <i>LANS</i> (red de área local) o <i>WANS</i> (red de área amplia). Indica la frecuencia de intercambio, el tipo de medio utilizado, p. ej. Fax, teléfono, etc. y el tipo de datos.

Tabla 2. 4 Iconos varios del VSM (Fuente: Lee & Snyder, 2007).

Ícono	Concepto	Descripción
	Explosiones <i>kaizen</i>	Estos íconos se utilizan para resaltar la necesidad de mejora y los talleres de planificación <i>Kaizen</i> en procesos clave, esenciales para lograr el VSM del estado futuro.
	Operador	Este ícono simboliza un operador. Un número junto a él indica cuántos operadores se requieren para procesar la familia VSM en una estación de trabajo específica.
	Otro	Otra información útil o potencialmente útil.
	Línea de tiempo	La línea de tiempo presenta los períodos con valor agregado (tiempo de ciclo) y aquellos sin valor agregado (tiempos de espera). Este dato se utiliza para calcular tanto el tiempo de entrega como el tiempo total del ciclo.

Los iconos de las tablas 2.1 a 2.4 no están estandarizados y, por lo tanto, pueden presentar variaciones. Cuando los equipos de mapeo no pueden encontrar un ícono adecuado para una situación determinada, es perfectamente aceptable inventar uno nuevo. Sólo debe asegurarse de que todos los involucrados comprendan lo que representa el nuevo ícono. Además, el mapeo del flujo de valor es una técnica difusa en muchas áreas. A menudo es más útil innovar en la construcción de un mapa que adherirse a una forma ideal.

De acuerdo con Lee & Snyder (2007), para realizar el *VSM*, se utilizan los siguientes pasos:

1. Dibujar iconos de control de producción, proveedores y clientes (Figura 2. 1).
2. Ingresar los requisitos del cliente (Figura 2. 1).
3. Calcular la producción diaria requerida (Figura 2. 1).
4. Dibujar el ícono de envío saliente y el camión con la frecuencia de entrega (Figura 2. 1).
5. Dibujar el ícono de envío entrante, el camión y la frecuencia de entrega (Figura 2. 1).
6. Incluir los cuadros de proceso en secuencia de izquierda a derecha (Figura 2. 2).
7. Agregar cuadros de datos debajo (Figura 2. 2).
8. Agregar flechas de comunicación, anotar frecuencias y anotar el método utilizado (Figura 2. 2).
9. Obtener atributos del proceso (Figura 2. 2).
10. Agregar símbolos de operador (Figura 2. 2).
11. Agregar ubicaciones y niveles de inventario en días de demanda, y graficar debajo (Figura 2. 3).
12. Agregar íconos de empujar, tirar y *FIFO* (Figura 2. 3).
13. Agregar otra información útil (Figura 2. 3).
14. Agregar las horas de trabajo (Figura 2. 3).
15. Agregar tiempo de ciclo y *lead times* (Figura 2. 3).
16. Calcular el tiempo de ciclo total y *lead time* (Figura 2. 3).

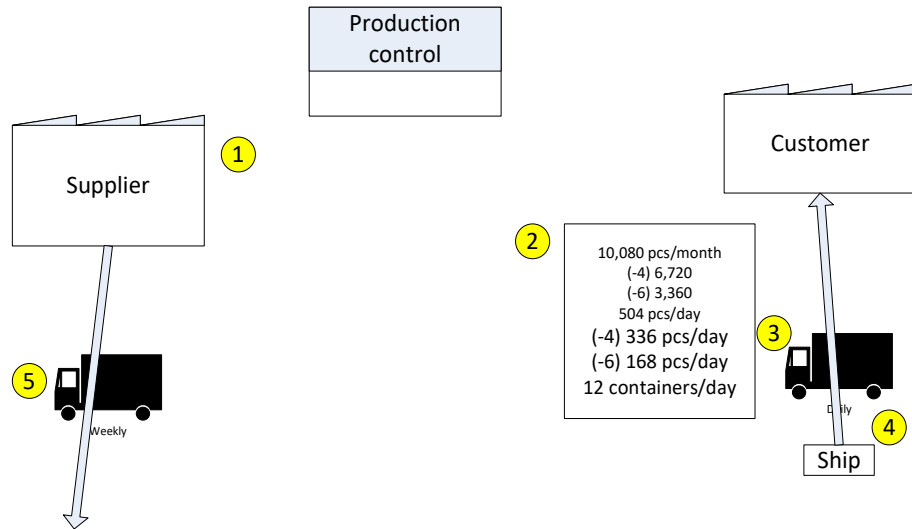


Figura 2. 1 Pasos del 1-5 para dibujar el VSM (Adaptación de Lee & Snyder, 2007).

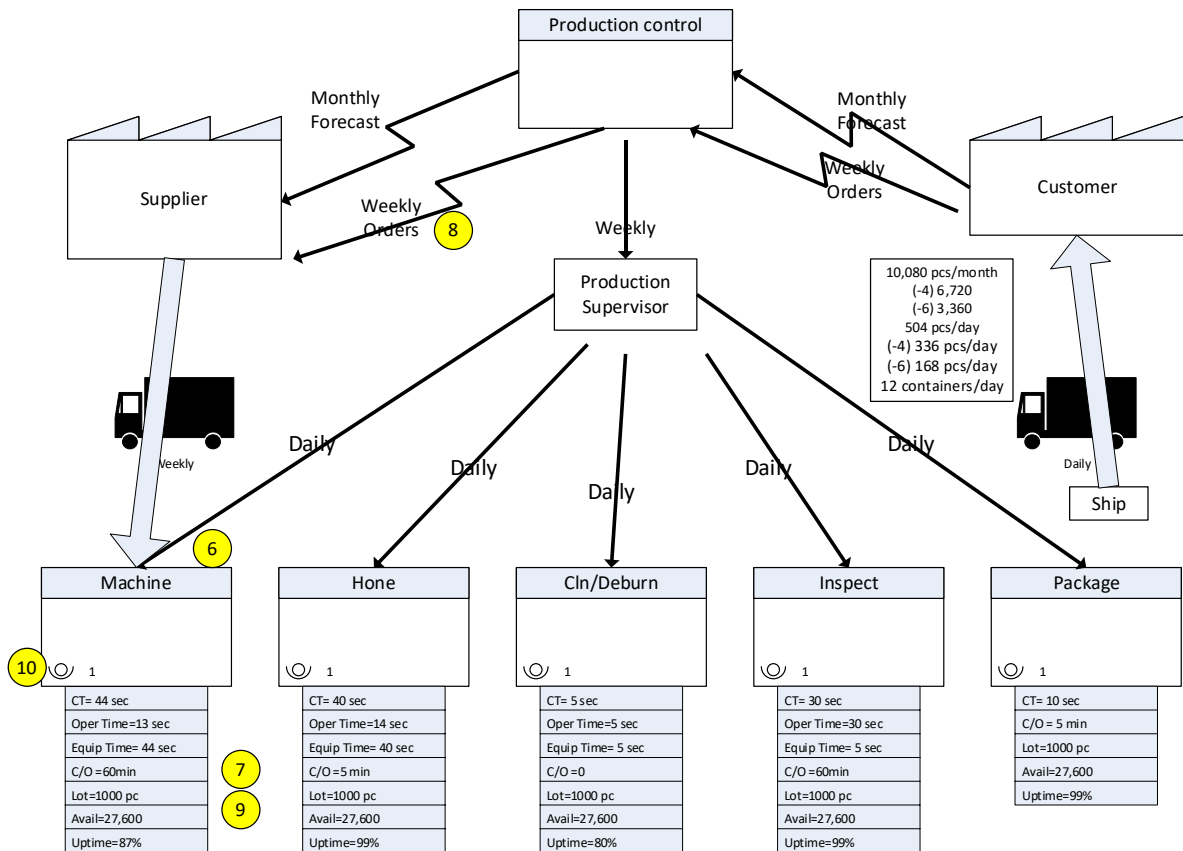


Figura 2. 2 Pasos del 6-10 para dibujar el VSM (Adaptación de Lee & Snyder, 2007).

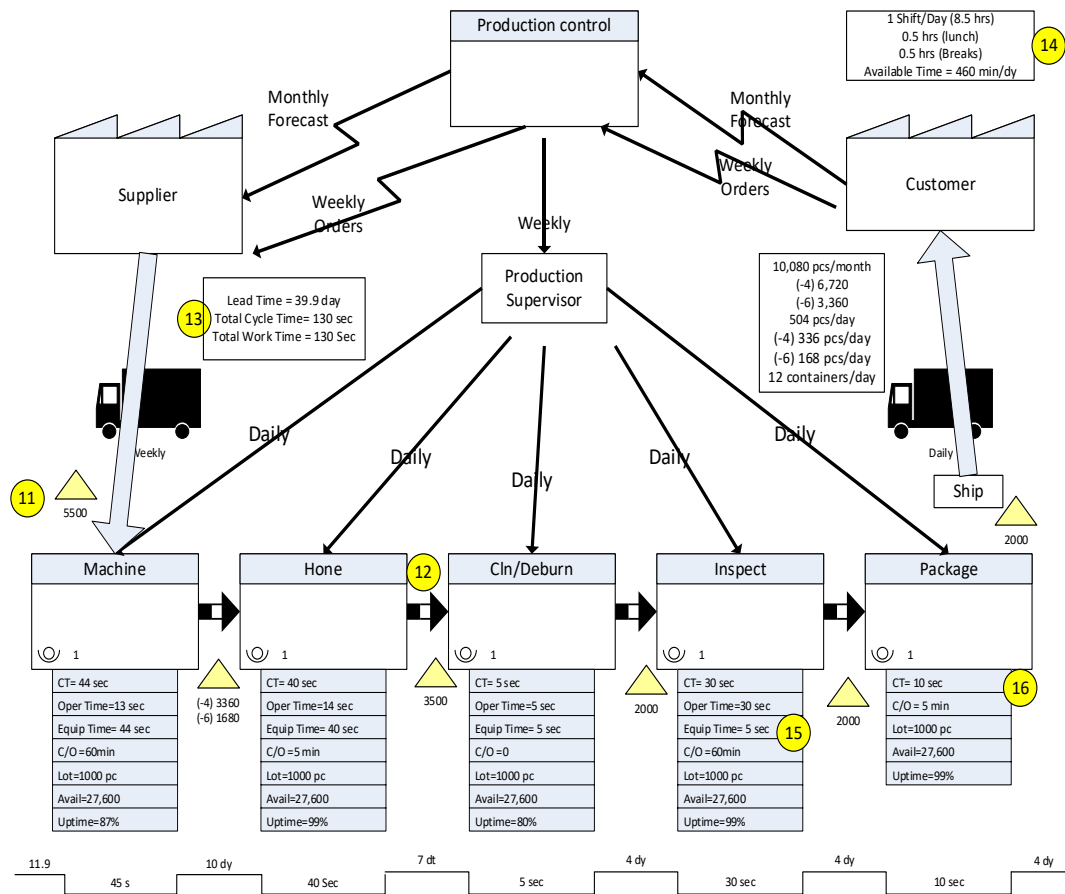


Figura 2. 3 Pasos del 11-16 para dibujar el VSM (Adaptación de Lee & Snyder, 2007).

2.3.5 Ventajas del VSM

Se obtienen diversas ventajas en la organización al implementar el VSM. De acuerdo con Latorre Uriz (2015), se mencionan a continuación algunas de las más importantes:

- Muestra los pasos involucrados en un proceso, cómo estos interactúan entre sí y facilita la comprensión más allá del nivel de proceso productivo en el que se encuentra.
- Con el VSM se puede identificar el origen de los desperdicios.
- Contribuye a identificar aspectos que provocan desperdicio e ineficiencia.
- Proporciona un lenguaje común para describir el proceso de ejecución, lo que favorece la comunicación entre los empleados de la empresa.
- Proporciona una visión integral de los procesos, lo que permite identificar áreas de mejora y priorizar acciones concretas.

2.4 Prueba de los cinco minutos

El análisis del rendimiento actual del sistema de producción es el primer paso para implementar cualquier sistema de mejora, ya que la prueba de los cinco minutos permite cuantificar las pérdidas en las actividades de construcción.

2.4.1 Tiempos característicos en actividades de construcción

De acuerdo con Botero Botero & Álvarez Villa (2003), Se pueden distinguir tres tipos de tiempos en cualquier actividad de construcción: tiempos productivos, tiempos contributivos y tiempos no contributivos; los cuales se describen a continuación:

- Tiempo productivo (TP). Es el tiempo que el empleado invierte directamente en la fabricación de una unidad de construcción. Algunos ejemplos incluyen la colocación de armadura de refuerzo, el vaciado de concreto en estructuras o el pegado de ladrillos en muros.
- Tiempo contributivo (TC). Este tiempo está asociado a las tareas de apoyo que facilitan las labores productivas, como la limpieza de superficies y encofrados, las mediciones e inspecciones previas, el transporte de materiales y la construcción de plataformas y andamios para trabajos en altura o actividades vinculadas a la seguridad industrial.
- Tiempo no contributivo (TNC). Se refiere a las actividades realizadas por los trabajadores que no se incluyen en las categorías previas y son consideradas como pérdidas. Algunos ejemplos son los tiempos de espera, inactividad, reprocesos y descansos.

2.4.2 Procedimiento para aplicar la prueba de los 5 minutos

Para aplicar la prueba de los 5 minutos se debe realizar un muestreo que consiste en realizar múltiples observaciones breves (de exactamente cinco minutos) sobre el trabajo de los empleados en sus respectivos puestos y el uso de los equipos, clasificando estas mediciones en los tres tipos característicos que se presentan en las actividades de construcción: tiempos productivos TP, tiempos contributivos TC y no contributivos TNC.

Una vez determinados los tiempos es posible conocer cómo es utilizado el tiempo por parte de los trabajadores y, al mismo tiempo, se pueden identificar problemas que afectan la productividad, los cuales, al ser eliminados, se espera que generen una reducción de costos asociados a la mano de obra y los equipos (Pinzón Rincón & Galvis Cárdenas, 2011).

De acuerdo con Granados Morales (2013), la prueba de los 5 minutos debe llevarse a cabo de la siguiente manera:

- El objetivo de la prueba es evaluar, durante un período de cinco minutos, el tiempo que un trabajador emplea en actividades productivas, contributivas y no contributivas.
- La persona responsable de realizar la medición debe disponer de un cronómetro y un formato para registrar los datos.
- La medición debe realizarse de forma aleatoria. Toda la información obtenida durante la prueba debe ser registrada en un formato similar al mostrado en la Figura 2. 4.

Fecha: Enero 12 de 2012		Hora: 8:00 am	
Actividad: Mampostería		Oficio: Ayudante	
Tiempo productivo	0.00 (140 segundos)	Observación: Pegando ladrillo.	
Tiempo contributivo	2.20 (100 segundos)	Observación: Preparando mortero.	
Tiempo no contributivo	4.00 (60 segundos)	Observación: Conversando	

Figura 2. 4 Formato para la prueba de los cinco minutos (Fuente: Granados Morales, 2013).

Como se observa en el ejemplo de la Figura 2. 4 se registraron el TP, TC y TNC para la actividad de mampostería. En ella se describe y clasifica, en un lapso de cinco minutos, el tiempo empleado en cada actividad; además, se presentan comentarios importantes para

evaluar las condiciones en las que es necesario implementar mejoras en los procesos de construcción.

El procedimiento detallado de la prueba de los cinco minutos se muestra a continuación (Granados Morales, 2013):

- Antes de la prueba.
 1. Verificar que se cuente con un cronómetro, el formato adecuado para la prueba y una persona responsable de realizar la medición.
 2. Elegir las actividades de construcción que se van a evaluar.
 3. Consultar con el personal de la obra y determinar los tiempos correspondientes a TP, TC y TNC para cada actividad a medir.
- Durante la prueba.
 1. Dirigirse al área de trabajo de la obra de construcción donde se están realizando las actividades que se van a medir.
 2. Realizar la medición observando a los trabajadores durante cinco minutos, registrando los tiempos productivos, contributivos y no contributivos en el formato correspondiente. Es importante tener en cuenta que el trabajador puede alternar entre actividades productivas y no productivas durante este lapso, por lo que se deben registrar los tiempos totales de cada medición y hacer anotaciones cualitativas de lo observado.
 3. Repetir el paso 2 tantas veces como sea necesario hasta obtener el número de observaciones suficientes para contar con una muestra representativa desde el punto de vista estadístico (se recomienda un mínimo de 50 observaciones).
- Después de la prueba
 1. Ingresar los datos de los formatos de prueba en una hoja de cálculo.
 2. Registrar por separado en la hoja de cálculo cada actividad de construcción medida.
 3. Determinar los promedios y las desviaciones estándar de los tiempos productivos, contributivos y no contributivos, utilizando los porcentajes

correspondientes de cada tipo de tiempo respecto de los cinco minutos de cada medición.

4. Calcular los promedios y las desviaciones estándar de las observaciones recogidas en diferentes períodos (por ejemplo, semanal, mensual, trimestral o acumulado), siempre que el tamaño de la muestra sea adecuado para ese período.
5. Analizar los resultados para determinar el nivel de productividad de cada actividad de construcción. Es importante destacar que medir no basta para mejorar la productividad, sino que este es solo el primer paso. Para implementar mejoras, se deben realizar varias iteraciones de medición y análisis de datos, con el objetivo de reducir o eliminar los tiempos contributivos y no contributivos en cada actividad.

Es fundamental destacar que un único registro de cinco minutos no es suficiente para tomar decisiones sobre la reducción de pérdidas en una actividad de construcción. Es necesario realizar múltiples mediciones para calcular los promedios y las desviaciones estándar de los tiempos TP, TC y TNC. Con estas estadísticas, se podrán tomar decisiones informadas sobre las mejoras y, a medida que se obtengan más mediciones, las estadísticas reflejarán de manera más precisa la situación real de la actividad. Se recomienda realizar al menos 50 mediciones distribuidas a lo largo del horario laboral para comenzar el análisis de la información.

2.5 System Last Planner (LPS)

Pons & Rubio (2019) el *Last Planner System* (LPS) se describe como un sistema utilizado para la planificación y el control de la producción en proyectos de construcción, mientras que Koskela (1992) lo define como un sistema centrado en el control de la producción en el ámbito de la construcción.

El LPS fue desarrollado por Glenn Ballard y Greg Howell a mediados de los años noventa, y posteriormente teorizado en la tesis doctoral de Ballard en 2000. Con el paso del tiempo, el LPS ha llegado a ser una herramienta clave para implementar *Lean Construction* en

proyectos de construcción, además de convertirse en un modelo destacado en la planificación colaborativa y el enfoque *pull*.

Koskela (1992), presentó los siguientes cinco principios para el diseño de un sistema de control de la producción en el ámbito de la construcción:

1. El trabajo no debe comenzar hasta que todos los elementos esenciales estén disponibles. Este principio tiene como objetivo minimizar el trabajo realizado en condiciones subóptimas, lo cual es frecuente en la gestión tradicional de la construcción.
2. Las tareas realizadas deben medirse y controlarse. El porcentaje de plan completado (PPC) se calcula como el número de actividades terminadas dividido entre el total de actividades planificadas. Este enfoque ayuda a minimizar la propagación de la variabilidad en los flujos de tareas aguas abajo.
3. Es necesario analizar las causas de las tareas no terminadas. Este principio promueve la mejora continua a través de los ciclos PDCA de Deming (Planificar-Hacer-Verificar-Actuar).
4. Es importante mantener un conjunto de tareas reservadas para cada equipo. Si la tarea asignada no puede completarse, el equipo tiene la flexibilidad de cambiarla por otra. Este principio es esencial para prevenir la pérdida de productividad.
5. En la planificación a medio plazo, se preparan de manera anticipada los requisitos para las siguientes tareas. Este sistema *pull* asegura que todos los recursos necesarios estén disponibles cuando y donde se requieren, garantizando que los materiales estén en la cantidad adecuada, en el lugar adecuado y en el momento oportuno.

2.5.1 ¿Quién es el último planificador?

Tradicionalmente, la planificación de proyectos ha estado a cargo de un programador o planificador, un *project manager* o, más comúnmente, del jefe de obra, quien generalmente realiza casi exclusivamente la elaboración de la planificación mediante un diagrama de Gantt (Pons & Rubio, 2019). En este enfoque, no se ha considerado la experiencia y la información

práctica de las unidades productivas, ni se han integrado estas perspectivas en el proceso de planificación, dejándolas al margen de la toma de decisiones.

Dado que las obras de construcción se desarrollan en entornos dinámicos, el sistema de planificación también debe adaptarse a dichos cambios. Esto implica una retroalimentación continua, y quienes poseen la mejor información para alimentarla son aquellos que enfrentan diariamente los desafíos reales de la obra. Así, el último planificador es quien mejor entiende lo que sucede en el sitio de trabajo, cómo deben ejecutarse las tareas y qué recursos son necesarios, siendo esta la persona encargada de asignar las tareas directamente a los trabajadores, asegurando compromisos de entrega basados en la realidad del lugar de trabajo, y no en planes teóricos como suele ser habitual (Pons & Rubio, 2019).

Según Pons & Rubio (2019), en el diseño de proyectos arquitectónicos o de ingeniería, los últimos responsables de la planificación son el proyectista, el *project manager* y los encargados de cada disciplina o especialidad del proyecto, tales como el cálculo de estructuras, las instalaciones, la distribución de planos, las memorias técnicas y la coordinación de seguridad, entre otros.

2.5.2 Conceptos “debe – se puede – se hará”

LPS es un sistema de control de producción diseñado para integrar las diferentes etapas de la planificación y asignación de tareas en un proyecto: “lo que debería hacerse”, “lo que se puede hacer”, “lo que se hará” y “lo que realmente se hizo” (Pons & Rubio, 2019). Su objetivo principal es proporcionar un flujo de trabajo confiable y un aprendizaje continuo.

En los ciclos regulares de planificación, los planificadores y ejecutores deben primero identificar 'lo que se puede hacer' y luego acordar 'lo que se hará' durante la semana. Este enfoque busca evitar que las actividades se detengan por restricciones no resueltas, lo que contribuye a mejorar la productividad al evitar interrupciones innecesarias derivadas de la falta de materiales, mano de obra, equipos o recursos auxiliares. Además, se evita el envío de recursos innecesarios si se sabe que no se podrán resolver ciertas restricciones a tiempo (Pons & Rubio, 2019).

El avance del proyecto puede verse afectado si las actividades disponibles son limitadas. Para evitarlo, los planificadores deben centrarse en eliminar las restricciones que impiden iniciar o continuar las tareas. De este modo, se ampliará el conjunto de actividades posibles, lo que incrementará las opciones de avance. Es fundamental que la gestión se enfoque en la causa raíz del problema, ya que acelerar la ejecución de las actividades no sirve de nada si no se entregan a tiempo los materiales y recursos necesarios (Pons & Rubio, 2019).

2.5.3 Planificación *pull* o *pull* session

De acuerdo con Pons & Rubio (2019), la planificación *pull* es un enfoque que utiliza los principios de un sistema productivo *pull*. Comienza por definir el entregable final de la fase a planificar y, a partir de este hito, se plantea la pregunta: “¿Qué necesito que esté listo justo antes de este entregable para poder completarlo?”. De este modo, se solicita a la actividad predecesora que asuma su compromiso con su cliente y acuerde las condiciones necesarias para cumplir con la entrega.

El propósito general de la planificación *pull* en una fase o hito clave es obtener una visión global del plan del proyecto, de modo que todos los involucrados comprendan la secuencia de actividades principales, las restricciones que deben resolverse y los compromisos iniciales del plan. Este proceso se realiza de manera colaborativa, donde cada miembro del equipo comunica lo que necesita de los demás para completar sus actividades, y al mismo tiempo toma conciencia de lo que el equipo espera de él para lograr los objetivos del proyecto (Pons & Rubio, 2019).

Además, la sesión de planificación *pull* tiene como objetivo identificar la estrategia general del proyecto, especialmente en lo relativo a la planificación y la gestión de órdenes de producción en cada fase, promoviendo la alineación entre todos los participantes. También facilita la identificación de oportunidades para realizar prefabricación y preensamblaje fuera del sitio, así como la detección temprana de restricciones y otros factores que puedan retrasar el inicio o el progreso de las actividades. Asimismo, permite identificar áreas de mejora que

podrían optimizar aún más la planificación. La sesión concluye cuando todas las partes implicadas validan y acuerdan el plan elaborado (Granados Morales, 2013).

2.5.4 Metodología

De acuerdo con Pons & Rubio (2019), la metodología del SLP se estructura en tres niveles de planificación, donde el plan se ajusta progresivamente, reduciendo la incertidumbre. Este proceso implica analizar lo que “debe” y lo que “puede hacerse”, permitiendo identificar y eliminar restricciones:

1. Planificación a largo plazo: gestionando el “debería”. En la planificación a largo plazo se establece lo que “debe” ocurrir; es decir, se define qué se espera que ocurra a lo largo del proyecto. Esta etapa se divide en dos fases principales:
 - i. Planificación maestra. Su objetivo es clarificar el alcance del proyecto y establecer expectativas, destacando los hitos clave. Es crucial que todo el equipo tenga una comprensión común de los objetivos del proyecto y que se alineen los intereses y necesidades del mismo. Se debe desarrollar un plan maestro completo que integre los principios *Lean*, ofreciendo al equipo de trabajo una visión compartida sobre los objetivos y entregables, permitiendo así un seguimiento adecuado de la evolución del proyecto.
 - ii. Planificación de fases. Esta subetapa se centra en definir y validar el trabajo necesario para completar cada fase del proyecto. Para ello, es esencial la participación de todos los responsables de actividades y áreas funcionales del proyecto, asegurando que los objetivos y estrategias estén alineados para la ejecución de la fase planificada. En esta etapa, la ventana de planificación abarca entre tres y seis meses, dependiendo de las características del proyecto. Al concluir esta fase, se tendrá un plan de trabajo acordado por todas las partes involucradas, y se habrán identificado las principales restricciones del proyecto.
2. Planificación a medio plazo: gestionando el “se puede”. El nivel de planificación a medio plazo del sistema es donde se gestiona el “puede” o en la que se “prepara el trabajo”.

Normalmente, la ventana de planificación a medio plazo es de seis semanas, aunque puede variar entre tres y ocho semanas, dependiendo de la madurez del equipo, la duración y las circunstancias de cada obra. Esta ventana se obtiene del plan creado durante la *pull sesión* (Sección 2.5.3), cuyo objetivo principal es asegurar un flujo de trabajo predecible durante la fase de ejecución.

Durante la planificación a medio plazo, se identificarán nuevas restricciones que podrían obstaculizar la correcta ejecución del programa maestro. Además, se actualizarán aquellas derivadas de la *pull session*. Si se gestionan adecuadamente y se liberan a tiempo, estas restricciones permitirán generar un inventario de trabajo ejecutable (ITE) en forma de órdenes de producción específicas.

3. Plan a corto plazo: gestionando lo que “se hará”. En este nivel de planificación, los últimos planificadores se comprometen a avanzar en la obra, es decir, a asumir objetivos específicos en las tareas productivas.

El propósito de este nivel es crear un plan de trabajo que esté comprometido con actividades concretas y metas cuantificables. Las tareas a comprometer deben provenir del inventario de trabajo ejecutable (ITE) generado en la etapa de planificación a medio plazo (*Look Ahead*), lo que aumenta la fiabilidad del plan al comprometer actividades cuya ejecución ya tiene mayor certeza de contar con las condiciones necesarias.

En el desarrollo de este plan, también puede haber una "zona gris" con tareas que actualmente tienen restricciones, pero que tienen una alta probabilidad de ser liberadas antes de que termine el período (por ejemplo, la llegada de un material). Si la probabilidad de que se libere la restricción es baja, lo mejor es ser sincero con el equipo y planificar recursos para otras actividades.

2.6 Tamaño de muestra

El cálculo del tamaño de muestra constituye una de las etapas más críticas en el diseño de una investigación científica. Su adecuada determinación garantiza que los resultados obtenidos sean representativos de la población objetivo y que las conclusiones tengan validez estadística. En el campo de la industria manufacturera, calcular correctamente la muestra

permite estimar parámetros poblacionales con precisión o contrastar hipótesis con un nivel de confianza y poder estadístico predefinidos (Aguilar Barojas, 2005).

2.6.1 Conceptos fundamentales

Para determinar el tamaño de muestra es necesario definir varios elementos estadísticos:

- Nivel de confianza (α): representa la probabilidad de que el valor verdadero del parámetro poblacional se encuentre dentro del intervalo de confianza. Los niveles más comunes son 90%, 95% y 99%. Estos niveles de confianza proporcionan valores de Z de 1.645, 1.96 y 2.58, respectivamente (Aguilar Barojas, 2005).
- Precisión o error máximo admisible (d o β): expresa la distancia permitida entre el valor estimado y el valor real del parámetro poblacional. Una mayor precisión implica un margen de error menor, lo cual incrementa el tamaño de muestra necesario (Mateu & Casal, 2003).
- Proporción esperada (p) y no esperada (q): en variables cualitativas se refiere a la proporción de la población que presenta o no la característica de interés. Su producto (pq) representa la variabilidad del fenómeno y alcanza su valor máximo cuando $p = q = 0.5$.
- Desviación estándar (S): en variables cuantitativas, indica la dispersión de los valores con respecto a la media, siendo necesaria para el cálculo de la muestra en estudios que analizan variables continuas.
- Poder o potencia del estudio ($1-\beta$): mide la probabilidad de detectar una diferencia cuando realmente existe. Generalmente se adopta un poder del 80% o 90%, lo que equivale a errores tipo II de 0.20 o 0.10, respectivamente.

2.6.2 Fórmulas para el cálculo del tamaño de muestra

De acuerdo con Aguilar Barojas (2005), El cálculo del tamaño de la muestra depende del tipo de variable que se estudie; dichas variables pueden ser del tipo cualitativo o cuantitativo, como se muestra a continuación:

- Para estudios cuya variable principal es de tipo cuantitativo.

En las investigaciones donde la variable principal es de tipo cuantitativas, como la altura o el peso, el tamaño de la muestra se calcula teniendo en cuenta la desviación estándar de la población y el error aceptable, el cálculo se realiza utilizando la Ecuación 2.1 para población infinita y la Ecuación 2.2 para población finita:

- a) Para una población infinita (cuando se desconoce el total de unidades de observación que la integran o la población es mayor a 10,000):

$$n = \frac{Z^2 S^2}{d^2} \dots\dots\dots(2.1)$$

- b) Para una población finita (cuando se conoce el total de unidades de observación que la integran):

$$n = \frac{NZ^2 S^2}{d^2(N-1) + Z^2 S^2} \dots\dots\dots(2.2)$$

Donde:

- n = Tamaño de la muestra.
- N = Tamaño de la población.
- Z = Valor crítico Z, calculado a partir de las tablas del área de la curva normal.
Se obtiene con base en el nivel de confianza deseado.
- S^2 = Varianza de la población en estudio (que es el cuadrado de la desviación estándar y puede obtenerse de estudios similares o de pruebas piloto).
- d = Nivel de precisión absoluta. Referido a la amplitud del intervalo de confianza deseado en la determinación del valor promedio de la variable de estudio.

- Para estudios en los que la variable principal es cualitativa

En investigaciones donde la variable principal es cualitativa, se reporta a través de la proporción del fenómeno estudiado en la población de referencia, el cálculo del

tamaño de la muestra se realiza utilizando la Ecuación 2.3 para población infinita y la Ecuación 2.4 para población finita:

- a) Para población infinita (cuando no se conoce el total de unidades de observación que la componen o cuando supera las 10,000 unidades):

$$n = \frac{Z^2 pq}{d^2} \dots\dots\dots (2.3)$$

- b) Para una población finita (cuando se conoce el número total de unidades de observación que la integran):

$$n = \frac{NZ^2 pq}{d^2(N-1) + Z^2 pq} \dots\dots\dots (2.4)$$

Donde:

- n = Tamaño de la muestra.
- N = Tamaño de la población.
- Z = Valor crítico Z, calculado a partir de las tablas del área de la curva normal. Se obtiene con base en el nivel de confianza deseado.
- d = Nivel de precisión absoluta. Referido a la amplitud del intervalo de confianza deseado en la determinación del valor promedio de la variable de estudio.
- p = Proporción aproximada del fenómeno en estudio en la población de referencia.
- q = Proporción de la población de referencia que no presenta el fenómeno en estudio (1-p).

2.6.3 Método de aplicación

Mateu & Casal (2003) proponen una metodología de cuatro pasos para aplicar de la Ecuación 2.1 a la Ecuación 2.4, como se muestra a continuación:

1. Definir el nivel de confianza y la precisión deseados.

- Se debe seleccionar un nivel de confianza (α), que comúnmente es 95% o 99%. Este nivel determina el valor de Z en la fórmula y se elige según la certeza con la que se desea que los resultados reflejen la población real. En la Tabla 2. 5, se presentan los valores de Z correspondientes a los niveles de confianza más comunes, es importante mencionar que a medida que aumenta el nivel de confianza, se requiere un mayor tamaño de muestra para asegurar que los resultados sean precisos.

Tabla 2. 5 Valores para el nivel de confianza Z más comunes (Fuente: Aguilar Barojas, 2005).

Nivel de confianza	Valor de Z
90%	1.645
95%	1.96
99%	2.58

- La precisión (d) debe establecerse según la importancia de la exactitud en los resultados. El valor de d refleja la precisión deseada del estudio. Mientras más estrecho se desee el intervalo de confianza, mayor debe ser el tamaño de la muestra. En la Tabla 2. 6 se presentan los valores típicos de d para distintas precisiones.

Tabla 2. 6 Valores para precisiones más comunes Fuente: (Aguilar Barojas, 2005).

Precisión	d
1%	0.01
5%	0.05
10%	0.10

2. Determinar la proporción o desviación estándar.

En el caso de las variables cualitativas, se necesita estimar la proporción de la población que presenta el fenómeno de interés. Para las variables cuantitativas, se debe conocer o estimar la desviación estándar de la población.

3. Ajuste por tamaño de la población.

Si la población es pequeña, se debe aplicar una corrección para poblaciones finitas.

4. Considerar el tipo de estudio.

5. Aguilar Barojas (2005), propone que, de acuerdo con el tipo de estudio que se realizará se deben considerar los siguientes puntos:

- Exploratorios. No siempre requieren un cálculo exacto, ya que son estudios preliminares para explorar una idea.
- Descriptivos. Usan los cálculos básicos para estimar parámetros.
- Explicativos. Son más complejos, ya que se necesita conocer el poder del estudio y el riesgo de cometer errores estadísticos.

2.7 Método por puntos

De acuerdo con el método por puntos, también llamado método cualitativo por puntos, es una herramienta utilizada en la toma de decisiones, aplicada especialmente en proyectos de investigación, donde se requiere seleccionar o identificar entre diferentes alternativas. Este método es una combinación de enfoques cuantitativos y cualitativos que permite evaluar diversos factores relevantes y asignarles puntuaciones, lo que facilita la comparación y selección de la opción más adecuada.

El método por puntos consiste en asignar valores a factores clave para la toma de decisiones en un proyecto de investigación. Estos factores, que pueden ser tanto cuantitativos como cualitativos, se evalúan con una puntuación asignada en función de su importancia relativa. El investigador, con base en su criterio, otorga un peso a cada factor, sumando las puntuaciones ponderadas para obtener una evaluación global de las diferentes opciones.

2.7.1 Metodología

El método por puntos es un proceso estructurado que permite evaluar y seleccionar entre diversas alternativas para la toma de decisiones. Baca Urbina (2013), propone la siguiente metodología, la cual sigue una serie de siete pasos sistemáticos:

1. Identificación de factores relevantes.

El primer paso consiste en identificar los factores clave que influirán en la decisión. Estos factores pueden ser tanto cuantitativos como cualitativos y varían según el tipo de proyecto. En el caso de la localización de una planta, algunos de los factores más comunes incluyen:

- a) Disponibilidad de materia prima. ¿En qué medida el sitio elegido tiene fácil acceso a los recursos necesarios?
- b) Mano de obra disponible. ¿Existe suficiente personal calificado en la zona?
- c) Infraestructura. ¿Qué tan accesible es la infraestructura (carreteras, transporte, comunicaciones)?
- d) Costo de insumos. ¿Cuál es el costo de los insumos (energía, agua, materiales)?
- e) Cercanía a los mercados. ¿Qué tan cerca están los mercados finales de los productos?
- f) Factores sociales y ambientales. ¿Cómo afecta la ubicación a la comunidad y al entorno?

2. Asignación de pesos a los factores.

Una vez que se han identificado los factores relevantes, el siguiente paso es asignar un peso a cada uno de estos factores según su importancia relativa en la toma de decisiones. La suma de todos los pesos debe ser igual a 1 y se sugiere seguir las siguientes consideraciones:

- g) Los pesos reflejan la importancia de cada factor para la selección de la alternativa.
- h) Este paso es subjetivo y depende del criterio del investigador o del equipo de trabajo.

- i) Por ejemplo, si la disponibilidad de materia prima es considerada más crítica que el costo de la vida, este factor puede recibir un mayor peso.

3. Desarrollo de una escala común.

Para poder comparar los diferentes sitios de manera consistente, es necesario asignar una escala común a cada uno de los factores. Esta escala puede ser, por ejemplo, de 0 a 10, donde 0 representa el peor desempeño posible y 10 representa el mejor desempeño posible para ese factor, se sugiere tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- j) En algunos casos, se puede utilizar una escala diferente según la naturaleza del factor.
- k) Los sitios serán evaluados en función de esta escala.

4. Calificación de los sitios.

En este paso, cada sitio potencial se califica de acuerdo con la escala asignada. Esto implica evaluar cómo cada sitio cumple con los factores relevantes identificados, considere los siguientes puntos:

- l) Si se está evaluando el "costo de los insumos", por ejemplo, un sitio con menores costos recibiría una calificación más alta.
- m) Para cada factor, se asigna una calificación específica a cada sitio potencial, lo cual se basa en datos objetivos o en la percepción del investigador.

5. Cálculo de las puntuaciones ponderadas.

Una vez que se ha asignado una calificación a cada sitio para cada factor, se multiplica la calificación por el peso correspondiente de ese factor. Esto da como resultado una puntuación ponderada para cada factor en cada sitio.

Un ejemplo de cálculo es, por ejemplo, si la calificación para "materia prima disponible" es 8 en un sitio y el peso asignado a este factor es 0.30, la puntuación ponderada sería 8 multiplicado por 0.30, obteniendo un resultado de 2.4.

6. Suma de las puntuaciones ponderadas.

Después de obtener las puntuaciones ponderadas para cada factor, se suman todas las puntuaciones de cada sitio para obtener una puntuación total (Ecuación 2.5) y este proceso se repite para cada sitio de evaluación.

$$\text{Puntuación Total del Sitio} = \sum (\text{Puntuación Ponderada por Factor}) \dots\dots\dots(2.5)$$

7. Selección del Sitio Óptimo.

El sitio que obtenga la mayor puntuación total será seleccionado como el más adecuado, según el método por puntos. En caso de empate, se puede hacer una revisión de los factores para determinar si se requiere una revisión adicional de los pesos o las calificaciones asignadas.

2.7.2 Ventajas y Desventajas

Una de las ventajas más significativas del método por puntos es su simplicidad y rapidez. Al asignar puntuaciones y pesos a los factores, se puede obtener una visión clara de cuál opción cumple mejor con los criterios definidos. Sin embargo, una desventaja del método es su dependencia de la subjetividad del investigador. Las decisiones de asignación de pesos y calificación de los factores pueden variar de una persona a otra, lo que afecta la replicabilidad del análisis.

Es importante destacar que el método por puntos se basa en la subjetividad de los pesos y las calificaciones asignadas, lo que puede influir en los resultados. Por ello, la consistencia y objetividad en la selección de factores y la asignación de calificaciones es clave para lograr una toma de decisiones más confiable. Además, el método se adapta fácilmente a diferentes tipos de proyectos y contextos, lo que lo convierte en una herramienta útil para la localización de proyectos, aunque siempre debe ser complementado con otros análisis cualitativos y cuantitativos

2.8 5 Porqués

La mejora de procesos en una empresa involucra diferentes técnicas para resolver problemas y evitar errores o inconvenientes. De acuerdo con Colio Lozano (2024), uno de los más conocidos es la técnica de los 5 porqués, que forma parte del enfoque *Six Sigma*. Esta técnica se utiliza para identificar la causa raíz de un problema, permitiendo encontrar soluciones efectivas.

Originalmente, los 5 porqués, que fue aplicado en la fábrica de Toyota en Japón, se ha convertido en una técnica universalmente reconocida, utilizada en diversos sectores e industrias a nivel mundial. Su éxito radica en su simplicidad y efectividad al abordar problemas complejos de manera directa.

Los 5 porqués se caracteriza por ser fácil de aplicar y adaptable a cualquier situación. A lo largo de los años, ha demostrado ser un instrumento valioso en el análisis de procesos, brindando resultados consistentes en la resolución de conflictos y mejoras operativas.

2.8.1 Metodología

La técnica de los cinco porqués es un conjunto de preguntas que indagan la causa-efecto de un suceso o problema en particular. Se pregunta ¿por qué? cinco veces por cada problema encontrado, cada “porqué” genera otro como consecuencia, el objetivo es ir más allá de los síntomas evidentes, hasta profundizar lo suficiente para identificar su raíz y desarrollar soluciones más efectivas y duraderas (Araújo, 2011).

De acuerdo con Colio Lozano (2024) para aplicar la técnica de los 5 porqués, se deben seguir los siguientes cinco pasos:

1. Establece lo que está pasando: lo primero y más importante es determinar qué es lo que se busca resolver.
2. Define “por qué” está pasando una situación en particular: en este paso, se formula el primer "porqué" y se hacen preguntas clave sobre el problema. Es fundamental anotar todas las ideas, ya que cada una contribuye al análisis, aunque algunas se descarten luego.
3. Determina las posibles razones de la causa de una situación en particular: una vez que planteen el primer “porqué” y sepan cuál es el problema inicial, lo siguiente es saber por qué está pasando esto. La técnica de los 5 porqués descarta causas hasta identificar tres o menos razones claras, profundizando en el problema con preguntas específicas.
4. Continúa con el planteamiento de problemas: si es necesario, realiza más preguntas para llegar a la causa raíz. El objetivo es entender los procesos, no culpar a personas.

5. Plantea las soluciones más adecuadas: una vez identificada la causa raíz, propone soluciones para resolver el problema y prevenir su recurrencia.

En la Tabla 2. 7 se muestra un ejemplo de la aplicación de la técnica de los 5 porqués en una empresa manufacturera que necesita abordar el problema de defectos recurrentes en un producto manufacturado.

Tabla 2. 7 Ejemplo de aplicación de los 5 porqués en una empresa manufacturera (Adaptación de Araújo, 2011)

	¿Por qué hay defectos en el producto ?	¿Por qué las indicaciones de diseño no son claras?	¿Por qué hay una limitada comunicación entre el equipo de diseño y producción?	¿Por qué no hay reuniones regulares para revisar los requisitos del diseño?	¿Por qué no hay un proceso formal de revisión de diseño	Soluciones
Defectos recurrentes en un producto manufacturado	Las indicaciones de diseño no son claras.	La comunicación entre el equipo de diseño y producción es limitada.	No hay reuniones regulares para revisar los requisitos de diseño.	La falta de un proceso formal de revisión de diseño.	No se ha implementado un sistema de gestión de la calidad efectivo.	1.- Establecer reuniones regulares entre el equipo de diseño y producción. 2.- Implementar un sistema formal de revisión de diseño. 3.- Mejorar el sistema de gestión de la calidad.

2.8.2 Ventajas

De acuerdo con Araújo (2011) algunas de las ventajas al aplicar la técnica de los 5 porqués son las siguientes:

- Identificación de causas raíz. Ayuda a descubrir las causas fundamentales de un problema, yendo más allá de los síntomas evidentes.
- Mejora de la resolución de problemas. Ofrece una estructura para abordar problemas de manera más efectiva y duradera.
- Prevención de recurrencias. Al abordar las causas profundas, evita que el problema se repita.

- Facilita el aprendizaje organizacional. Fomenta una cultura de aprendizaje, ayudando a los equipos a enfrentar obstáculos futuros.
- Mejora continua. Aplicada regularmente, promueve un proceso de mejora continua en la organización.

2.8 Conclusión

Este capítulo proporcionó los cimientos teóricos esenciales para el proyecto actual al abordar los conceptos clave relacionados con *Lean Construction*, desde la filosofía básica de *Lean* hasta las herramientas específicas como el *Value Stream Mapping (VSM)*, la prueba de los cinco minutos y el *System Last Planner (LPS)*. Con base en lo descrito fue posible establecer las bases necesarias para el análisis y la implementación de mejoras en la gestión de la producción en la construcción. Este marco teórico facilitará una toma de decisiones más informada y eficiente en la fase de aplicación del proyecto, orientando hacia el control de la producción, reducción de desperdicios y mejora continua en los procesos constructivos.

Capítulo 3

Implementación de mejoras

En el presente capítulo se lleva a cabo la implementación de las herramientas de la metodología *lean Construction* y de la ingeniería industrial. En primera instancia, con el uso de las herramientas de diagnóstico se determinará el estado actual del área en estudio, posteriormente se medirán los parámetros más importantes, con dichas mediciones se puedan tomar acciones de mejora y solución a la problemática planteada, por último, mediante el uso de una prueba de hipótesis se realizará una validación estadística de los resultados que se obtuvieron posteriormente a la implementación de este proyecto de tesis.

3.1 Metodología

La metodología propuesta para alcanzar el objetivo general del proyecto: Mejorar el control de la producción del taller de estructuras metálicas de una empresa constructora, mediante técnicas y herramientas de ingeniería industrial; es la siguiente:

1. Obtener un panorama general de la empresa.
2. Identificar problemáticas, inquietudes de mejora y áreas de oportunidad.
3. Selección de área de oportunidad para el proyecto.
4. Describir área de oportunidad seleccionada: taller de estructuras metálicas.
5. Identificación de actividades productivas, contributivas y, no contributivas del taller de estructuras metálicas, con la prueba de los cinco minutos.
6. Realizar *VSM* del área en estudio.
7. Seleccionar proceso y problemas de mayor impacto.
8. Identificación de causas raíz a los problemas seleccionados en el proceso de armado.
9. Identificar y seleccionar actividades de mejora.
10. Implementación de actividades de mejora.

3.2 Obtener un panorama general de la empresa

El primer paso, de acuerdo con la metodología de la Sección 3.1, consistió en la obtención de un panorama general de la empresa en estudio mediante la realización de las siguientes actividades:

1. Conocer los antecedentes de la empresa. Esta actividad fue realizada con el propósito de conocer los antecedentes generales que preceden a la empresa, desde su fundación, hasta la actualidad. La actividad también permitió conocer la cultura organizacional, localización y organigrama por el cual se rige actualmente. Dicha información se presentó en forma más detallada en la Sección 1.2.
2. Conocer las áreas, el proceso de producción general y la fuerza de trabajo con el que cuenta la empresa.
 - La empresa cuenta actualmente con dos talleres; el taller de estructuras metálicas y el taller de limpieza mecánica y pintura.
 - El taller de estructuras metálicas organizacionalmente cuenta actualmente con veinte departamentos (Figura 1. 2) en los cuales se desarrollan los procesos de construcción.
 - El taller de limpieza mecánica y pinturas cuenta actualmente con cinco departamentos (Figura 1. 4) en los cuales se desarrolla el proceso de limpieza, pintura y embarque de estructuras.
3. El proceso de producción actual para el desarrollo de un proyecto de construcción, con el que cuenta la empresa, se detalló en la Sección 1.2.6
4. La empresa con tipo de financiación privada, del giro “proyectos y construcciones en general”, actualmente cuenta con 108 trabajadores y cuatro cabos (tres de armado y uno de soldadura) en el área de producción.
5. La empresa labora en dos turnos:
 - El primer turno de 7:00 a 19:00 horas, de lunes a viernes y sábado de 7:00 a 13:00 horas.
 - El segundo turno de 19:00 a 7:00 horas, de lunes a viernes.
6. La empresa trabaja con distintos tipos de materiales: acero A36, acero A572 grado 50, aceros especiales A514, acero inoxidable 304, 316 ,304L, 316L, entre otros.

3.3 Identificar problemáticas, inquietudes de mejora y áreas de oportunidad

Para conocer problemáticas, inquietudes de mejora y áreas de oportunidad, en la empresa en estudio, se realizó lo siguiente:

- Se mantuvo una plática con el jefe de taller de estructuras metálicas; con el propósito de identificar áreas de oportunidad, identificar técnicas y/o metodologías de ingeniería industrial factibles de aplicar en dichas áreas y proponer su aplicación con el objetivo de mejorar los procesos de la empresa en estudio.

Las áreas de oportunidad propuestas son:

- Área de staff técnico y de planeación.
- Área de producción y atención al cliente.
- Área de staff, administración y de control.
- Se entabló una plática con los tres cabos del taller de estructuras, los cuales comentaron sus principales inquietudes de mejora, y externaron que ya habían existido proyectos para realizar mejoras en la empresa, pero que en su desarrollo se perdió su seguimiento y, por lo tanto, no se obtuvo un impacto significativo en cuanto a una mejora visible.
- Se realizaron recorridos por la empresa para conocer las inquietudes y propuestas de mejora del personal operativo acorde a sus puestos de trabajo, mediante entrevistas.
- Se recabaron problemáticas e inquietudes de mejora, mostradas en la Tabla 3. 1, expresadas en las tres actividades anteriores.

Tabla 3. 1 Problemáticas e inquietudes de mejora del área en estudio (Fuente: elaboración propia).

Problemáticas	Inquietudes de mejora
Incumplimiento en los tiempos de entrega de las obras por parte de la empresa.	Entrega de proyectos antes de lo acordado con el cliente.
Esperas por falta de materia prima.	Obtener la materia prima necesaria lo más antes posible.
Retrabajos por mala calidad.	Disminuir la cantidad merma por piezas con mala calidad.
Mal control de la producción.	Mejorar el control de la producción.
Paros no programados por equipos defectuosos.	Implementación de programa de mantenimiento preventivo de equipos para evitar los paros no programados.
Exceso de desperdicios.	Reducción de desperdicios.
Baja productividad de los trabajadores.	Aumentar la productividad en los trabajadores.
Atrasos por mala organización en equipos de trabajo.	Mejorar la planeación de la producción para reducir los atrasos por mala organización.

- Se realizó un diagrama de afinidad (Tabla 3. 2) para interrelacionar los problemas encontrados con las áreas de oportunidad, expresadas por el jefe de taller, trabajadores y recorridos a la empresa, el cual se muestra en la

Tabla 3. 2 Diagrama de afinidad de las problemáticas encontradas versus áreas de oportunidad (Fuente: elaboración propia).

	Áreas de oportunidad		
	Área de staff técnico y de planeación.	Área de producción y atención al cliente.	Área de staff, administración y de control.
Problemas	- Paros no programados por equipos defectuosos. - Retrabajos por mala calidad.	- Incumplimiento en los tiempos de entrega de las obras por parte de la empresa. - Mal control de la producción. - Exceso de desperdicios. - Baja productividad de los trabajadores. - Atrasos por mala organización en equipos de trabajo.	- Esperas por falta de materia prima. - Esperas por falta de material.

3.4 Selección de área de oportunidad para el proyecto

De acuerdo con el diagrama de afinidad de la Tabla 3. 2, en el cual se relacionaron las problemáticas con las áreas de oportunidad, se procedió a seleccionar el área objetivo del presente proyecto, mediante la aplicación del método por puntos, mediante las siguientes actividades:

1. Se determinaron y describieron los siguientes seis factores para evaluar los problemas identificados en la Tabla 3. 2:
 1. Cantidad alta de problemas. Se consideró como un factor importante la cantidad de problemas que se presentan en cada área.
 2. Genera paros en la producción. Se consideraron como un factor importante las actividades o equipos que generan paros en la producción del taller de estructuras.
 3. Impacto para la empresa. Se consideró un factor importante el impacto positivo que cada alternativa podría tener en la empresa en estudio.
 4. Alarga el tiempo de entrega de los proyectos. Se consideraron factores importantes los problemas que, al ser abordados, resulten en un menor tiempo de entrega del proyecto.
 5. Su mejora implica un menor costo de inversión. Se consideró como un factor importante mejorar el control de la producción con el menor costo de inversión posible.
 6. Mejora el control de la producción. No se cuenta con un seguimiento de la planeación de la producción adecuado en el área de producción, por lo cual el mejorar o aumentar el control de la producción es de carácter prioritario.
2. Se asignó una ponderación de 0 a 100 cada uno de los seis factores a evaluar, siendo 0 el de menor importancia y 100 el de mayor importancia. El resultado se muestra en la Tabla 3. 3
3. Se determinó una calificación, mediante una vocal, para evaluar cada factor según el área de oportunidad. Los valores para cada letra se muestran en la Tabla 3. 4.
4. Se calificaron los factores, con base en la escala de la Tabla 3. 4. La evaluación obtenida para cada factor se muestra en la parte superior derecha de la celda, de la Tabla 3. 5, donde el factor se intercepta con el área de oportunidad.
5. Se sumaron las puntuaciones obtenidas para cada alternativa y el valor total se colocó en la celda inferior de cada alternativa, tal como se muestra en la Tabla 3. 5.

Tabla 3. 3 Ponderación de cada uno de los seis factores a evaluar (Fuente: elaboración propia).

No.	Factor	Ponderación
1	Cantidad alta de problemas.	85
2	Genera paros en la producción.	90
3	Impacto para la empresa.	95
4	Alarga el tiempo de entrega de los proyectos.	95
5	Su mejora representa un menor costo de inversión.	85
6	Mejora el control de la producción.	100

Tabla 3. 4 Escala para evaluar cada factor según el área de oportunidad (Fuente: elaboración propia).

letra	Significado	Valor
A	Impacto Excesivo	5
E	Impacto muy alto	4
I	Impacto alto	3
O	Impacto moderado	2
U	Impacto bajo	1
X	Impacto nulo	0

Tabla 3. 5 Método por puntos para selección de área de oportunidad (Fuente: elaboración propia).

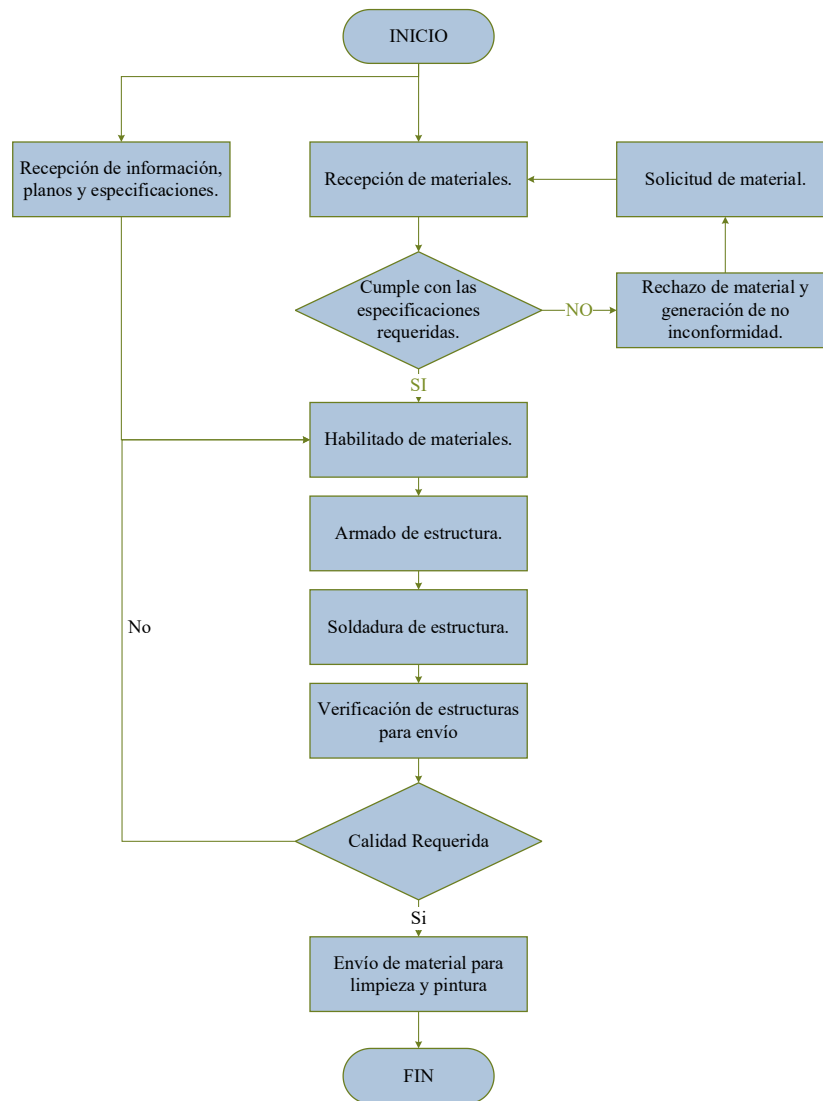
Áreas de oportunidad				
A. Área de staff técnico y de planeación.		C. Área de staff, administración y de control.		
B. Área de producción y atención al cliente.				
Factor	Ponderación	A	B	C
1. Cantidad alta de problemas.	85	I 255	E 340	O 170
2. Genera paros en la producción.	90	I 270	E 360	E 360
3. Impacto para la empresa.	95	U 95	A 475	I 285
4. Alarga el tiempo de entrega de los proyectos.	95	O 190	E 380	O 190
5. Su mejora representa un menor costo de inversión.	85	E 340	E 340	E 340
6. Mejora el control de la producción.	100	U 100	A 500	O 200
TOTAL		1250	2395	1545

La elaboración del método por puntos permitió seleccionar el área de “producción y atención al cliente”, ya que obtuvo la mayor calificación: 2395 puntos. Este resultado fue suficiente para considerarla un área de oportunidad prioritaria.

3.5 Describir área de oportunidad seleccionada: taller de estructuras metálicas

Para fines de este proyecto, con instrucciones de la gerencia y por medio de la herramienta método por puntos (Sección 2.7) se determinó que el área de oportunidad a abordar para el presente proyecto de tesis se centrará en el taller de estructuras metálicas (Sección 3.4), por tal motivo, el proceso de fabricación de estructuras (Figura 3. 1), que se realiza en la actualidad, pasa por los siguientes procesos:

- Recepción de información y materiales. Comienza con la entrega de la información necesaria, en forma de planos, por parte del departamento de ingeniería al cabo en turno. El cabo se encarga de verificar los planos, revisar la calidad del material solicitado, distribuir y designar los equipos de trabajo.
- Habilitado. En este proceso se realizan operaciones de corte, barrenado, doblado, rolado y maquinado, y es el cabo en turno el encargado de verificar que la pieza cumpla con las características deseadas.
- Armado. Se realiza el armado de estructuras mediante puntos de soldadura de acuerdo con los requerimientos solicitados en los planos.
- Soldadura de estructuras. Si la estructura es verificada y aceptada, por el cabo en turno, se procede a soldar la estructura con el tipo de soldadura requerida.
- Verificación de estructuras para envío. El jefe de taller, junto con el gerente de producción y calidad, liberan la estructura si ésta cuenta con las características deseadas.
- Envío de material para limpieza y pintura. La estructura es enviada a otro taller en donde se le remueven imperfecciones y se le aplica pintura de acuerdo con las necesidades del cliente.



*Figura 3. 1 Diagrama de proceso de fabricación de estructura
(Fuente: elaboración propia).*

3.5.1 Recepción de información y materiales

El departamento de sobrestantía es quien recibe los planos e información necesaria para iniciar con la fabricación de la estructura requerida, cabe destacar que este departamento tiene tres responsabilidades principales, las cuales son:

7. Revisar que los planos sean correctos y que no estén repetidos. Los cabos en turno son quienes se encargan de revisar dichos planos.

8. Revisar y recibir el material solicitado. El gerente de calidad, junto con el cabo en turno, revisan que el material cuente con las especificaciones adecuadas.
9. Formar equipos de trabajo y designar responsabilidades. Los cabos en turno son quienes se encargan de formar los equipos de trabajo y designar actividades de acuerdo con el tiempo y las habilidades de los integrantes del equipo, con el fin de cumplir con las especificaciones requeridas para la estructura final.

Cabe mencionar que los equipos de trabajo están conformados por dos personas, un maestro pailero y un ayudante para el proceso de habilitado y armado. Para el proceso de soldado no hay equipos; el trabajo se asigna individualmente.

3.5.2 Habilitado de materiales

El habilitado de materiales inicia con la entrega de información, en forma de planos, por parte del cabo en turno al maestro pailero para que éste inicie con la búsqueda y posteriormente el corte del material, hasta obtener la pieza deseada habilitada, es decir, que cuente con las características requeridas para que posteriormente pueda ser armada con las demás piezas. El proceso de habilitado se puede observar en la Figura 3. 2.

Para cumplir con las características requeridas en cuanto a tamaño, forma y espesor, es necesario haber realizado una, dos o más operaciones secuenciales de las que se describen a continuación:

- Corte. Esta operación consiste en cortar el material al tamaño requerido. El método que se utilizará depende del tipo de material y grosor; además, si se trata de un perfil o placa de metal, el corte puede ser mediante el uso de un pantógrafo, cortadora de perfiles o cizalla.
- Barrenado. Esta operación, que consiste en producir agujeros en una pieza con herramientas de arranque de viruta, se lleva a cabo mediante una barrenadora o un taladro radial; el uso de estas dependerá del diámetro y del número de barrenos. Si el número de barrenos es mayor que 5, generalmente esta operación se realiza de forma externa.

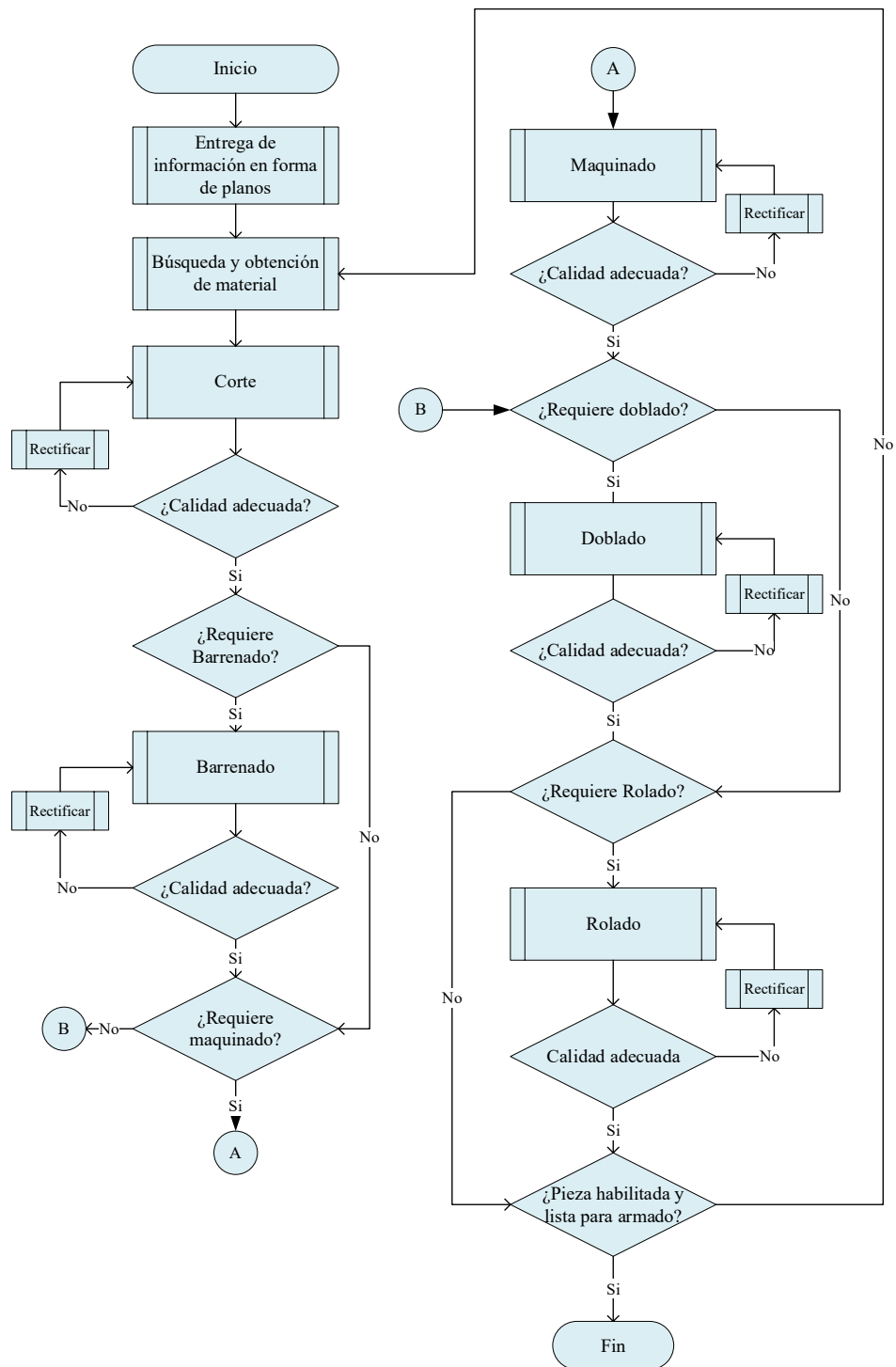


Figura 3. 2 Diagrama de proceso de habilitado (Fuente: elaboración propia).

- Maquinado. Esta operación consiste en remover, mediante una herramienta de corte, en este caso un torno convencional, todo el exceso de material, de modo que la pieza terminada tenga las características esperadas.

3.5.3 Armado de estructura

El proceso de armado inicia inmediatamente después de que las piezas se encuentren habilitadas; dicho proceso se puede observar de mejor manera en la Figura 3. 3. Cabe mencionar que, para cumplir con las características requeridas en cuanto a especificaciones, es necesario haber realizado las operaciones secuenciales que se describen a continuación:

- Recepción de información en formato de planos. La información en formato de planos es entregada por el cabo en turno al maestro pailero del equipo de trabajo.
- Búsqueda y obtención de material. El equipo de trabajo es quien realiza la búsqueda de la o las piezas para armar. Cabe mencionar que la asignación del lugar de trabajo es responsabilidad del cabo. El proceso de armado puede ser asignado en las naves uno o dos, dependiendo de los requerimientos de la estructura en cuanto a espacio.
- Trazo de medidas para colocar las piezas. De acuerdo con las especificaciones del plano se marca, mediante gis blanco, la posición exacta donde se colocará la pieza, una vez marcadas son verificadas por el equipo de trabajo, si estas medidas no son correctas, deben ser corregidas.
- Colocar piezas mediante puntos de soldadura. Una vez verificadas las marcas, el equipo procede a soldar las piezas requeridas mediante puntos estratégicos de soldadura, de manera que queden firmes y, en caso de algún error, puedan ser removidas fácilmente.
- Revisión de calidad por parte del cabo. Una vez que la estructura está terminada para el proceso de armado, ésta es verificada por el cabo en turno, quien dictamina si la estructura cuenta con la calidad adecuada.
- Liberación de estructuras para soldadura. Es el cabo en turno, el jefe de taller y el gerente de calidad quienes inspeccionan y liberan la estructura si es que ésta cuenta con los requerimientos necesarios de acuerdo con el plano.

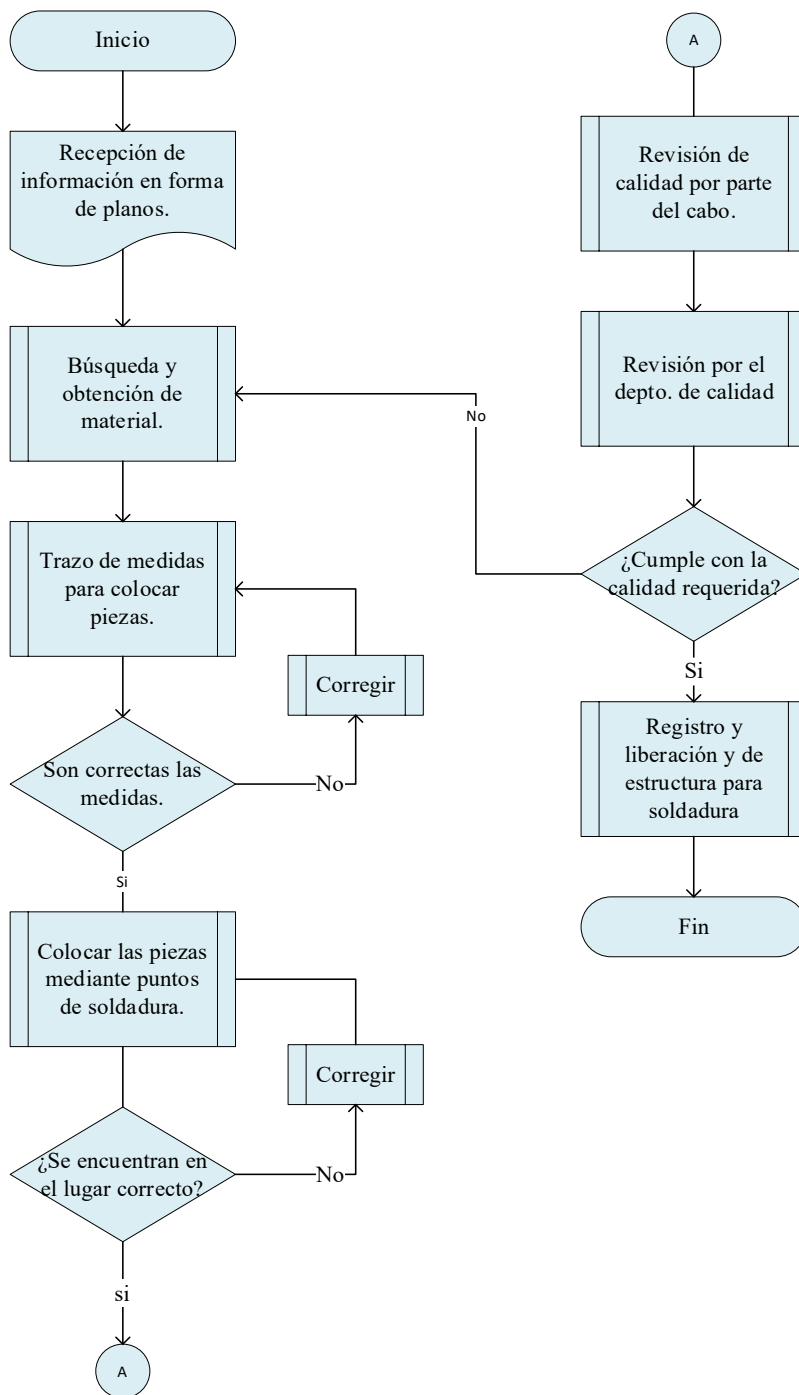


Figura 3. 3 Diagrama de proceso de armado (Fuente: elaboración propia).

3.5.4 Soldadura de estructura

Para soldar la estructura es muy importante que el proceso de armado cuente con la calidad y especificaciones adecuadas ya que de no cumplir con dichos requisitos es muy probable que la pieza final no encaje al ser colocada en obra, el proceso de soldadura se muestra en la Figura 3. 4.

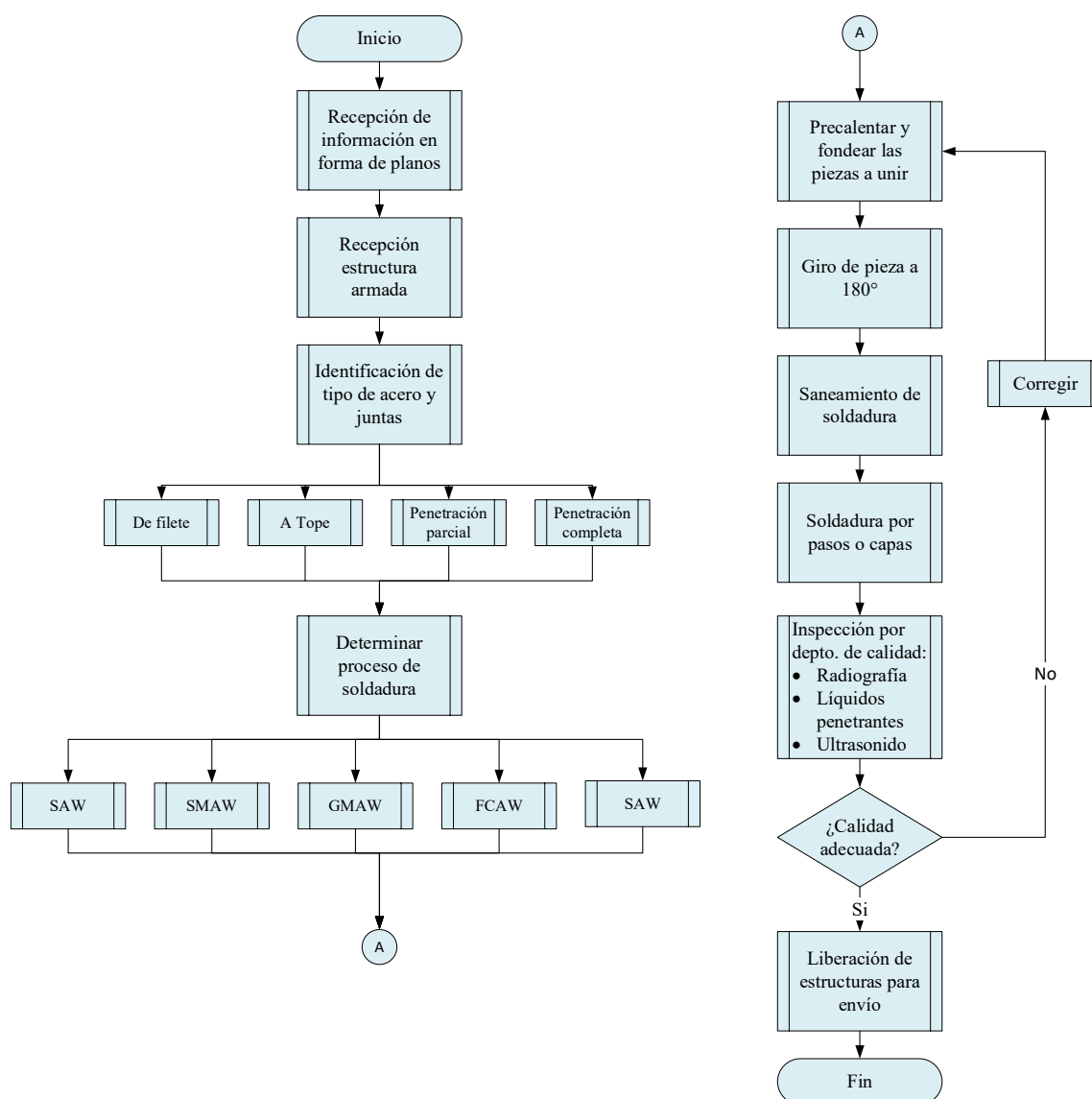


Figura 3. 4 Diagrama de soldadura de estructura (Fuente: elaboración propia).

Para lograr cumplir con la calidad requerida en la estructura, es necesario seguir las operaciones siguientes:

- Recepción de información en forma de planos. La información en forma de planos es entregada por el cabo en turno al trabajador o trabajadores según el tipo de soldadura y tamaño.
- Recepción de la estructura armada. Es responsabilidad del trabajador o de los trabajadores en turno transportar la estructura previamente armada al área de trabajo y verificar que ésta sea la correcta.
- Identificación del tipo de acero y de las juntas de soldadura. De acuerdo con las especificaciones del cliente, el cabo asigna actividades, ya que cada trabajador cuenta con certificaciones para cada tipo de soldadura específica. Los tipos de juntas de soldadura pueden ser de tres clases diferentes.
 - De filete.
 - A tope.
 - De penetración parcial.
 - Penetración completa (ranura en V).
- Determinar la técnica de soldadura. Dependiendo de las necesidades estructurales, y del cliente, es como se eligen las técnicas de soldadura, las cuales se describen a continuación:
 - SAW. Soldadura por arco sumergido. Es una técnica de soldadura en la que la fusión del metal se produce por el calentamiento de un electrodo continuo que, a diferencia de la soldadura común, en la que se ve el arco de soldadura quemándose entre el electrodo y la pieza, el arco y baño de fusión están cubiertos por un polvo granulado, del cual sus residuos sirven para proteger al operario frente a quemaduras y a la zona de la soldadura frente a la influencia de la atmósfera.
 - SMAW. Soldadura de metal por arco protegido. Es una técnica de soldadura en la cual la fusión del metal se produce debido al calor generado por un arco eléctrico que se crea entre el extremo de un electrodo y el metal base al que se va a unir. Este tipo de soldadura es útil para unir aceros (al carbono, altamente inoxidables y

de baja aleación), fundiciones y metales no férreos (aluminio, cobre, níquel y sus aleaciones).

- GMAW. Soldadura de arco con gas. También llamada soldadura de arco con alambre continuo bajo protección gaseosa o gas inerte de metal. GMAW es una técnica de soldadura en la cual el arco requiere de una alimentación automática de un electrodo protegido por un gas que es suministrado de forma externa. Es principalmente utilizada para soldar metales ferrosos y no ferrosos y unir piezas con espesores finos y gruesos.
- FCAW. Soldadura de arco con núcleo fundente. Es una técnica que destaca por sus uniones a partir de un electrodo con materiales fundentes, que proporciona los resultados que distinguen a este proceso. Tiene la opción de incluir un gas protector, lo que la asemeja, y a la vez la distingue de otras técnicas de soldadura. Es crucial para chapas con gran espesor debido a la excelente capacidad de penetración del arco.
- Integra un alambre que lo diferencia de otros tipos, ya que posee un flux interno, que estabiliza el arco cuando se ajustan los componentes químicos en el charco de la soldadura.
- GTAW. Soldadura con arco de gas tungsteno. Es un proceso de soldadura en el cual se utiliza un arco entre el electrodo de tungsteno y el punto de soldadura. Es un proceso en cual se utiliza la protección de gas sin que se aplique presión.
- Precalentar y fondear las piezas a unir. Los trabajadores precalden la pieza a soldar mediante un soplete de mano; posteriormente, se procede a realizar el fondeo de las piezas de acuerdo con el tipo de junta de soldadura.
- Giro de pieza a 180°. El equipo de trabajo con ayuda de grúas móviles voltea la pieza de trabajo para finalizar el trabajo de soldadura en el espacio restante.
- Saneamiento de soldadura. Mediante pulidoras con disco de desbaste, se retiran las impurezas de la soldadura y, posteriormente, se realiza una limpieza rápida.
- Soldadura por capas. Cuando el fondeo de las piezas es el óptimo, el trabajador realiza la soldadura de las piezas mediante capas hasta finalizar el proceso de soldadura.
- Verificación de soldadura. Es responsabilidad del cabo de soldadura verificar que la estructura soldada cumpla con las especificaciones adecuadas, mediante pruebas

químicas, la cantidad de pruebas dependen de los requerimientos del cliente, éstas pueden ser:

- Por radiografía,
- líquidos penetrantes
- Ultrasonido
- Liberación de estructuras para envío. Cuando la estructura cuente con la calidad adecuada ésta es transportada al área siete, en la nave dos, por el equipo encargado de la estructura y es el cabo de soldadura junto con el gerente de calidad, quienes se encargan de liberar la estructura, lista para ser transportada al taller de limpieza y pintura.

3.5.5 Verificación de estructuras para envío y envío de material para limpieza y pintura

Es responsabilidad del gerente de calidad y jefe de taller verificar que la estructura cuente con la calidad adecuada de acuerdo con los planos, si la calidad es adecuada se elabora el papeleo para permitir que ésta sea enviada al taller de limpieza y pintura mediante tráileres, donde se le aplicaran dos procesos más los cuales son limpieza de la estructura y por último la aplicación de pintura de acuerdo con las especificaciones del cliente.

Una vez que la pintura se halla fijado y cumpla con las especificaciones requeridas para el proceso de limpieza y pintura, ésta es enviada al lugar de montaje, y en caso de no requerirlo la estructura es entregada al cliente.

3.6 Identificación de actividades productivas, contributivas y, no contributivas del taller de estructuras metálicas, con la prueba de los 5 minutos

De acuerdo con la metodología, el quinto paso consistió en identificar actividades que contribuyen al mal control de la producción: productivas, contributivas y, no contributivas, mediante las siguientes actividades:

- Definir procesos para la prueba de los 5 minutos.
- Realizar prueba de los cinco minutos en habilitado.
- Realizar prueba de los cinco minutos en armado.
- Realizar prueba de los cinco minutos en soldadura.

3.6.1 Definir procesos para la prueba de los 5 minutos

De acuerdo con el jefe de talleres los procesos de recepción de información y materiales y verificación de estructuras no fueron tomadas en cuenta para prueba de los 5 minutos por las siguientes características:

1. Sólo suceden al inicio y fin de cada proyecto.
2. Los tiempos para estos procesos suelen ser variados y tardados.

Con base en la decisión del jefe del taller, la prueba de los 5 minutos se aplicó a los procesos de habilitado, armado y soldadura que se realizan en el taller de estructuras metálicas.

3.6.2 Realizar prueba de los 5 minutos en habilitado

Para conocer la medición del desempeño actual del sistema de producción, en el proceso de habilitado, mediante la cuantificación de las pérdidas de las actividades de construcción, se aplicó la prueba de los 5 minutos en las siguientes tres etapas:

1. Actividades antes de la prueba.
2. Actividades durante la prueba.
3. Actividades después de la prueba.

3.6.2.1 Actividades antes de la prueba

Las actividades realizadas antes de la aplicación de la presente herramienta consistieron en los puntos siguientes:

- Preparar materiales a utilizar: cronómetro y formato de prueba (Figura 3. 5)

- Asignar a una persona para realizar mediciones. El autor del presente proyecto fue el encargado de realizar las mediciones de la presente prueba.

Fecha: _____
Encuestador: _____

#	Hora	trabajador / Cargo	Área	Actividad	Tiempo			Observaciones
					TP	TC	TNC	

Figura 3. 5 Formato de la prueba de los 5 minutos (Fuente: elaboración propia).

- Determinar las actividades a considerar como tiempos productivos, tiempos contributivos y tiempos no contributivos. Para realizar esta actividad, se consideró la información mostrada en la Sección 2.4 y la ayuda de los cabos del taller. El resultado fue el siguiente:
 - Tiempo productivo (TP). Es el tiempo que el trabajador destina a la producción de alguna estructura metálica. Las actividades que se consideraron como productivas se muestran en la Tabla 3. 6.
 - Tiempo contributivo (TC). Es el tiempo que el trabajador dedica a la contribución de la producción de alguna estructura metálica. Las actividades que se consideraron como contributivas se muestran en la Tabla 3. 7.
 - Tiempo no contributivo (TNC). Es el tiempo que el trabajador no aprovecha para trabajar, como, por ejemplo, el descanso, tiempo ocioso, entre otros. Las actividades que se consideraron como no contributivas se muestran en la Tabla 3. 8.

Tabla 3. 6 Tiempo productivo
(Fuente: Elaboración propia).

Tiempo productivo	
No	Actividad
1	Corte
2	Soldar
3	doblar
4	Rolar
5	Maquinar
6	Pulir
7	calentamiento

Tabla 3. 7 Tiempo contributivo (Fuente: Elaboración propia).

Tiempo contributivo		
No	Actividad	Descripción
8	Mediciones	Mediciones para verificar la correcta posición de la pieza
9	Instrucciones	Verificar el correcto procedimiento por realizar
10	Transporte	Movimiento de lugar de la estructura o pieza mediante maquinas.
11	Protección	Colocación de equipo de protección personal (EPP)
12	Preparación	Actividad necesaria para desarrollo del proceso.
13	Desplazamientos	Movimiento del personal para cambiar el ángulo de trabajo
14	Limpieza	Limpieza de la pieza de trabajo

Tabla 3. 8 Tiempos no contributivos (Fuente: Elaboración propia).

Tiempos no contributivos			
No	Actividad	clave	Descripción
15	Esperas	15a	Falta de equipos y/o herramientas
		15b	Falta de materiales
		15c	Actividad previa sin terminar o mal ejecutada
		15d	Falta de instrucciones o planos
		15e	Mal tiempo
		15f	Reparación de material o equipo
16	Desplazamientos	16a	Falta de recursos
		16b	Falta de supervisión
		16c	Actividad previa sin terminar
		16d	Malas condiciones de trabajo
17	Ocio	17a	Conversando
		17b	Actitud del trabajador

		17c	Falta de supervisión o instrucciones
		17d	Mala distribución del personal
18	Descanso	18a	Agotamiento
		18b	Mala planeación
		18c	Inicio de hora de comida
		18d	Regreso de hora de comida
19	Necesidades fisiológicas	19a	Ir al baño
		19b	Hidratación
		19c	Aseo personal
		19d	Otros
20	Reprocesos	20a	Trabajo mal realizado
		20b	Trabajo dañado por un equipo diferente
		20c	Falta de planeación
		20d	Cambio de especificaciones en la obra
21	Transporte	21a	Mala distribución de las actividades
		21b	Falta de equipos de transporte
		21c	Métodos no apropiados

- Determinar el tamaño de muestra.

Para calcular el tamaño de muestra representativa, de la población bajo estudio se consideró lo siguiente:

- Utilizar la Ecuación 2.4 (Sección 2.6.2)
- Que la distribución esperada, entre trabajo productivo y no productivo, es de 50:50
- Un nivel de confianza del 95%
- Un límite de error del 5%.
- 36 trabajadores para cada proceso: habilitado, armado y soldadura; debido a que el taller de estructuras cuenta con 108 trabajadores.

Al sustituir los valores en la Ecuación 2.4 se obtuvo un valor de 26.38 (Ecuación 3.1) lo cual indica que se realizaran 26 mediciones para el proceso de habilitado en la prueba de los cinco minutos.

$$n = \frac{36*(1.96)^2*0.50*0.50}{(0.10)^2*(36-1)+(1.96)^2*0.50*0.50} = 26.38 \approx 26 \dots\dots\dots(3.1)$$

3.6.2.2 Actividades durante la prueba

Las actividades llevadas a cabo durante la aplicación de la prueba de los 5 minutos fueron las siguientes:

- Ir al lugar de trabajo. Dirigirse al lugar de trabajo donde se encontraban los trabajadores realizando la actividad a medir.
- Notificar al cabo o cabos en turno. Se realizó una plática con los cabos en turno para ponerlos al tanto del objetivo de la prueba de los 5 minutos.
- Notificar a los equipos de trabajo. Se realizó una plática con los trabajadores para que realicen sus actividades de manera normal, y la medición no modifique su actuar.
- Realizar la medición. La toma de tiempos se realizó en un lugar que permitió observar a los trabajadores durante cinco minutos, de las TP, TC y TNC.

Las mediciones de tiempo se anotaron en el formato de la Figura 3. 5, previamente mostrado en la Sección 3.6.2.1, considerando aquellos factores externos que fueron de relevancia, además de las observaciones pertinentes en cada medición para tomar conclusiones al final de la prueba.

Una muestra de los registros realizados se ilustra en el Anexo 1

3.6.2.3 Actividades después de la prueba

Para obtener los resultados de la aplicación de la prueba de los cinco minutos, para el proceso de habilitado, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Registrar en una hoja de cálculo los datos obtenidos.
Los datos anotados en los formatos de la prueba de los cinco minutos fueron registrados en una hoja de cálculo del programa *Excel*.
Una muestra se ilustra en el Anexo 2.
- Calcular y graficar, el porcentaje de cada uno de los tiempos TP, TC y TNP.
Mediante el programa *Excel* se graficaron y tabularon los datos más relevantes de la prueba de los cinco minutos para el proceso de habilitado, con el fin de obtener un panorama del nivel de productividad que tiene cada actividad.
Las gráficas resultantes se ilustran en la Figura 3. 6, en ellas se observa lo siguiente:

- La mayor parte del tiempo empleado en actividades de construcción en el proceso de habilitado se ocupa en actividades contributivas (Figura 3. 6c): siendo éste de 37.0%, y de estas actividades contributivas las de mayor porcentaje son para mediciones (Figura 3. 6a): 30.3% del tiempo; y preparación: 24.7% del tiempo.
- Para las actividades no contributivas (Figura 3. 6c) se utiliza un 31.4% del tiempo total, destacando que, en su mayoría, esto es provocado por actividades denominadas como descansos (Figura 3. 6b) con un 28.1% del tiempo; y por actividades de ocio: 25.5%.

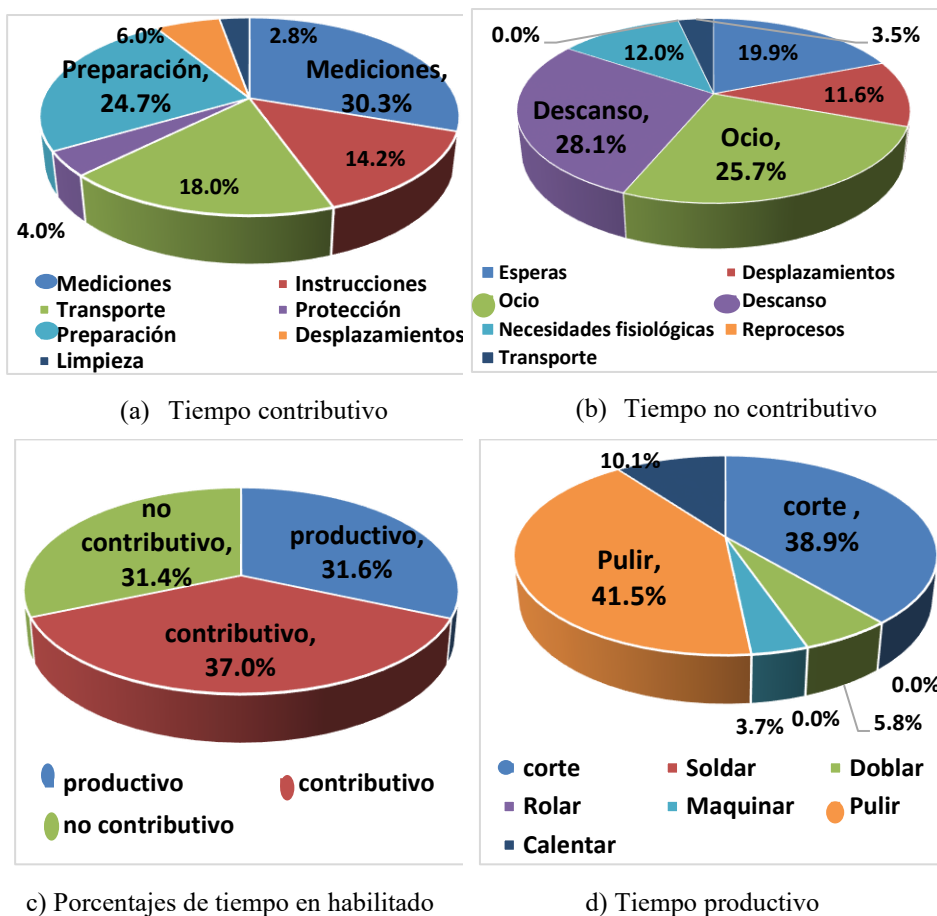


Figura 3. 6 Porcentajes de tiempo en el proceso de habilitado: a) Tiempo contributivo. b) Tiempo no contributivo. c) Porcentajes de tiempo en habilitado. d) Tiempo productivo (Fuente: elaboración propia).

- Tabular los datos obtenidos.

Mediante el programa *Excel* se tabularon los datos (Tabla 3. 9), destacando que los datos se ordenaron de mayor a menor según el porcentaje de tiempo de cada actividad resultante en la prueba de los cinco minutos.

Tabla 3. 9 Porcentajes de los TP, TC y TNC en el proceso de habilitado (Fuente: elaboración propia).

Tiempo	Actividad	% de tiempo	% Total
Productivo (TP)	Pulir	41.50%	31.6%
	Corte	38.90%	
	Calentar	10.10%	
	Doblar	5.80%	
	Maquinar	3.70%	
	Soldar	0%	
	Rolar	0%	
Contributivo (TC)	Mediciones	30.30%	37.0%
	Preparación	24.70%	
	Transporte	18.00%	
	Instrucciones	14.20%	
	Desplazamientos	6.00%	
	protección	4.00%	
	Limpieza	2.80%	
No contributivo (TNC)	Descanso	27.50%	31.4%
	Ocio	25.50%	
	Espera	19.90%	
	Necesidades fisiológicas	12.00%	
	Desplazamientos	11.60%	
	Transporte	3.50%	
	Reprocesos	0%	

3.6.3 Realizar prueba de los 5 minutos en armado

Para conocer la medición del desempeño actual del sistema de producción, en el proceso de armado, mediante la cuantificación de las pérdidas de las actividades de construcción, se aplicó la prueba de los 5 minutos en las siguientes tres etapas:

1. Actividades antes de la prueba.
2. Actividades durante la prueba.
3. Actividades después de la prueba.

3.6.3.1 Actividades antes de la prueba

Para la presente etapa se siguió el mismo procedimiento del proceso de habilitado mostrado en la Sección 3.6.2.1.

1. Preparar materiales a utilizar: cronómetro y formato de prueba, mostrado previamente en la Figura 3. 5.
2. Asignar a una persona para realizar mediciones. El autor del presente proyecto fue el encargado de realizar las mediciones de la presente prueba.
3. Determinar las actividades a considerar como tiempos productivos, tiempos contributivos y tiempos no contributivos
 - Tiempo productivo (TP). Las actividades que se consideraron como productivas se mostraron en la Tabla 3. 6
 - Tiempo contributivo (TC). Las actividades que se consideraron como contributivas se mostraron en la Tabla 3. 7.
 - Tiempo no contributivo (TNC). Las actividades que se consideraron como no contributivas se mostraron en la Tabla 3. 8.
4. Determinar el tamaño de muestra. Para calcular el tamaño de muestra representativa, de la población bajo estudio se consideró lo siguiente:
 - Utilizar la Ecuación 2.4 (Sección 2.6.2)
 - Que la distribución esperada, entre trabajo productivo y no productivo, es de 50:50
 - Un nivel de confianza del 95%
 - Un límite de error del 5%.
 - 36 trabajadores para el proceso de armado.
 - Al sustituir los valores en la Ecuación 2.4 se obtuvo un valor de 26.38 (Ecuación 3.1) lo cual indica que se realizaran 26 mediciones para el proceso de armado en la prueba de los cinco minutos.

3.6.3.2 Actividades durante la prueba

Para la presente etapa se siguió el mismo procedimiento del proceso de habilitado mostrado en la Sección 3.6.2.2.

1. Ir al lugar de trabajo. Dirigirse al lugar de trabajo donde se encontraban los trabajadores.
2. Notificar al cabo o cabos en turno. Se realizó una plática con los cabos en turno.
3. Notificar a los equipos de trabajo. Se realizó una plática con los trabajadores.
4. Realizar la medición. La toma de tiempos se realizó en un lugar que permitió observar a los trabajadores durante cinco minutos, considerando factores externos de relevancia, además de las observaciones pertinentes en cada medición.

3.6.3.3 Actividades después de la prueba

Para obtener los resultados de la aplicación de la prueba de los cinco minutos, para el proceso de armado, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Registrar en una hoja de cálculo los datos obtenidos.
Los datos anotados en los formatos de la prueba de los cinco minutos fueron registrados en una hoja de cálculo del programa *Excel*.
- Calcular y graficar, el porcentaje de cada uno de los tiempos TP, TC y TNP.
Mediante el programa *Excel* se graficaron y tabularon los datos más relevantes de la prueba de los cinco minutos para el proceso de armado, con el fin de obtener un panorama del nivel de productividad que tiene cada actividad.

Las gráficas resultantes se ilustran en la Tabla 3. 7, en ellas se observa lo siguiente:

- La mayor parte del tiempo empleado en actividades de construcción se ocupa en actividades contributivas (Figura 3. 7c): siendo éste de 52.0%. Y de estas actividades contributivas las de mayor porcentaje son para mediciones (Figura 3. 7a): 34.9% del tiempo; y preparación: 32.8% del tiempo.
- Para las actividades no contributivas (Figura 3. 7c) se utiliza un 28.4% del tiempo total, destacando que, en su mayoría, esto es provocado por actividades denominadas como ocio (Figura 3. 7b): 44.7% del tiempo; y por actividades de descanso: 18.7% del tiempo.

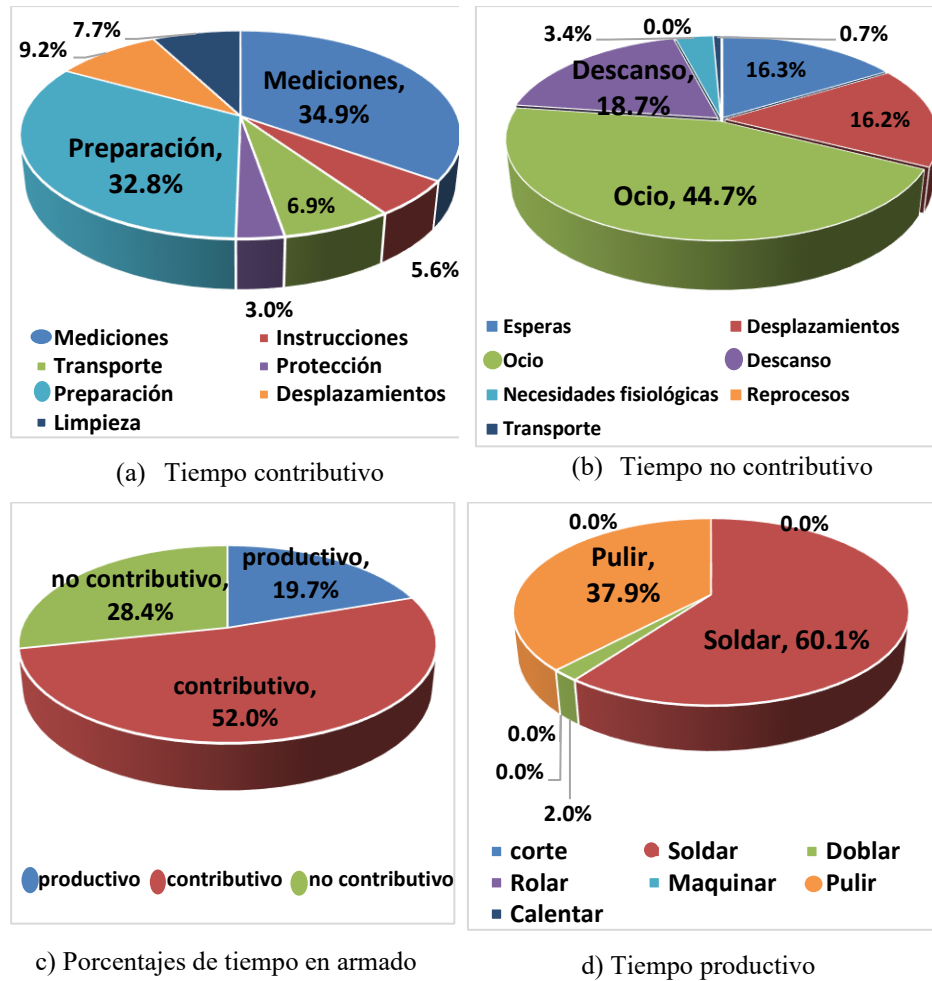


Figura 3. 7 Porcentaje de tiempo en el proceso de armado: a) Tiempo contributivo. b) Tiempo no contributivo. c) Porcentajes de tiempo en armado. d) Tiempo productivo (Fuente: elaboración propia).

- Tabular los datos obtenidos.

Mediante el programa *Excel* se tabularon los datos obtenidos (Tabla 3. 10), destacando que los datos se ordenaron de mayor a menor según el porcentaje de tiempo de cada actividad resultante en la prueba de los cinco minutos.

Tabla 3. 10 Porcentajes de los TP, TC y TNC en el proceso de armado (Fuente: elaboración propia).

Tiempo	Actividad	% de tiempo	% Total
Productivo (TP)	Soldar	60.10%	19.7%
	Pulir	37.90%	
	Doblar	2%	
	Corte	0%	
	Rolar	0%	
	Maquinar	0%	
	Calentar	0%	
Contributivo (TC)	Mediciones	34.90%	52.0%
	Preparación	32.80%	
	Desplazamientos	9.20%	
	Limpieza	7.70%	
	Transporte	6.90%	
	Instrucciones	5.60%	
	protección	3.00%	
No contributivo (TNC)	Ocio	44.70%	28.4%
	Descanso	18.70%	
	Espera	16.30%	
	Desplazamientos	16.20%	
	Necesidades fisiológicas	3.40%	
	Transporte	0.70%	
	Reprocesos	0%	

3.6.4 Realizar prueba de los 5 minutos en soldadura

Para conocer la medición del desempeño actual del sistema de producción en el proceso de soldadura, mediante la cuantificación de las pérdidas en las actividades de construcción, se aplicó la prueba de los 5 minutos en las siguientes tres etapas.

1. Actividades antes de la prueba.
2. Actividades durante la prueba.
3. Actividades después de la prueba.

3.6.4.1 Actividades antes de la prueba

Para la presente etapa se siguió el mismo procedimiento del proceso de habilitado mostrado en la Sección 3.6.2.1.

1. Preparar materiales a utilizar: cronómetro y formato de prueba, mostrado previamente en la Figura 3. 5.

2. Asignar a una persona para realizar mediciones. El autor de este proyecto fue el encargado de realizar las mediciones de la presente prueba.
3. Determinar las actividades a considerar como tiempos productivos, tiempos contributivos y tiempos no contributivos
 - Tiempo productivo (TP). Las actividades que se consideraron como productivas se mostraron en la Tabla 3. 6..
 - Tiempo contributivo (TC). Las actividades que se consideraron como contributivas se mostraron en la Tabla 3. 7.
 - Tiempo no contributivo (TNC). Las actividades que se consideraron como no contributivas se mostraron en la Tabla 3. 8.
4. Determinar el tamaño de la muestra. Para calcular el tamaño de muestra representativa de la población bajo estudio, se consideró lo siguiente:
 - Utilizar la Ecuación 2.4 (Sección 2.6.2)
 - Que la distribución esperada, entre trabajo productivo y no productivo, es de 50:50
 - Un nivel de confianza del 95%
 - Un límite de error del 5%.
 - 36 trabajadores para el proceso de armado.
 - Al sustituir los valores en la Ecuación 2.4 se obtuvo un valor de 26.38 (Ecuación 3.2), lo cual indica que se realizarán 26 mediciones para el proceso de soldadura en la prueba de los cinco minutos.

3.6.4.2 Actividades durante la prueba

Para la presente etapa, se siguió el mismo procedimiento del proceso de habilitado mostrado en la Sección 3.6.2.2.

1. Ir al lugar de trabajo. Dirigirse al lugar de trabajo donde se encontraban los trabajadores.
2. Notificar al cabo o cabos en turno. Se realizó una plática con los cabos en turno.
3. Notificar a los equipos de trabajo. Se realizó una plática con los trabajadores.

4. Realizar la medición. La toma de tiempos se realizó en un lugar que permitió observar a los trabajadores durante cinco minutos, considerando factores externos de relevancia, además de las observaciones pertinentes en cada medición.

3.6.4.3 Actividades después de la prueba

Para obtener los resultados de la aplicación de la prueba de los cinco minutos para el proceso de soldadura, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Registrar los datos obtenidos en una hoja de cálculo. Los datos anotados en los formatos de la prueba de los cinco minutos fueron registrados en una hoja de cálculo del programa *Excel*.
- Calcular y graficar, el porcentaje de cada uno de los tiempos TP, TC y TNP.

Mediante el programa *Excel* se graficaron y tabularon los datos más relevantes de la prueba de los cinco minutos para el proceso de soldadura, con el fin de obtener un panorama del nivel de productividad que tiene cada actividad.

Las gráficas resultantes se ilustran en la Tabla 3. 8, en ellas se observa lo siguiente:

- La mayor parte del tiempo empleado en actividades de construcción se ocupa en actividades no contributivas (Figura 3. 8c): siendo éste de 32%. Y de estas actividades no contributivas las de mayor porcentaje son de descanso (Figura 3. 8a): 46.0% del tiempo; y ocio: 30.9% del tiempo.
- Para las actividades contributivas (Figura 3. 8b) se utiliza un 27% del tiempo total, destacando que, en su mayoría, esto es provocado por actividades denominadas como preparación (Figura 3. 8): 46.4% del tiempo; y por actividades de desplazamiento: 16.1% del tiempo.

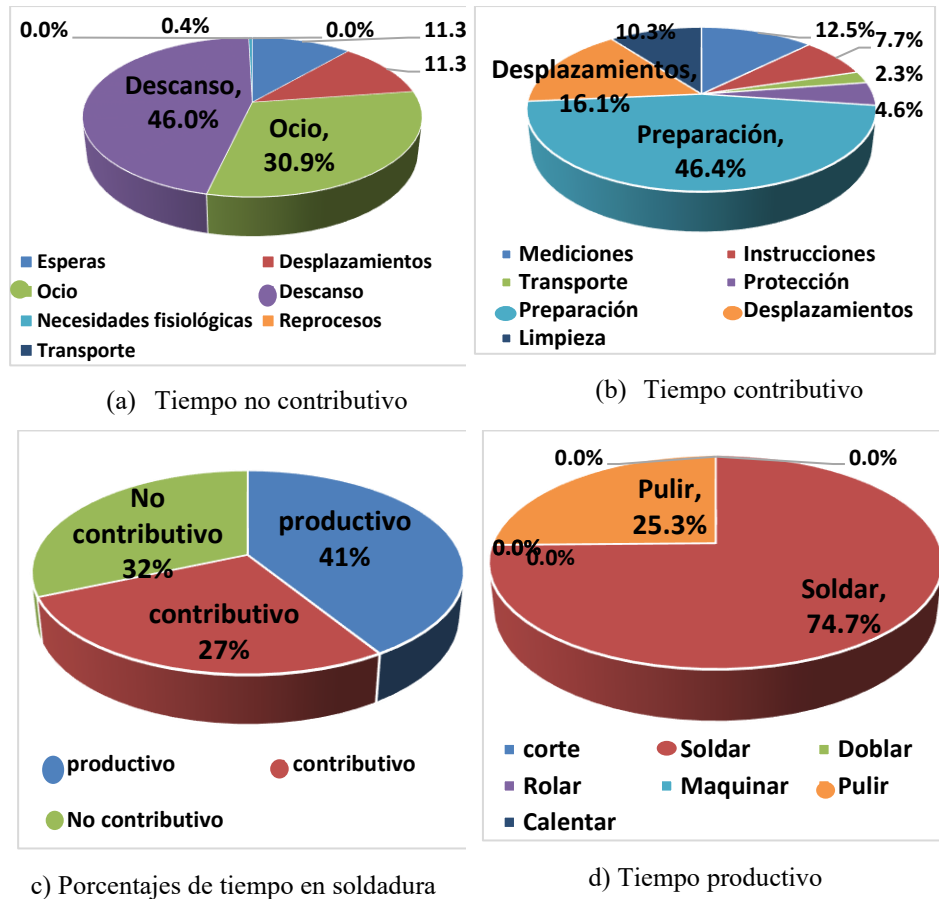


Figura 3. 8 Porcentaje de tiempo en el proceso de soldadura: a) Tiempo no contributivo. b) Tiempo contributivo. c) Porcentajes de tiempo en soldadura. d) Tiempo productivo (Fuente: elaboración propia).

- Tabular los datos obtenidos.

Mediante el programa *Excel* se tabularon los datos (Tabla 3. 11), destacando que los datos se ordenaron de mayor a menor según el porcentaje de tiempo de cada actividad resultante en la prueba de los cinco minutos.

Tabla 3. 11 Porcentajes de los TP, TC y TNC en el proceso de soldadura (Fuente: elaboración propia).

Tiempo	Actividad	Habilitado	Total
Productivo (TP)	Soldar	74.70%	41.1%
	Pulir	25.30%	
	Corte	0%	
	Doblar	0%	
	Rolar	0%	
	Maquinar	0%	
	Calentar	0%	
Contributivo (TC)	Preparación	46.40%	27.3%
	Desplazamientos	16.10%	
	Mediciones	12.50%	
	Limpieza	10.30%	
	Instrucciones	7.70%	
	protección	4.60%	
	Transporte	2.30%	
No contributivo (TNC)	Descanso	46.00%	31.5%
	Ocio	30.90%	
	Espera	11.30%	
	Desplazamientos	11.30%	
	Necesidades fisiológicas	0.40%	
	Reprocesos	0%	
	Transporte	0%	

3.7 Realizar *VSM* del área en estudio

De acuerdo con la metodología propuesta para obtener un panorama general del taller de estructuras metálicas, después de realizar la prueba de los cinco minutos, se procedió a realizar el *Value Stream Mapping (VSM)*, de la situación actual, teniendo como objetivos la identificación del desperdicio, la cadena de flujo de valor y de aquellas actividades que pudieran suponer una ventaja competitiva para la empresa en estudio.

Por lo anterior, y de acuerdo con los pasos mencionados por Pellicer Armiñana (2009), en la Sección 2.3.2, se aplicó la herramienta *VSM* mediante las siguientes actividades:

- Identificación de familias de productos y sus procesos.
- Selección de la familia de productos.
- Selección de indicadores.
- Medición de indicadores.
- Elaboración del mapa del estado actual.

3.7.1 Identificación de familias de productos y sus procesos

Para identificar los diferentes productos, realizados por la empresa, se realizaron las siguientes actividades:

- Se recabó información documental de los proyectos realizados de enero 2023 a enero 2024. La Tabla 3. 12 muestra proyectos realizados en dicho lapso. La tabla de todos los proyectos realizados en el periodo antes mencionado se ilustra en el Anexo 3:

Tabla 3. 12 Muestra de proyectos realizados por la empresa de enero 2023 a enero 2024 (Fuente: elaboración propia).

Orden de fabricación	Proyecto
2023-001	Suministro <i>skydging system</i>
2023-002	Suministro nave almacén de residuos
2023-003	Suministro protección de cabina
2023-004	Suministro casetas de servicios
2023-005	Suministro para 2 <i>claws</i> y 174 <i>pins</i>
2023-006	Suministro para 2 estructuras <i>PONY</i>
2023-007	Suministro cobertizo coples-1
2022-003	Suministro para estructura racks, <i>MUD PUMB</i>
2022-003	Suministro estructura <i>MAST STAND FIXED</i>
2024-001	Suministro traves balance

- Se llevó a cabo un análisis de los proyectos detallados en la Tabla 3. 12 el cual reveló la existencia de varios productos comunes que deben ser fabricados para su desarrollo adecuado. Estos productos son los siguientes:
 - Columnas.
 - Traves.
 - Vigas.
 - Barandales.
 - Contravientos.
 - Escaleras.
 - Tanques.
 - Portones.
- Se identificaron los procesos por los que pasa cada uno de los productos comunes, recopilando información mediante recorridos y entrevistas al personal obrero

involucrado en el proceso de producción. En la Tabla 3. 13 se presentan los resultados.

- Se agruparon los productos comunes según las similitudes en el flujo de sus procesos. Como resultado, se obtuvieron tres familias de productos, las cuales se detallan en la Tabla 3. 13.

Tabla 3. 13 Familias de productos en el proceso de producción (Fuente: elaboración propia).

Familias de productos	Productos	Procesos									Núm. de actividades
		Enderezado	Corte	Doblado	Rolado	Pulido	Armado	Soldadura	barrenado	Limpieza mecánica	
1	Columnas	X	X			X	X	X	X	X	7
	Trabes	X	X			X	X	X	X	X	7
	Vigas	X	X			X	X	X	X	X	7
2	Barandales		X	X		X	X	X		X	6
	Contravientos		X	X		X	X	X		X	6
	Escaleras		X	X		X	X	X		X	6
3	Tanques		X		X	X	X	X		X	6
	Portones		X			X	X	X		X	5

3.7.2 Selección de la familia de productos

Para seleccionar a la familia de productos, con mayor volumen de producción, para la realización del *VSM*, del estado actual, se realizó lo siguiente:

- Se recabó información del volumen de producción, en kilogramos (kg), de cada producto común realizado, de cada familia de productos (Tabla 3. 13), necesario para los proyectos de la Tabla 3. 12; el resultado obtenido se muestra en la Tabla 3. 14.

Tabla 3. 14 Volumen de producción de las familias de productos (Fuente: elaboración propia).

Familia de productos	Producto común	Núm. De productos	Volumen de producción	Volumen de producción por familia
1	Columnas	105	315,000	46,000
	Trabes	56	140,000	
	Vigas	70	9,000	
2	Barandales	40	4,000	13,400
	Contravientos	10	9,000	
	Escaleras	20	400	
3	Tanques	3	27,000	33,400

- Se realizó un análisis de Pareto (Figura 3. 9), en él se observó que más del 90% del volumen de producción total se debe a la familia 1, la cual se forma de los tres productos comunes: columnas, trabes y vigas.
- Se seleccionó a la familia No. 1, ya que es la que tiene mayor volumen de producción. Con base en esta selección, se consideró a esta familia como una familia estratégica por dos razones:
 - Por el volumen de producción.
 - Porque los cabos mencionaron que, si ésta se demora, todo el tren de actividades se retrasará, y si ésta puede adelantarse, entonces permitirá que las demás actividades puedan comenzar con anticipación.

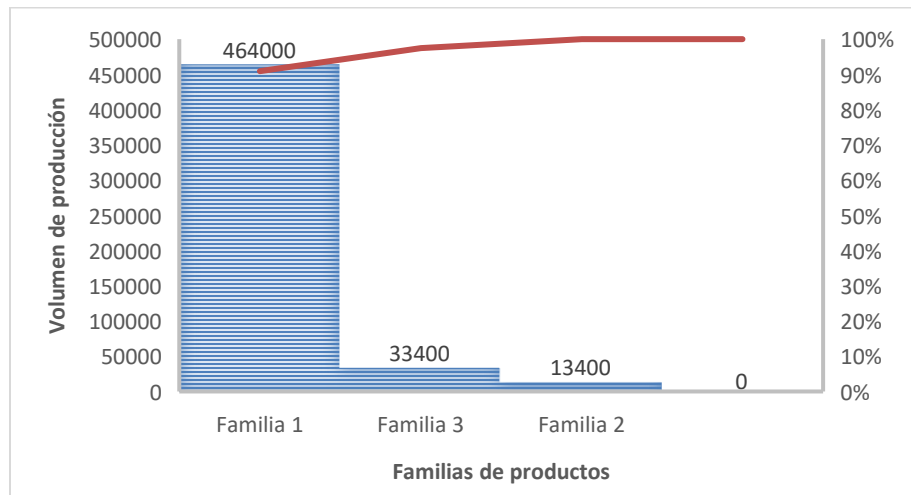


Figura 3. 9 Diagrama de Pareto de familias de productos (Fuente: elaboración propia).

3.7.3 Selección de indicadores

Para seleccionar los indicadores a medir, se realizó una investigación documental centrada en aspectos relacionados con la construcción. Este enfoque permitió identificar y calcular indicadores de alta relevancia para la familia de productos 1: columnas, trabes y vigas (Tabla 3. 13). Los indicadores seleccionados fueron los siguientes:

- Tiempo de ciclo (TC). Es el tiempo promedio que tarda cada proceso en completar un producto de la familia 1.
- % Tiempo disponible promedio (TD): Es el porcentaje de tiempo promedio disponible que existe para producir una unidad por turno.
- % *Uptime*: Es el porcentaje promedio de tiempo real disponible en que los trabajadores laboran por turno. Se calcula mediante la Ecuación 3.2.

$$\% \text{ Uptime} = 100\% \text{ del TD} - \% \text{ paros} \dots\dots\dots (3.2)$$

- Tiempo de ciclo total (TCT). Es la duración, en horas, desde que inició hasta completar el proyecto.
- % de Tiempo de ciclo total trabajado (%TCT): Es el porcentaje de tiempo real promedio que se ocupó para la elaboración de algún producto durante el proyecto.
- Inventario en proceso (IP). Es la cantidad de material acumulado que está esperando a ser procesado o que no está siendo transformado por ninguna de las operaciones en la estación de trabajo, lo cual se espera permita identificar las áreas con mayor cuello de botella.
- Número de operadores (#O). Es la cantidad de trabajadores que operan en cada proceso determinado.
- Tiempo de preparación (TP). Es el tiempo que se emplea para preparar una máquina, equipo u operación antes de iniciar un proceso; es decir, es el tiempo promedio que tarda desde que termina un proceso determinado hasta que se inicia el siguiente.
- Desperdicios de material (DP). Es la cantidad de material en metros desperdiciado en la producción de un determinado producto, medido en cada proceso.

- Tiempo de transferencia (TT). Es el tiempo para transportar una cantidad de producto que ya ha sido sometido a un proceso a otro nuevo.
- Retrabajos (%R). Se refiere al porcentaje de reprocesamiento de piezas defectuosas o que no cumplen con los requerimientos solicitados, lo que genera más trabajo de lo habitual.
- Demanda (D). Se refiere a la demanda de piezas requerida para cada proyecto. Esta varía según el proceso en el que se encuentre el proyecto y la estación de trabajo.
- Actividades de no valor añadido (ANVA): Se refiere al tiempo que los trabajadores dedican a actividades que no agregan ningún valor (Tabla 3. 8) a la estructura final y deben ser eliminadas.
- Actividades necesarias que no agregan valor (ANNV): Se refiere al tiempo que los trabajadores dedican a actividades que son necesarias, pero no agregan valor a la estructura final (Éstos se mostraron previamente en la Tabla 3. 7 de la Sección 3.6.2.1) y que deben ser reducidas dependiendo de su importancia para la empresa.

3.7.4 Medición de indicadores

La referencia de partida fue el proyecto con orden de fabricación 2024-001 denominado “Trabes balanza”, mencionado previamente en la Tabla 3. 12, debido a que implica la producción de trabes y columnas. Este proyecto, para su realización, contó con 11 estaciones de trabajo (Figura 3.10), en las que se desarrolló el proceso de producción para fabricar la estructura deseada. Por consiguiente, la medición de los indicadores, previamente seleccionados, consideró las 11 estaciones de trabajo.

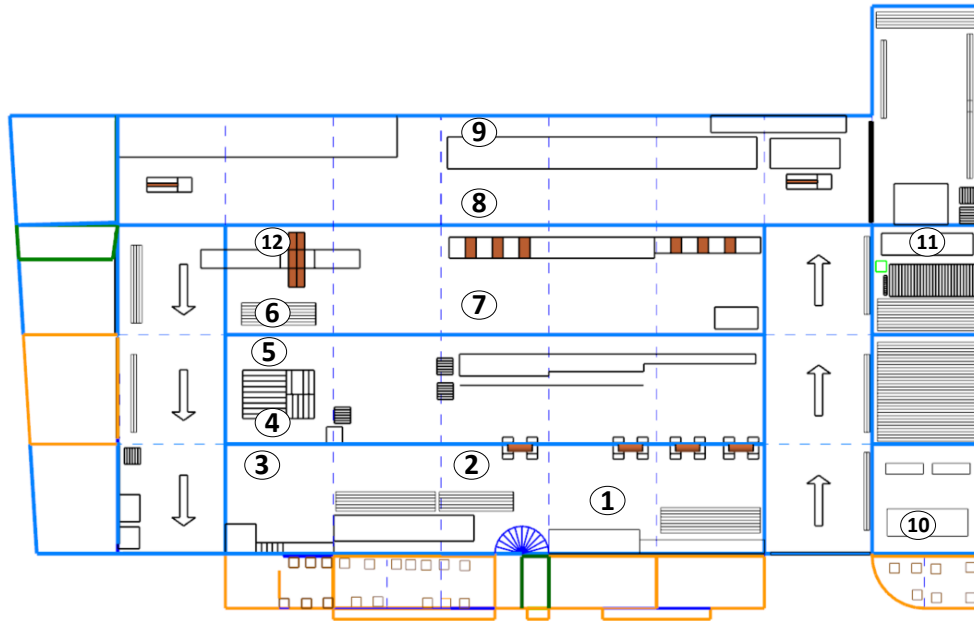


Figura 3. 10 Estaciones de trabajo para la realización del VSM actual en el proyecto con O.F. 2024-001 (Fuente: elaboración propia).

Las mediciones de los indicadores, que se llevaron a cabo en un periodo de 5 semanas, se realizaron mediante las siguientes actividades:

- Tiempo de ciclo (TC): Para determinar el TC se registró el tiempo promedio en minutos que tarda un producto de la familia 1 (Tabla 3. 14) en completar cada proceso, utilizando un cronómetro manual. Los datos de las mediciones en cada estación se muestran en la Tabla 3. 15.
- Tiempo disponible (TD): es la duración, en horas, de un turno de trabajo.
- % de Tiempo disponible promedio (%TD): Para determinar el TD promedio se contabilizó el tiempo en horas que se tienen disponibles para la elaboración de algún producto por turno, descartando los tiempos de descanso. El resultado se muestra en la Tabla 3. 16.

Tabla 3. 15 Datos recopilados del Tiempo de ciclo por estación de trabajo (Fuente: elaboración propia).

Proceso		Estación de trabajo	Tiempo de ciclo (minutos)	Promedio
Habilitado	Empate	1	469	500.00
		2	560	
		3	630	
		4	411	
		8	430	
	Corte	10	140.00	135.00
		11	130.00	
	pulido	1	70.00	72.86
		2	60.00	
		3	80.00	
		4	120.00	
		5	90.00	
8		50.00		
9		40.00		
Soldadura de empate		6	85.00	75.00
		7	60.00	
		12	80.00	
Pre-enderezado		1	240.00	217.50
		2	160.00	
		3	270.00	
		8	200.00	
Armado		1	760.00	770.00
		2	690.00	
		3	750.00	
		4	800.00	
		5	805.00	
		9	815.00	
Soldadura		6	274.00	289.00
		7	303.00	
		8	290.00	
Enderezado final		1	250.00	260.00
		2	220.00	
		3	310.00	

Tabla 3. 16 Datos para el cálculo del TD (Fuente: elaboración propia).

[Días laborables	horas por jornada	Tiempo de descanso (minutos)	Tiempo disponible por turno	% de tiempo disponible	% de tiempo disponible promedio
L-V:	12	Desayuno: 30 Comida: 60	10.5 h = 630 min	87.50	89.58
sábado	6	Desayuno: 30	5.5 = 330 min	91.67	

- *% Uptime real promedio (% uptime)*: Para determinar el % de *Uptime* real se consideraron los tiempos reales de paros por turno, medidos durante la realización del proyecto en cuestión, a los que posteriormente se les aplicó la Ecuación 3.2. Los resultados se muestran en la Tabla 3. 17.

Tabla 3. 17 Datos del % *Uptime* real promedio (Fuente: elaboración propia).

Días laborables	horas por jornada	Tiempo extra de descanso observado	% paros	Tiempo real disponible por turno	% Uptime	% Uptime promedio
L-V:	12	Desayuno: 46 min Comida: 78 min Entrada: 8 min Salida: 8 min Total: 140 min = 2.333h	19.44	9.667 horas	80.56	81.67%
sábado	6	Desayuno: 46 min Entrada: 8 min Salida: 8 min Total: 62 min = 1.033 h	17.22	4.967 horas	82.78	

- Tiempo de ciclo total (TCT): Para determinar el TCT, se contabilizó el tiempo, en horas, de la lista de cotejo de la empresa, desde la orden de fabricación hasta la última salida de producto del proyecto en cuestión, como se muestra en la Tabla 3. 18.

Tabla 3. 18 Tiempo de ciclo total del proyecto (Fuente: elaboración propia).

Inicio de proyecto	Fin de proyecto	Turnos por día	Tiempo disponible por turno	Días laborados	Tiempo de ciclo total
12/01/2024	18/05/2024	Lunes-viernes: 2 Sábado: 1	12 h 6 h	91 19	2298 horas

- % de Tiempo de ciclo total trabajado (%TCTT): Para determinar el %TCTT trabajado, se calculó el porcentaje de tiempo que se ocupa realmente para la fabricación de algún producto durante la realización del proyecto en cuestión, en comparación con el TCT, como se muestra en la Tabla 3. 19.

Tabla 3. 19 % de Tiempo de ciclo total trabajado (Fuente: elaboración propia).

Turnos por día	Tiempo trabajado por turno	Horas por día	Días Laborados	TCT trabajado por turno	Total, de TCTT trabajado	Tiempo de ciclo total	% TCTT trabajado
Lunes-viernes: 2	9.667 h	19.334	91	1759.394	1853.767 h	2298 horas	80.67 %
Sábado: 1	4.967 h	4.967	19	94.373			

- Inventario en proceso (IP): Para determinar el IP promedio, se realizó una observación directa en cada estación de trabajo, contabilizando las piezas que estaban siendo procesadas o esperando ser procesadas, pertenecientes a algún producto de la familia 1. Los datos de las mediciones en cada estación se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**
- Número de operadores (#O): Para determinar el número de operadores se registró el promedio de trabajadores presentes en cada proceso, mediante observación directa, relacionado con los productos de la familia 1. Los datos de las mediciones en cada estación se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**
- Tiempo de preparación (TP): Para determinar el TP, se midió el tiempo promedio en minutos que transcurre desde que se completa la producción de un producto de la familia 1, en un determinado proceso, hasta que comienza la producción del siguiente. Los datos de las mediciones en cada estación se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**
- Desperdicios de material (DM): Para determinar el DM, se midió la cantidad de material desperdiciado en metros en cada proceso y se calculó el porcentaje de material desperdiciado utilizando la Ecuación 3.3. Los datos de las mediciones en cada estación se muestran en la Tabla 3. 20.

$$DP = \left(\frac{\text{Cantidad Real Utilizada}}{\text{Cantidad Calculada a Utilizar}} - 1 \right) * 100 \dots \dots \dots (3.3)$$

- Tiempo de transferencia (TT): Para determinar el TT promedio, en cada proceso, se registraron los tiempos en minutos que tarda en transportarse una pieza procesada a la siguiente estación de trabajo. Los datos de las mediciones en cada estación se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

- Retrabajos (%R): Para determinar el %R se contabilizó el número de piezas defectuosas, o que no cumplieran con los requerimientos adecuados, y se calculó el porcentaje correspondiente al total requerido. Los datos de las mediciones en cada estación se muestran en la Tabla 3. 20.

Tabla 3. 20 Datos recopilados para realizar el VSM de la familia 1 por estaciones de trabajo (Fuente: elaboración propia).

Proceso		Estación de trabajo	Tiempo de ciclo (minutos)	Inventario en proceso (piezas)	Número de operadores	Tiempo de preparación (minutos)	Desperdicio de Material (%)	Tiempo de transferencia (minutos)
Habilitado	Empate	1	469	6	2	22.4	16.60%	15.3
		2	560	4	2	23.6	16.60%	20.8
		3	630	4	2	20.4	16.60%	12.5
		4	411	6	1	26	16.60%	5
		8	430	4	2	34.4	16.60%	6.6
		promedio	500	4.8	1.8	25.36	17%	12.04
	Corte	10	140	44	1	16.8	1.14%	10
		11	130	52	1	20	1.14%	12
		promedio	135	48	1	18.4	1.14%	11
	pulido	1	70	26	1	10	0.00%	6
		2	60	38	2	11	0.00%	13
		3	80	45	1	12.3	0.00%	16
		4	120	25	1	15.6	0.00%	8
		5	90	40	2	20.3	0.00%	9
		8	50	34	2	18.4	0.00%	10.6
		9	40	34	2	16	0.00%	13.7
		promedio	72.9	34.6	1.6	14.8	0%	10.9
Soldadura de empate	6	85	4	3	8.5	0.00%	11	
	7	60	2	2	6.5	0.00%	16	
	12	80	6	2	11.7	0.00%	13	
	promedio	75	4	2.33	8.9	0.00%	13.33	
Pre-enderezado	1	240	5	2	12.3	0.00%	5	
	2	160	5	2	10	0.00%	6.6	
	3	270	4	2	9.5	0.00%	7.2	
	8	200	6	2	16.6	0.00%	4	
	promedio	217.5	5	2	12.1	0%	5.7	
Armado	1	760	40	4	10.8	0.00%	12	
	2	690	25	2	9	0.00%	9	

	3	750	15	4	5.3	0.00%	6.9
	4	800	17	2	10.8	0.00%	8
	5	805	19	4	11	0.00%	10
	9	815	7	2	9.7	0.00%	5
	promedio	770	20.5	3	9.4	0%	8.5
Soldadura	6	274	3	3	6.4	0.00%	8.3
	7	303	2	6	5	0.00%	11.1
	8	290	1	4	9.7	0.00%	7.9
	promedio	289	2	4.33	7.03	0%	9.1
Enderezado final	1	250	5	2	13	0.00%	8
	2	220	6	2	8.9	0.00%	10
	3	310	5	4	14.4	0.00%	11.3
	promedio	260	5.3	2.67	12.1	0.00%	9.77

- Demanda (D): Para determinar la D se contabilizó el número de piezas necesarias o requeridas en cada estación, según el plan de trabajo. Los datos de las mediciones en cada estación se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**
- Actividades de no valor agregado (ANVA): Para determinar el ANVA, se utilizó la prueba de los 5 minutos, que propone *Lean Construction* (Sección 2.4) para medir el porcentaje de tiempo que emplean los trabajadores en actividades que no agregan valor (Tabla 3. 8) durante la elaboración de alguna estructura.
- Actividades necesarias que no agregan valor (ANNV): Para determinar el ANNV, se utilizaron los datos de la prueba de los cinco minutos (Éstos se mostraron previamente en la Sección 3.6.2) para medir el porcentaje de tiempo que emplean los trabajadores en actividades que son necesarias, pero no agregan valor (Éstos se mostraron previamente en la Tabla 3. 7 de la Sección 3.6.2.1) durante la elaboración de alguna estructura.

3.7.5 Elaboración del mapa del estado actual

Para desarrollar el *VSM*, actual, de la familia de productos seleccionada, en la Sección 3.7.5.2, y siguiendo los pasos para la construcción de un *VSM*, mostrados en la Sección 2.3.4, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

1. Se dibujaron (Figura 3. 11) los iconos de control de producción, proveedores y clientes.
2. Se colocó la producción requerida de estructuras (Figura 3. 11) para el proyecto en cuestión.
3. Se dibujaron los iconos (Figura 3. 11) de envío saliente y envío entrante con camiones.
4. Se agregaron cuadros de proceso (Figura 3. 11), en secuencia, de izquierda a derecha de acuerdo con el proceso de la familia seleccionada.
5. Se agregaron los datos promedio de TC, IP, TVA, #O, DM, TT, %R y TP (Tabla 3. 20) en los cuadros de proceso (Figura 3. 11).
6. Se agregaron flechas de comunicación de acuerdo con el orden secuencial del proyecto en cuestión (Figura 3. 11).
7. Se calculó el *lead time* (Figura 3. 11).

Tabla 3. 21 comparación del TCT vs %TCT trabajado (Fuente: elaboración propia).

	Tiempo de ciclo total (horas)	Tiempo de ciclo total trabajado	Diferencia	Turnos desperdiciados
L-V	2184	1459.394	424.606	35.3
Sábado	114	94.373	19.627	3.2
Total	2298	1853.767	444.233	

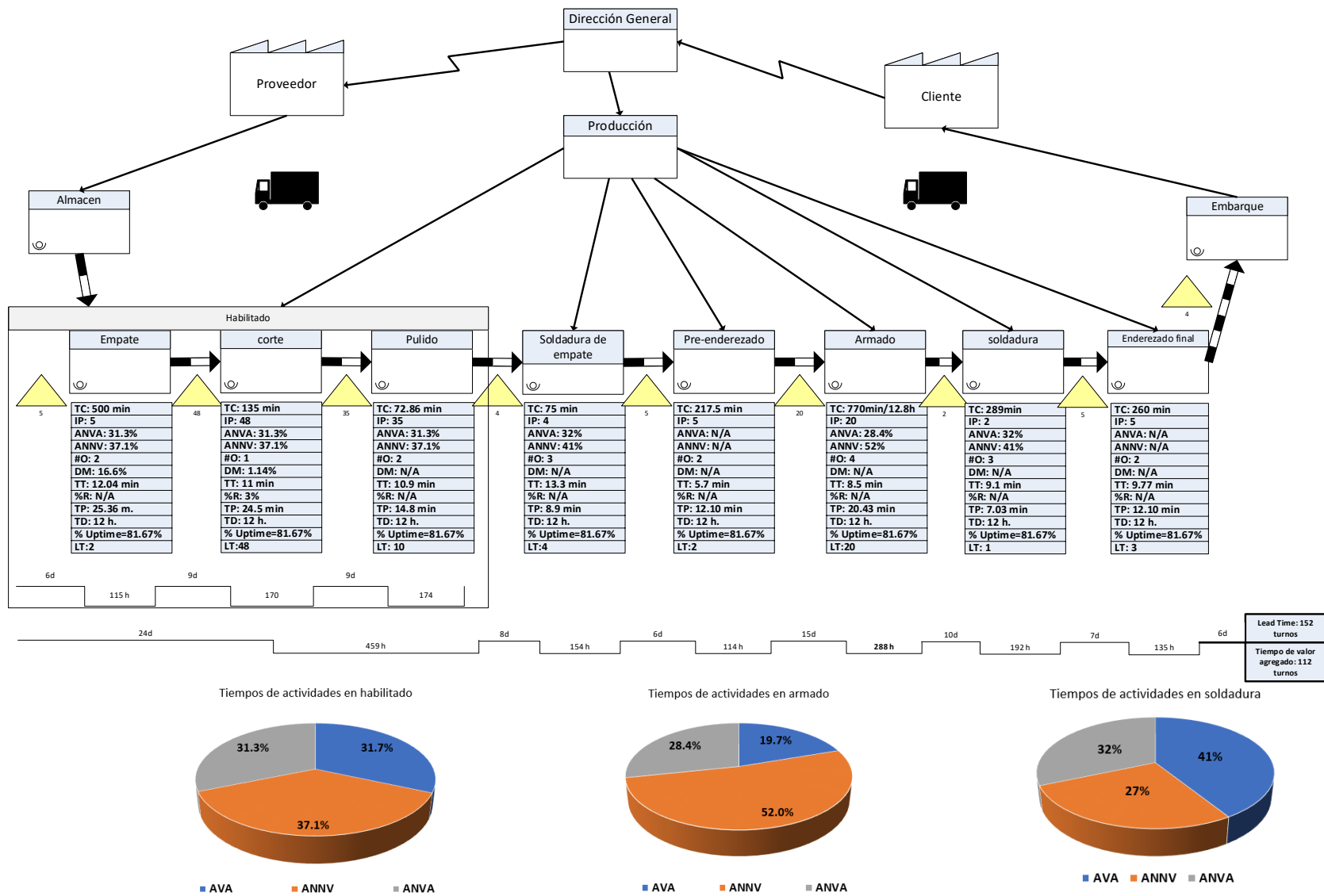


Figura 3. 11 VSM actual de la familia de productos seleccionada (Fuente: elaboración propia).

Al analizar la Figura 3. 11 se observó lo siguiente:

- El proceso de armado presenta el mayor tiempo de ciclo promedio: 12.8 horas.
- El proceso de soldadura de empate es el proceso más rápido: tiempo de ciclo promedio de 1.3 h.
- El inventario en proceso es mayor para el proceso de corte, cabe destacar que, en su mayoría, las piezas son pequeñas y su tamaño aproximado es de 50*50 cm.
- El desperdicio de material es poco en casi todos los procesos, exceptuando al proceso de empate, cabe destacar que el desperdicio de material dependerá de la longitud deseada.
- El proceso con el mayor porcentaje de tiempo, en actividades que no agregan valor, es soldadura: 41%.
- El proceso con el mayor porcentaje de tiempo, en actividades que son necesarias, pero no agregan valor, es el de armado: 52%.
- Al comparar el Tiempo de ciclo total contra el % de tiempo ciclo total se observó que existe una considerable cantidad de tiempo desperdiciado (Tabla 3. 21), el cual genera costos y tiempo extra para la empresa.

3.8 Seleccionar proceso y problemas de mayor impacto

Para seleccionar un proceso y los problemas a mejorar, en el área de oportunidad: taller de estructuras metálicas; se realizaron las siguientes actividades:

- Identificación de problemas.
- Evaluación de problemas encontrados.
- Selección de problemas a mejorar.

3.8.1 Identificación de problemas

Para identificar posibles problemas que afectan al control de la producción del taller de estructuras metálicas, se analizaron los resultados de la aplicación de la prueba de los cinco

minutos y del VSM actual de la empresa. Las observaciones encontradas se presentan en la Tabla 3. 22.

Tabla 3. 22 Problemas encontrados en el proceso de producción de la empresa en estudio (Fuente: elaboración propia).

N°	Problema	Herramienta	Proceso	Observaciones
1	Alto porcentaje de tiempo en actividades contributivas.	Prueba de los 5 minutos.	Habilitado	Se ocupa 30.3% del tiempo en actividades de medición y 24.7% en actividades de preparación.
2	Alto porcentaje de tiempo en actividades no contributivas.	Prueba de los 5 minutos.	Habilitado	Se ocupa un 31.4% del tiempo en actividades no contributivas, dentro de las cuales el 27.5% de las actividades se deben a descansos y 25.5% en actividades de ocio.
3	Bajo porcentaje de tiempo en actividades productivas	Prueba de los 5 minutos	Armado	Se ocupa sólo 19.7% del tiempo en actividades productivas.
4	Alto porcentaje de tiempo en actividades no contributivas.	Prueba de los 5 minutos.	Armado	Se ocupa un 52% del tiempo en actividades no contributivas, dentro de las cuales el 44.7% de las actividades son de ocio y 18.7% en actividades de descanso.
5	Alto porcentaje de tiempo en actividades contributivas.	Prueba de los 5 minutos	Armado	Se ocupa 52% del tiempo total en actividades contributivas, dentro de las cuales el 34.9% de las actividades se dedican a mediciones y 32.8% en actividades de preparación.
6	Alto porcentaje de tiempo en actividades no contributivas.	Prueba de los cinco minutos	Soldadura	Se ocupa 32% del tiempo total en actividades no contributivas, dentro de la cuales el 46% de las actividades se deben a descansos y 30.9% en actividades de descanso.
7	Tiempo de ciclo alto	VSM	Armado	Se registro un tiempo de ciclo de 12.8 horas para el proceso de armado, siendo éste el más alto.
8	Tiempo de preparación alto	VSM	Empate	Se registró un tiempo de preparación promedio de 25.36 minutos para el proceso de empate.
9	Alto inventario en proceso.	VSM	Armado	Se registró un total de 20 piezas esperando a ser armadas.
10	Largos tiempos de espera	VSM y Prueba de los 5 minutos	Armado	Se registraron esperas largas por falta de instrucciones o cambios en la estructura.

Los problemas encontrados, mostrados en la Tabla 3. 22 se agruparon mediante la herramienta “diagrama de afinidad”. El resultado se muestra en la Tabla 3. 23.

Tabla 3. 23 Diagrama de afinidad de los problemas encontrados en el taller de estructuras metálicas (Fuente: elaboración propia).

Procesos				
Problemas	Empate	habilitado	Armado	Soldadura
	5. Tiempo de preparación alto.	5. Alto porcentaje de tiempo en actividades contributivas. 2. Alto porcentaje de tiempo en actividades no contributivas.	1. Alto porcentaje de tiempo en actividades contributivas. 2. Alto porcentaje de tiempo en actividades no contributivas. 3. Bajo porcentaje de tiempo en actividades productivas. 4. Tiempo de ciclo alto. 6. Alto inventario en proceso. 7. Largos tiempos de espera.	3. Alto porcentaje de tiempo en actividades no contributivas.

Al analizar el diagrama de afinidad se encontró lo siguiente:

- El problema 2, alto porcentaje de tiempo en actividades contributivas se presenta en los procesos de habilitado y soldadura (2 de los 4 procesos).
- El problema 3, que trata del alto porcentaje de tiempo en actividades no contributivas, se presenta en los procesos de habilitado, armado y soldadura (3 de los 4 procesos).
- El proceso que presenta más problemas es el de armado, ya que se presentaron 6 de los 7 problemas encontrados en el taller de estructura metálicas.

3.8.2 Evaluar los problemas con base a su impacto en el control de la producción de la empresa

Con el objetivo de identificar aquellos problemas cuya solución suponga un impacto positivo para la empresa, se aplicó el método por puntos para evaluar los siete problemas mostrados en la Tabla 3. 23, mediante las siguientes actividades:

1. Se determinaron y describieron los siguientes cinco factores para evaluar los problemas que se presentaron en la Tabla 3. 23:
 1. Limitaciones de tiempo. Se consideró como un factor importante, al tiempo que tomaría abordar cada alternativa.
 2. Impacto para la empresa. Se consideró como un factor importante, al impacto positivo que suponga abordar cada alternativa a la empresa en estudio.
 3. Alarga el tiempo de entrega de los proyectos. Se consideraron un factor importante aquellas actividades que, al ser abordadas, resulten en un menor tiempo de entrega del proyecto.
 4. Su mejora representa un menor costo de inversión. Se consideró como un factor importante mejorar el control de la producción con el menor costo de inversión posible.
 5. Mejora el control de la producción. No se cuenta con un seguimiento adecuado de la planeación de la producción en el área de producción, por lo cual mejorar o aumentar el control de la producción es de carácter prioritario.
2. Se asignó una ponderación de 0 a 100 a cada uno de los cinco factores a evaluar, donde 0 corresponde a la menor importancia y 100 a la mayor. El resultado se muestra en Tabla 3. 24.
3. Se determinó una calificación mediante una letra para evaluar cada factor según el problema. Los valores para cada letra se muestran en la Tabla 3. 25
4. Se calificaron los factores, con base en la escala de la Tabla 3. 25. La evaluación obtenida para cada factor se muestra en la parte superior derecha de la celda, de la Tabla 3. 26 donde intercepta el factor con el problema.
5. Se sumaron las puntuaciones obtenidas para cada alternativa y se colocó el valor total en la celda inferior de cada alternativa, tal como se muestra en la Tabla 3. 26.

Tabla 3. 24 Ponderación de cada uno de los cinco factores a evaluar (Fuente: elaboración propia)

No.	Factor	Ponderación
1	Limitaciones de tiempo	85
2	Impacto para la empresa	95
3	Alarga el tiempo de entrega de los proyectos	80
4	Su mejora representa un menor costo de inversión.	95
5	Mejora el control de la producción.	100

Tabla 3. 25 Escala para evaluar cada problema según el área de oportunidad (Fuente: elaboración propia).

Letra	Significado	Valor
A	Impacto Excesivo	5
E	Impacto muy alto	4
I	Impacto alto	3
O	Impacto moderado	2
U	Impacto bajo	1
X	Impacto nulo	0

Tabla 3. 26 Evaluación para cada uno de los problemas por el método por puntos (Fuente: elaboración propia).

Problemas encontrados								
1. Alto porcentaje de tiempo en actividades contributivas. 2. Alto porcentaje de tiempo en actividades no contributivas. 3. Bajo porcentaje de tiempo en actividades productivas 4. Tiempo de ciclo alto 5. Tiempo de preparación alto. 6. Alto inventario en proceso. 7. Altos tiempos de espera								
Alternativas								
Factor	Ponderación	1	2	3	4	5	6	7
Limitaciones de tiempo	85	I 255	E 340	O 170	I 255	O 170	O 170	I 255
Impacto para la empresa	95	I 285	E 380	O 190	E 380	O 190	O 190	I 285
Alarga el tiempo de entrega de los proyectos	80	E 320	I 240	O 160	A 400	I 240	I 240	I 240
Su mejora representa un menor costo de inversión.	95	O 190	I 285	E 380	I 285	O 190	E 380	O 190
Mejora el control de la producción.	100	E 400	E 400	I 300	O 200	O 200	I 300	I 300
TOTAL		1450	1645	1200	1520	990	1280	1270

La elaboración del método por puntos mostró que el problema del alto porcentaje de tiempo en actividades no contributivas (Alternativa 2) destaca como el principal inconveniente, ya que obtuvo el mayor puntaje: 1645. Este resultado es suficiente para considerarla como una causa prioritaria a mejorar para la empresa.

3.8.3 Selección de proceso y problemas de mayor impacto

Para determinar el proceso en el que se enfocarán los esfuerzos, se elaboró la Tabla 3. 27, en ella se colocaron los problemas (Tabla 3. 23) y las calificaciones ordenadas (Tabla 3. 26), así mismo, se colocaron los procesos que inciden directamente en cada uno de los problemas.

Tabla 3. 27 Orden de problemas por puntuación (Fuente: elaboración propia).

	Problema De la Tabla 3. 23	Puntuación total (De la Tabla 3. 26)	Proceso (De la Tabla 3. 23)
2	Alto porcentaje de tiempo en actividades no contributivas.	1645	Habilitado, Armado, soldadura
4	Tiempo de ciclo alto	1520	Armado
1	Alto porcentaje de tiempo en actividades contributivas.	1450	Habilitado, Armado
6	Alto inventario en proceso.	1280	Armado
7	Largos tiempos de espera	1270	Armado
3	Bajo porcentaje de tiempo en actividades productivas	1200	Armado
5	Tiempo de preparación alto	990	Empate

Con base en la Tabla 3. 27, que muestra la puntuación de los siete problemas encontrados, se decidió analizar la causa raíz de los tres **problemas** con mayor puntuación: 2, 4 y 1, puesto que suponen un mayor impacto positivo para la empresa en estudio. Es importante destacar que estos tres problemas se presentan en el **proceso de armado**; por lo tanto, dicho proceso se seleccionó como el proceso donde se van a canalizar los esfuerzos de mejora.

3.9 Identificación de causas raíz a los problemas seleccionados en el proceso de armado

Para identificar las causas raíz de los problemas seleccionados, en el proceso de armado, se utilizó un diagrama de interrelaciones (Figura 3. 12) con la finalidad de planificar y elaborar propuestas para solucionarlos.

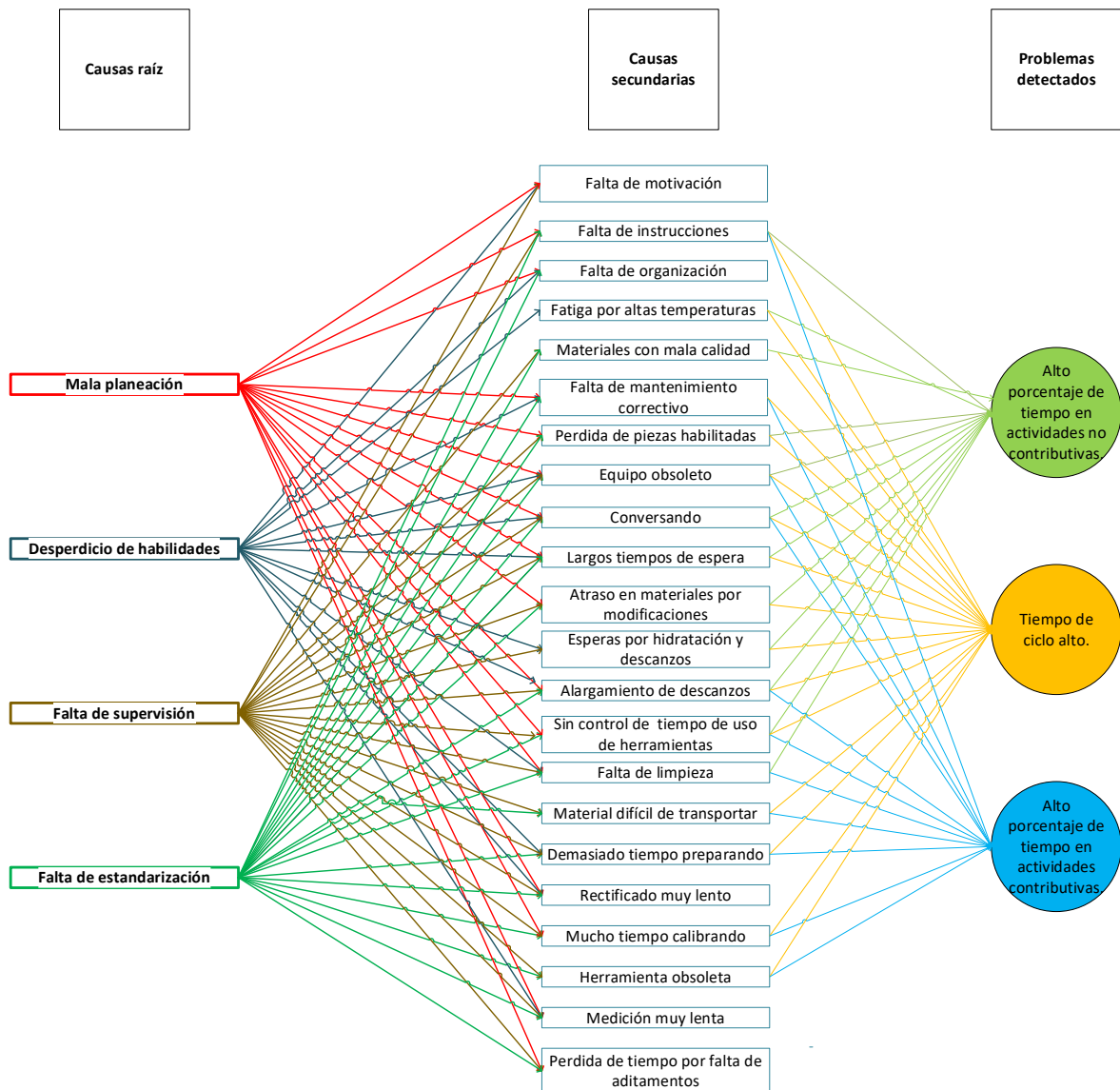


Figura 3. 12 Diagrama de interrelaciones de las problemáticas encontradas (Fuente: elaboración propia).

Con base en el análisis de la Figura 3. 12 se pudieron identificar las siguientes cuatro causas raíz:

- Mala planeación.
- Desperdicio de habilidades de los trabajadores.
- Falta de supervisión.
- Falta de estandarización.

3.10 Identificar y seleccionar actividades de mejora

Tras identificar causas cuatro causas raíz a los problemas detectados (Sección 3.9), se realizó lo siguiente manteniendo como premisa el objetivo del proyecto: mejorar el control de la producción de la empresa en estudio:

1. Identificar actividades de mejora.
2. Seleccionar actividades de mejora

3.10.1 Identificar actividades de mejora

Para identificar aquellas actividades que suponen una mejora a las cuatro causas raíz encontradas (Sección 3.9) se analizó individualmente cada causa y se propusieron actividades de mejora. El resultado se muestra en la Tabla 3. 28.

Tabla 3. 28 Propuesta de actividades de mejora (Fuente: elaboración propia).

Causa raíz	Actividad de mejora sugerida	Efecto esperado	Mejora en problema detectado
Mala planeación	1. <i>System Last Planner</i> .	• Mejora en la reducción de tiempo de ciclo. • Mejora la organización. • Aumento en el control de la producción.	• Alto porcentaje de tiempo en actividades no contributivas • Tiempo de ciclo alto
Desperdicio de habilidades de los trabajadores	1. <i>System Last Planner</i> .	• Asignación de actividades de acuerdo con habilidades. • Mayor flujo de producción.	• Alto porcentaje de tiempo en actividades no contributivas • Alto porcentaje de tiempo en actividades contributivas
	2. Diagrama multi habilidades.	• Reducción de tiempos al asignar actividades de acuerdo con habilidades. • Aumento en la motivación.	
Falta de supervisión	3. Planeación a medio, corto y largo plazo.	• Reducción de los tiempos perdidos. • Aumento en el flujo de trabajo. • Aumento en la motivación de los trabajadores. • Control visual y en tiempo real del avance en la producción.	• Alto porcentaje de tiempo en actividades contributivas • Tiempo de ciclo alto
	4. Asignar metas diarias, semanales y mensuales.		
	5. Hojas de verificación de avance para cabos y trabajadores.		
	6. Tablas dinámicas para control y avance.		

Falta de estandarización	7. Nivel con láser.	• Aumento de tiempo en la medición y rectificado. • Evita errores de medición. • Sistema fácil de manipular.	• Alto porcentaje de tiempo en actividades contributivas • Alto porcentaje de tiempo en actividades no contributivas
	8. Sistema <i>poka-yoke</i> .		

3.10.2 Seleccionar actividades de mejora

Con el objetivo de seleccionar entre las ocho actividades de mejora de la Tabla 3.28, la mejor actividad se aplicó junto con el jefe de área y la subdirectora de la empresa, el método por puntos, mediante las siguientes actividades:

1. Se determinaron y describieron los siguientes cinco factores para evaluar las diferentes actividades de mejora:
 1. Impacto positivo para la empresa que implique abordar cada actividad de mejora.
 2. Limitaciones de tiempo. Tiempo que tomaría abordar cada actividad de mejora.
 3. Acorta el tiempo de entrega de los proyectos o resulten en un menor tiempo de entrega del proyecto.
 4. Su mejora representa un menor costo de inversión debido a que mejora el control de la producción con el menor costo de inversión posible.
 5. Mejora el control de la producción.
2. Se determinó una calificación mediante una letra para evaluar cada factor según la actividad de mejora. Los valores para cada letra se muestran en la Tabla 3. 29.
3. Se asignó una ponderación de 0 a 100 a cada uno de los cinco factores a evaluar: 0 para el de menor importancia y 100 para el de mayor importancia. El resultado se muestra en la Tabla 3. 30.
4. Se asignó una calificación a cada una de las actividades de mejora con base en las letras de la Tabla 3. 29; el resultado se colocó en la parte superior de la celda, de la Tabla 3. 30, donde intercepta la actividad con el factor

- Se multiplicó la ponderación del factor por la calificación de cada una de las actividades de mejora. el resultado se colocó en la parte inferior de la celda, de la Tabla 3. 30, donde intercepta la actividad con el factor
- Se sumaron las puntuaciones obtenidas en cada actividad y se registró el valor total en la parte inferior de la Tabla 3. 30

Tabla 3. 29 Escala para evaluar cada actividad según su impacto (Fuente: elaboración propia).

Letra	Significado	Valor
A	Impacto excesivo	5
E	Impacto muy alto	4
I	Impacto alto	3
O	Impacto moderado	2
U	Impacto bajo	1
X	Impacto nulo	0

Tabla 3. 30 Evaluación para cada actividad de mejora por el método por puntos (Fuente: elaboración propia).

		Actividades de mejora							
		1. <i>Last Planner System.</i> 2. Diagrama multi-habilidades. 3. Planeación a corto, medio y largo plazo. 4. Asignar metas diarias, semanales y mensuales. 5. Hojas de verificación de avance por cabos y trabajadores. 6. Tablas dinámicas para control y avance. 7. Nivel con láser. 8. Sistema Poka-Yoke.							
Factor	Ponderación	1	2	3	4	5	6	7	8
Impacto positivo para la empresa	80	O 160	O 160	I 240	U 80	U 80	I 240	O 160	O 160
Limitaciones de tiempo	85	I 255	I 255	O 170	I 255	O 170	I 255	I 255	I 255
Acora el tiempo de entrega de los proyectos	90	E 360	O 180	I 270	I 270	O 180	O 180	O 180	O 180
Su mejora representa un menor costo de inversión.	95	A 475	A 475	E 380	I 285	I 285	E 380	U 95	I 285
Mejora el control de la producción.	100	I 300	I 300	I 300	I 300	I 300	E 400	O 200	O 200
TOTAL		1550	1370	1360	1190	1015	1455	890	1080

La aplicación del método por puntos mostró que la actividad de mejora, llamada *System Last Planner* (Actividad 1) y Tablas dinámicas para control de empresa (Actividad 6), se destacan como las actividades de mejora prioritaria para la empresa en estudio, ya que obtuvieron las mayores puntuaciones: 1550 puntos y 1455 puntos, respectivamente.

3.11 implementación de actividades de mejora

Antes de implementar cualquier actividad de mejora, es importante tener un gran conocimiento teórico de dicha herramienta, ya que proporciona una visión más clara, permitiendo identificar y anticiparse a aquellos factores que atrasan o impiden la correcta implementación, aumentando de este modo la probabilidad de éxito.

Por lo anterior, a continuación, se presenta el desarrollo de la implementación de las dos actividades de mejora seleccionadas.

- *System Last Planner*
- Tablas dinámicas para control y avance

3.11.1 *System Last Planner (SLP)*

La presente propuesta tiene como objetivo realizar una planificación detallada y concreta de un proyecto de construcción. El propósito es reducir los tiempos de espera ocasionados por factores internos o externos que puedan retrasar el avance del proyecto. Para lograrlo, se realizaron las siguientes actividades:

- Identificación y selección de proyecto.
- Planificación a largo plazo.
- Planificación a medio plazo.
- Planificación a corto plazo.
- Análisis de la aplicación del *Last Planner System*

3.11.1.1 Identificación y selección de proyecto

Para identificar y seleccionar un proyecto de construcción y aplicar la herramienta *SLP* se realizaron las siguientes actividades:

- Identificación de un proyecto realizando una investigación de los proyectos en puerta de la empresa. El resultado se muestra en la Tabla 3. 31.

Tabla 3. 31 proyectos en puerta para la empresa (Fuente: elaboración propia)

Orden de fabricación	Proyecto
2024-003	Fabricación de tambor mezclador
2024-004	Suministro nave
2024-005	Reacondicionamiento de instalaciones
2024-006	Reacondicionamiento de camiones
2024-007	Suministro de tanques

- Selección de uno entre los cinco proyectos de la Tabla 3. 31 aplicando, junto con el jefe de área de la empresa, el método por puntos, mediante las siguientes actividades:
 1. Se determinaron los siguientes cuatro factores para evaluar las diferentes actividades de mejora:
 - a. Impacto positivo para la empresa
 - b. Limitaciones de tiempo
 - c. Su mejora representa un menor costo de inversión.
 - d. Complejidad
 2. Se determinó una calificación mediante una letra para evaluar cada factor según la actividad de mejora. Los valores de cada letra se muestran en la Tabla 3. 32.
 3. Se asignó una ponderación de 0 a 100 a cada uno de los cinco factores a evaluar: 0 para el de menor importancia y 100 para el de mayor importancia. El resultado se muestra en la Tabla 3. 33.
 4. Se asignó una calificación a cada proyecto con base en las letras de la Tabla 3. 32; el resultado se colocó en la parte superior de la celda, de la Tabla 3. 33, donde intercepta el proyecto con el factor.

5. Se multiplicó la ponderación del factor por la calificación de cada uno de los proyectos. El resultado se colocó en la parte inferior de la celda, donde intercepta la actividad con el factor (Tabla 3. 33).
6. Se sumaron las puntuaciones obtenidas para cada proyecto y se colocó el valor total en la parte inferior de la Tabla 3. 33.

*Tabla 3. 32 Escala para evaluar cada proyecto
(Fuente: elaboración propia).*

Letra	Significado	Valor
A	Impacto excesivo	5
E	Impacto muy alto	4
I	Impacto alto	3
O	Impacto moderado	2
U	Impacto bajo	1
X	Impacto nulo	0

*Tabla 3. 33 Evaluación para cada proyecto por el método por puntos
(Fuente: elaboración propia).*

Proyectos						
1. Fabricación de tambor mezclador		4. Reacondicionamiento de camiones				
2. Suministro nave.		5. Suministro tanques.				
3. Reacondicionamiento de instalaciones.						
		Proyectos				
Factor	Ponderación	1	2	3	4	5
Impacto positivo para la empresa	80	I 240	O 160	I 240	U 80	U 80
Limitaciones de tiempo	85	I 255	I 255	O 170	I 255	O 170
Su mejora representa un menor costo de inversión	90	E 360	E 360	E 360	E 360	E 360
Complejidad	95	A 475	E 380	E 380	E 380	E 380
TOTAL		1330	1155	1150	1075	990

La aplicación del método por puntos mostró que el proyecto 1, denominado “fabricación de tambor mezclador”, obtuvo la mayor puntuación: 1330 puntos. Con base en este resultado, este proyecto será considerado para la implementación del *System Last Planner* en la empresa en estudio.

El proyecto “fabricación de tambor mezclador” consiste en la fabricación de tres tambores mezcladores, los cuales serán montados en camiones de mezcla de cemento.

3.11.1.2 Planificación a largo plazo

Mediante una reunión conocida como *Pull Session*, en la que participaron la mayoría de los involucrados de la obra se definió lo siguiente:

- Planificación maestra.
- Planificación de fases.

A continuación, se describe cada planificación:

- Planificación maestra.

Aquí se determinó el proceso para fabricar un tambor de mezclado, el cual se repetirá para cada uno de los tres tambores solicitados, mediante una estructura de desglose de trabajo (EDT o WBS por las siglas en inglés de *Work Breakdown Structure*), la cual se muestra en la Figura 3. 13.

La planificación maestra también incluyó los plazos de entrega para cada pieza, que se ajustaron a las fechas establecidas por el cliente. El resultado se muestra en la Figura 3. 14.

Titulo del proyecto	Fabricación de tambor mezclador	Empresa	Metalmecánica S.A. de C. V.
Project Manager	Luis Tlaxcala de la Cruz	Fecha	13/08/2024

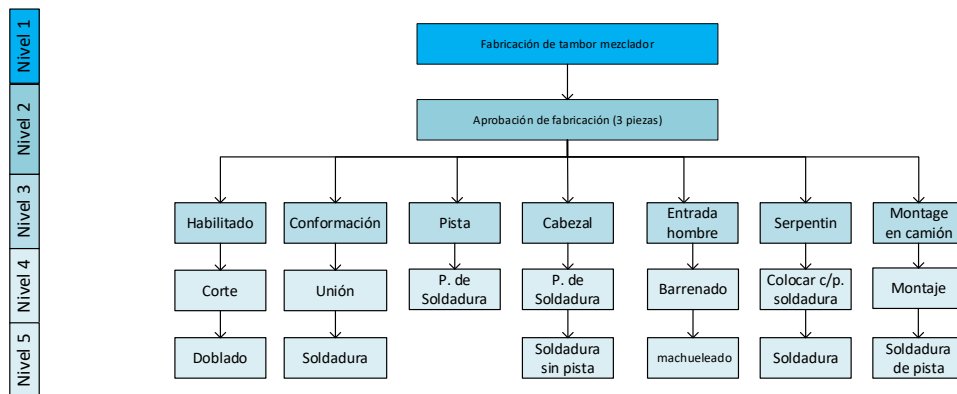


Figura 3. 13 Diagrama de estructura de desglose de trabajo o WBS (Fuente: elaboración propia).

- Planificación de fases.

Con la ayuda del jefe de taller, el cliente y cabos en turno, se estableció, mediante un diagrama de Gantt, el plan maestro con sus fases, lo que permitió comprender el plan del proyecto de forma clara y visual. Este plan se dividió en tres fases para la entrega de tres tambores de mezclado, siendo éstos los tres hitos principales, tal como se muestra en la Figura 3. 15 .

Cabe destacar que, para definir las fechas, se utilizó un enfoque de planificación inversa, comenzando por la fecha de entrega final y trabajando hacia atrás en el calendario.

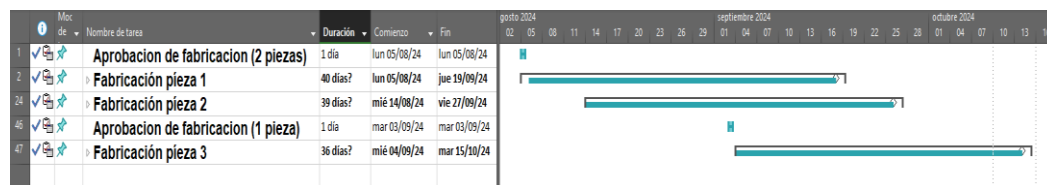


Figura 3. 14 Planificación maestra (Fuente: elaboración propia).

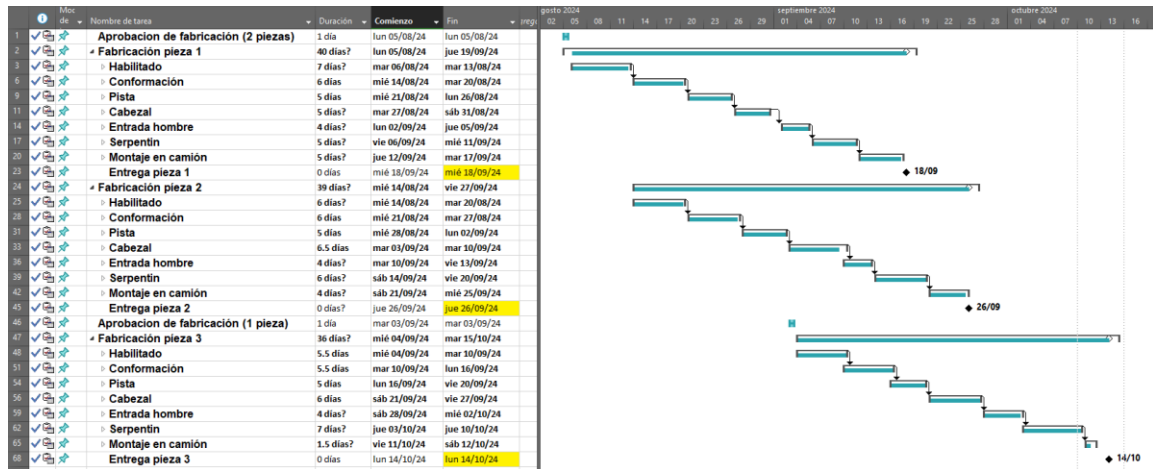


Figura 3. 15 Planificación de fases mediante el diagrama de Gantt (Fuente: elaboración propia).

3.11.1.3 Planificación a mediano plazo

Una vez definida la planificación de fases, obtenido en la *Pull Session*, se realizó lo siguiente con el objetivo de analizar cada actividad e ir destapando aquellas restricciones que impiden que las actividades puedan comenzar en el tiempo establecido:

1. Se establecieron las actividades que se pueden ejecutar de la semana uno a la seis o *Lookahead 1* (Tabla 3. 34).
2. Se establecieron las actividades que se deben realizar de la semana siete a la doce o *Lookahead 2* (Tabla 3. 35).
3. Se analizaron cada una de las actividades, con ayuda de los cabos en turno y el jefe de área, mediante dos sesiones por cada *Lookahead*, para descubrir aquellas restricciones que pudieran impedir que la actividad comience a tiempo.
4. Se anotaron las restricciones en una tabla para el *Lookahead I* (Tabla 3. 36) y *Lookahead II* (Tabla 3. 37).
5. Se asignó a un responsable para liberar dichas restricciones, así como información relevante para un mejor control de éstas.

Tabla 3. 34 Lookahead I (Fuente: elaboración propia).

[illegible]

Tabla 3. 35 Lookahead II (Fuente: elaboración propia).

Planificación a medio plazo (Lookahead 2)																																				
Hitos	Actividades	Sub-actividades	Fechas		Responsable	Laborada	Septiembre												Octubre																	
			Inicio	Fin			L	M	M	J	V	S	L	M	M	J	V	S	L	M	M	J	V	S	L	M	M	J	V	S						
							S-7						S-8						S-9						S-10						S-11					
							16-Set.	17-Set.	18-Set.	19-Set.	20-Set.	21-Set.	22-Set.	23-Set.	24-Set.	25-Set.	26-Set.	27-Set.	28-Set.	30-Set.	01-Oct.	02-Oct.	03-Oct.	04-Oct.	05-Oct.	07-Oct.	08-Oct.	09-Oct.	10-Oct.	11-Oct.	12-Oct.	14-Oct.	15-Oct.	16-Oct.	17-Oct.	18-Oct.
2. Fabricación pieza 1	9. Montaje en camión	9.2. Soldadura de pista	05-ago	19-sep																																
			13-sep	17-sep																																
10. Entrega pieza 1			18-sep	18-sep																																
11. Fabricación pieza 2			14-ago	27-sep																																
	17. Serpentine	17.1. Colocar C/ p. soldadura	14-sep	20-sep																																
		17.2 Soldadura	18-sep	20-sep																																
	18. Montaje en camión	18.1. Montaje	21-sep	25-sep																																
		18.2. soldadura de pista	21-sep	24-sep																																
			24-sep	25-sep																																
			26-sep	26-sep																																
19. Entrega pieza 2																																				
21. Fabricación pieza 3			04-sep	15-oct																																
	23. Conformación		10-sep	16-sep																																
		23.2. Soldadura	13-sep	16-sep																																
	24. Pista		16-sep	20-sep																																
		24.1. P. de soldadura	16-sep	20-sep																																
	25. Cabezal		21-sep	27-sep																																
		25.1. P. de soldadura	21-sep	25-sep																																
		25.2. Soldadura sin pista	26-sep	27-sep																																
	26. Entrada Hombre		28-sep	02-oct																																
		26.1 Barrenado	28-sep	01-oct																																
		26.2. Machueleado	01-oct	02-oct																																
	27. Serpentine		03-oct	10-oct																																
		27.1. P. de soldadura	03-oct	07-oct																																
		27.2. Soldadura	07-oct	10-oct																																
	28. Montaje en camión		11-oct	14-oct																																
28.1. Montaje		11-oct	12-oct																																	
28.2. Soldadura de pista		12-oct	14-oct																																	
29. Entrega pieza 3			14-oct	14-oct																																

Tabla 3. 36 Formato de análisis de restricciones para Lookahead I (Fuente: elaboración propia).

ID	Actividad en riesgo	Fecha identificación	Restricción	Responsable	Fecha requerida	Fecha promesa	Fecha cierre real	¿Restricción liberada?	Contacto	Detalles
1	2.1	05-ago	Falta de información		06-ago	06-ago	07-ago	si		Faltan detalles de medidas para corte de placas
2	2.1	05-ago	Falta de material		06-ago	08-ago	09-ago	si		Faltan placas para corte aprox. 7 placas para corte de material
3	2.2	05-ago	Disp. De la máquina		08-ago	08-ago	09-ago	si		La máquina no se encontraba disponible por otro proyecto.
4	3.1	05-ago	Falta de piezas		13-ago	14-ago	15-ago	si		Falta de piezas para unir el cono completo
5	3.1	05-ago	Modificación		16-ago	16-ago	17-ago	si		Se agregó un refuerzo para el cono interno
6	7	05-ago	Proceso de difícil		05-sep	09-sep	12-sep	si		Proceso difícil para una persona se recomienda reajuste de orden de proseso
7	7.1	05-ago	Falta de equipo		06-sep	06-sep	10-sep	si		Disponibilidad de la grúa
8	7.1	05-ago	Falta de material		06-sep	09-sep	10-sep	si		Falta de material para armar el serpentín.
9	7.2	05-ago	Disp. de mano de obra		09-sep	11-sep	12-sep	si		Debido a que se utiliza mat. recuperado se pierde tiempo en soldar cada pedazo
10	10.2	26-ago	Disp. de M.O. y equipo		17-ago	20-ago	21-ago	si		El op. de la máquina de doblado solicitó permiso y no laboró
11	11.1	26-ago	Proceso lento por falta de material		21-sep	23-ago	25-ago	si		Los trab. Trabajan por pieza y pierden tiempo al esperar ya que necesitan las piezas dobladas
12	12.1	26-ago	Falta de disp. De soldador		28-ago	02-sep	02-sep	si		El soldador tiene otra prioridad por entregar
13	13.1	26-ago	Falta de pieza para puntear		03-sep	05-sep	05-sep	si		La pieza se pidió externa y se tiene que esperar a que llegue
14	15.2	26-ago	Proceso muy lento al no tener ayudante		14-sep	18-sep	10-sep	si		Al ser mat recuperado el proceso es muy lento ya que sólo es un op.
15	18.1	26-ago	Información para corte		04-sep	04-sep	07-sep	si		Modificación en el tamaño de la estructura se requieren nuevas medidas

Tabla 3. 37 Formato de análisis de restricciones para Lookahead II (Fuente: elaboración propia).

ID	Actividad en riesgo	Fecha identificación	Restricción	Responsable	Fecha requerida	Fecha promesa	Fecha cierre real	¿Restricción liberada?	Contacto	Detalles
16	16.1	09-sep	Falta de piezas para montaje		12-sep	13-sep	17-sep	si		Falta de piezas para montaje en camión del tambor.
17	16.2	09-sep	Cambio de lugar de pista para correcto posicionamiento		13-sep	17-sep	18-sep	si		La pista no se colocó en el lugar correcto.
18	15	09-sep	Proceso lento		11-sep	12-sep	13-sep	si		Se necesita un operador mas para agilizar el proceso.
19	12	09-sep	Falta de disponibilidad de soldador		18-sep	20-sep	21-sep	si		Son bastantes soldaduras y se da prioridad a otro proyecto.
20	15.2	09-sep	Proceso lento al ser interno y sin ayudante		19-sep	20-sep	22-sep	si		Para soldar el espacio es reducido y al no tener un ayudante, al hacer calor se vuelve mas difícil.
21	19.2	09-sep	Falta de M.O.		12-sep	16-sep	18-sep	No		Se espera un gran tiempo ya que se tiene otro proyecto en puerta y se le da prioridad
22	20.1	07-oct	Cambios en el tamaño		16-sep	20-sep	20-sep	Si		Al ser de diferente tamaño se ocupan medidas diferentes que se tiene que calcular
23	23	07-oct	El op. de la maq. de doblado no esta disponible		03-oct	07-oct	09-oct	si		Al op. se le encargó otro proyecto de mayor prioridad y se tiene que esperar
24	24	07-oct	Cambios en el montaje		11-oct	14-oct	12-oct	si		Al tener piezas muy deterioradas se decidirá si comprar nuevas o fabricarlas en el taller
25	24.1	07-oct	Las piezas extras se ven afectadas por la disponibilidad de las máquinas y M.O.		11-oct	14-oct	17-oct	si		No se puede montar el tambor hasta tener todas las piezas necesarias
26	24.2	07-oct	Error en el punteado de la pista		12-oct	14-oct	18-oct	si		Se corregirá la posición de la pista lo que significa un retrabajo

3.11.1.4 Planificación a corto plazo o planificación semanal

Mediante reuniones semanales, en las que participaron la mayoría de los involucrados de la obra, se determinó lo siguiente:

- Las reuniones se llevarán a cabo el sábado anterior, previo al comienzo de cada semana planificada extraída del Lookahead 1 (Tabla 3.36) y Lookahead II (Tabla 3.37).

- El estado de las restricciones del *Lookahead I* y *Lookahead II* deben ser liberadas por el responsable en caso de que estén pendientes.
- Se debe realizar la planificación de cada semana y asignar un responsable a cada actividad.
- Cada semana se debe revisar el estado de cada actividad, el porcentaje de plan completado y las causas de no cumplimiento.
- Se debe seguir el mismo procedimiento de la semana uno para cada una de las diez semanas restantes.

Una muestra de la tabla de planificación para las semanas uno y dos se muestra en la Tabla 3. 38 y en la Tabla 3. 39. Todas las demás tablas de la planificación semanal se muestran en el Anexo 4.

Tabla 3. 38 Planificación semana 1 (Fuente: elaboración propia).

Semana 1								Agosto								Fecha de reunion: 03- Ag.	
Fecha: 5-10 Ag.								L	M	M	J	V	S	Cumple			
Hito	I.D.	Actividad	Subactividad	Fecha inicio planeada	Fue liberada	Fecha de liberación	Responsa ble	05-Ag.	06-Ag.	07-Ag.	08-Ag.	09-Ag.	10-Ag.	Si	No	Causas de no cumplimiento	
Aprobación de fabricación (2 piezas)	1			05-ago	si	05-ago								X			
Fabricación pieza 1	3	Habilitado															
	3.1		corte	06-ago	si	10-ago									X		Atraso de material, no disponibilidad de máquina cortadora y falta de medidas para corte.
	3.2		doblado	09-ago	si	12-ago								X			

Resumen	
# de actividades planificadas	3
# de actividades terminadas	2
# de actividades NO terminadas	1
PPC	66.7%

Tabla 3. 39 Planificación semana 2 (Fuente: elaboración propia).

Semana 2								Agosto							Fecha de reunion: 10- Ag.	
Fecha: 12-17 Ag.								L	M	M	J	V	S	Cumple		
Hito	I.D.	Actividad	Subactividad	Fecha inicio planeada	Fue liberada	Fecha de liberación	Responsa ble	12-Ag.	13-Ag.	14-Ag.	15-Ag.	16-Ag.	17-Ag.	Si	No	Causas de no cumplimiento
Fabricación pieza 1	3	Habilitado														
	3.2		Doblado	12-ago	si	14-ago									X	Atraso en cortado, entrega de material tardío
	4	Conformación														
Fabricación pieza 2	4.1		Unión	14-ago	si	17-ago									X	Falta de material
	4.2		Soldadura	17-ago	si	18-ago								X		
	12	Habilitado														
	12.1		Corte	14-ago	si	16-ago									X	Falta de información de medidas y atraso en material
	12.2		Doblado	17-ago	si	17-Ag.								X		

Resumen	
# de actividades planificadas	5
# de actividades terminadas	2
# de actividades NO terminadas	3

PPC	40.0%
-----	-------

3.11.1.5 Análisis de la aplicación del *System Last Planner (SLP)*

El análisis de la aplicación de la metodología SLP se realizó mediante las siguientes etapas:

- Análisis del porcentaje de actividades completadas (PAC), también denominado porcentaje de promesas cumplidas (PPC), mediante la Tabla 3. 40. En esta tabla se incluyeron los porcentajes de PPC de cada semana y se calculó el PPC promedio. Con los datos de esta se elaboró un gráfico en el que se muestra visualmente el % PPC (Figura 3. 16).

Al examinar los resultados, se observó lo siguiente:

- El porcentaje de PPC presenta una tendencia positiva, lo que indica una adecuada implementación de la herramienta SLP.
- En la semana 5 se logró un 75% de cumplimiento, un resultado positivo considerando que, de acuerdo con Botero Botero, (2021), el objetivo al implementar el SLP es alcanzar un 80% de actividades completadas.
- Se alcanzó un 61.65% promedio de PPC en la realización del proyecto “Fabricación de tambor mezclador”.

Tabla 3. 40 Porcentaje de PPC de cada semana
(Fuente: elaboración propia).

Semana	Actividades planificadas	Actividades completadas	% PPC
1	3	2	66.67%
2	5	2	40.00%
3	5	3	60.00%
4	5	2	40.00%
5	9	7	77.78%
6	11	7	63.64%
7	8	4	50.00%
8	6	3	50.00%
9	3	2	66.67%
10	4	3	75.00%
11	1	0	50.00%
12	1	1	100.00%
Promedio			61.65%

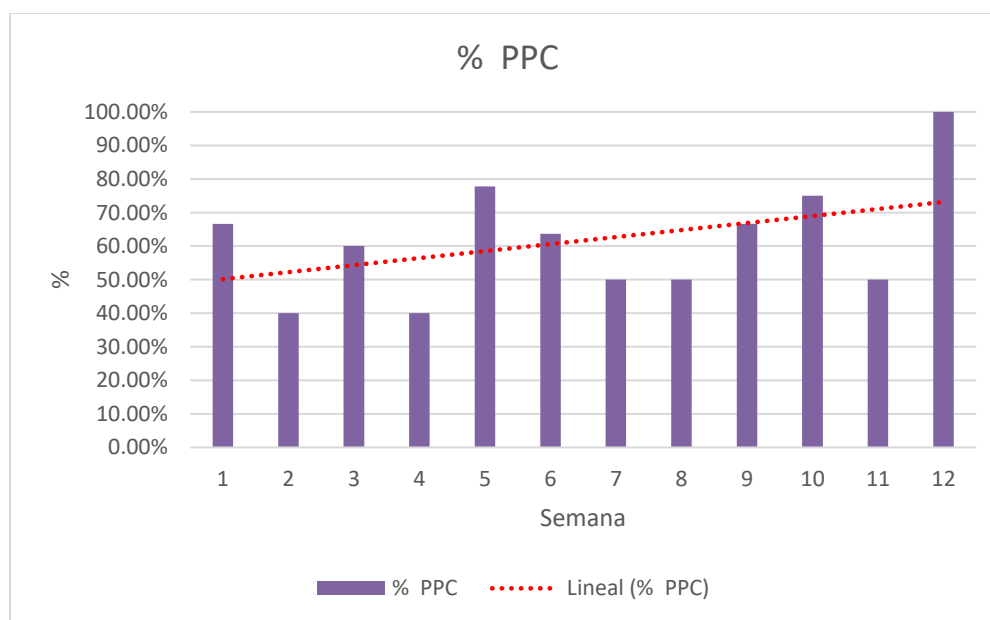


Figura 3. 16 Gráfico del porcentaje de actividades cumplidas del proyecto en cuestión (Fuente: elaboración propia).

- Análisis de las causas de no cumplimiento mediante una tabla con las causas de no cumplimiento (Tabla 3. 41). Con base en los datos de esta tabla, se obtuvo la Figura 3. 17 en la que se muestra un gráfico con el porcentaje de las causas de no cumplimiento.

Al analizar los resultados se observó lo siguiente:

- La principal causa del no cumplimiento se debe al atraso en los materiales y piezas del proyecto.
- La segunda causa principal de no cumplimiento se debe a la insuficiencia de información y las modificaciones en el diseño.

Tabla 3. 41 Análisis de las causas de no cumplimiento (Fuente: elaboración propia).

Semana	% PPC	Materiales		Mano de obra	Herramientas y equipos		Error de programación		Diseño		Prerrequisitos	Calidad
		Atraso de material	Atraso de piezas	Trabajador no disponible	Máquina descompuesta	Máquina ocupada	Falta de planificación	Verificación muy lenta	Modificaciones	Falta de medidas para corte	Atraso en actividad anterior	Retrabajos por falta de calidad
1	67%	1				1	1			1		
2	40%	1									1	
3	60%	1				1					1	
4	40%		1	1					1			
5	78%			1								
6	64%		1	1	1				1			
7	50%		1						1			1
8	50%			1		1		1			1	
9	67%											
10	75%								1			
11	0		1					1	1		1	
Suma		3	4	4	1	3	1	2	5	1	4	1
Total		7	4	4	4		3		6	4		1

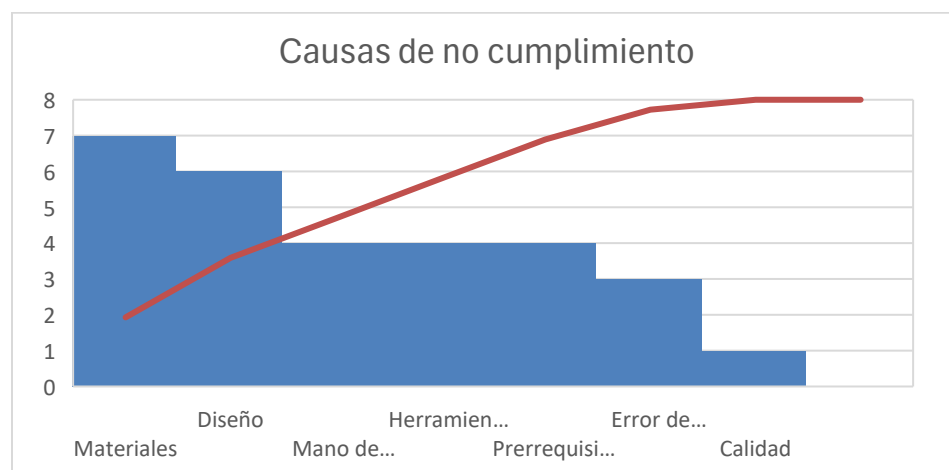


Figura 3. 17 Gráfico de Pareto de las causas de cumplimiento (Fuente: elaboración propia).

- Búsqueda de la causa raíz de las dos principales causas de no cumplimiento.
 - Mediante la aplicación de la herramienta de los 5 porqués se identificó la causa raíz del “atraso de los materiales y piezas”, como se muestra en la Figura 3. 18, la cual era que no se asignó a un responsable para el diseño, y por lo tanto los trabajadores de planta realizaron el cálculo de materiales y piezas necesarias, los cuales no fueron correctos ocasionando el inicio del proyecto.

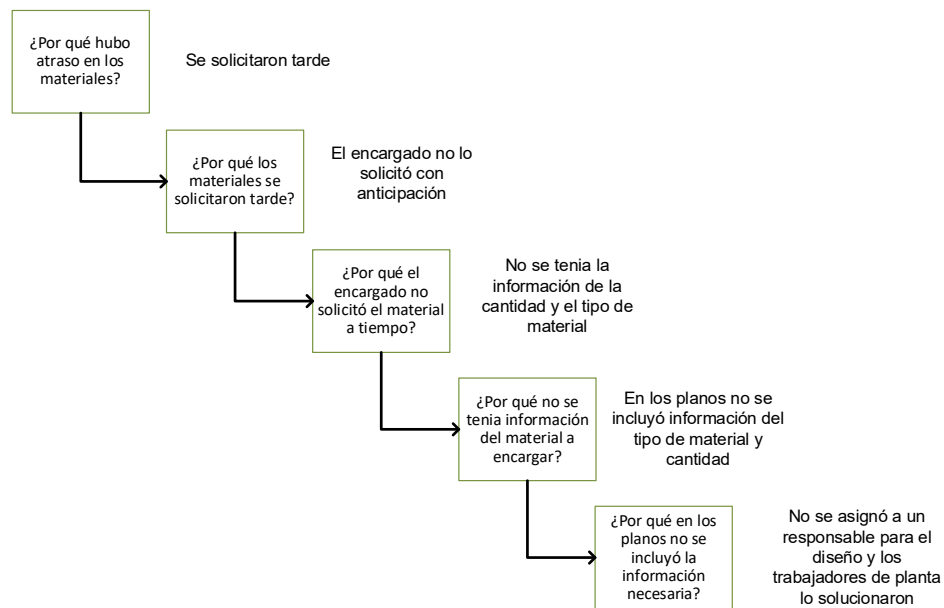


Figura 3. 18 Búsqueda de causa raíz a la causa de no cumplimiento de la falta de materiales (Fuente: elaboración propia)

- Mediante la aplicación de la herramienta de los 5 porqués se identificó la causa raíz de la “insuficiencia de información y modificaciones en el diseño” como se muestra en la Figura 3. 19, la cual se debió a que entre departamentos no existía una buena comunicación ya que no comprendían la importancia de la colaboración en la realización de los proyectos.

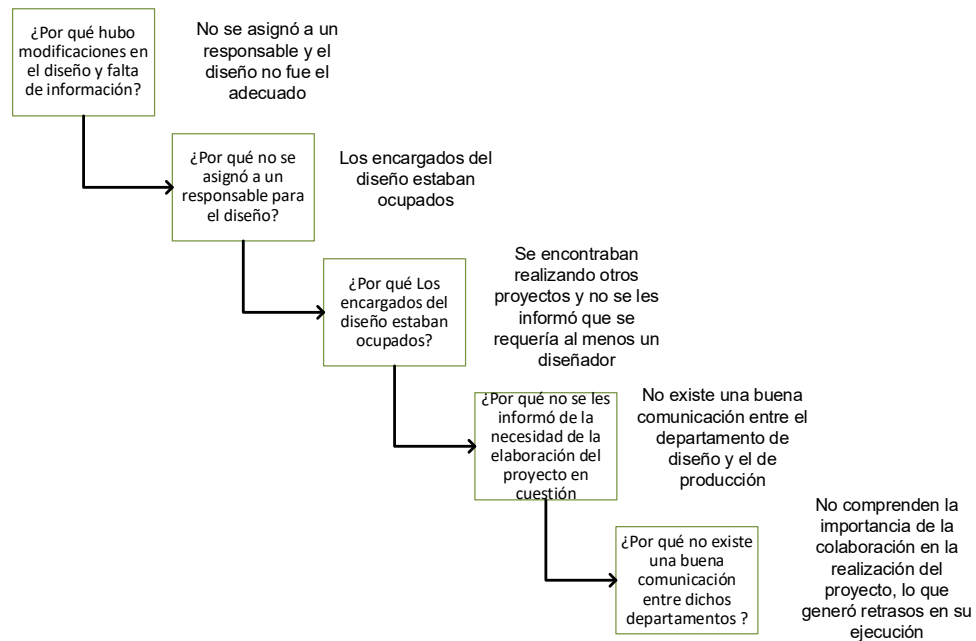


Figura 3. 19 búsqueda de causa raíz a la causa de no cumplimiento: "modificaciones en el diseño y falta de información (Fuente: elaboración propia).

- Resultados y recomendaciones de la implementación del *System Last Planner*.

Con base en los resultados obtenidos del análisis de las diferentes fases de planificación, se concluye que el *System Last Planner* permitió mejorar la visibilidad del proyecto, optimizar la asignación de recursos y reducir el impacto de las restricciones en el avance del proyecto. Sin embargo, también se identificaron algunos puntos de mejora en la coordinación entre los equipos y en la gestión de las causas de no cumplimiento, lo que sugiere la necesidad de afinar el proceso para futuras implementaciones.

3.11.2 Tablas y gráficas dinámicas para control y avance

La presente propuesta tuvo como objetivo actualizar y consolidar los proyectos realizados por la empresa para facilitar el acceso a información detallada sobre cada proyecto, tanto los finalizados, desde el año 2021, como los que están en curso, mediante gráficos dinámicos que presenten datos específicos.

El propósito de esta actividad de mejora fue ofrecer un control visual rápido y accesible para los jefes y responsables de los proyectos, mostrando de manera clara los costos, los kilogramos fabricados y el progreso de fabricación de cada proyecto, según el cliente correspondiente, mejorando así el control de la producción en el taller de estructuras.

Para lograr la mejora se realizaron las siguientes actividades:

- Búsqueda y análisis de la información sobre los proyectos realizados por la empresa.
- Creación de una base de datos en *Excel*, a partir de la revisión y selección de la información recopilada.
- Elaboración de tablas y gráficos dinámicos para el control y seguimiento del avance de los proyectos.

3.11.2.1 Búsqueda y análisis de la información relacionada con los proyectos realizados por la empresa

Se llevó a cabo una búsqueda, con los encargados de las distintas áreas del proceso de producción, con el fin de recopilar los archivos de datos relacionados con los proyectos de construcción realizados por la empresa. Esta búsqueda permitió obtener y observar que diversos archivos desde el año 2021, proveniente de diversos encargados, tenían detalles sobre los proyectos en curso y adicionalmente información particular de cada encargado, como se muestra en la Figura 3. 20.

Al analizar la información obtenida, se observó que estaba dividida en diversas secciones, como presupuestos, clientes, salidas, entradas, entre otras. Sin embargo, no todos los archivos presentaban las mismas secciones ni seguían una nomenclatura uniforme. Además, algunos datos se repetían en la misma base de datos o estaban incompletos. Un ejemplo de la información encontrada se muestra en la Tabla 3. 42.

Nombre	Tipo	Tamaño	Etiquetas	Categorías
BASE DE DATOS_TALLER_ESTRUCTURAS_IXTAC_2023_PROYECTO TROMPO	Hoja de cálculo d...	24,309 KB		
BASE DATOS_TALLER_ESTRUCTURAS_NUEVO_FORMATO_2024 (PRODUCCION ACTUALIZADO Por LTC)	Hoja de cálculo d...	23,444 KB		
BASE DATOS_TALLER_ESTRUCTURAS_NUEVO_FORMATO_2024 (PRODUCCION) (version 2)	Hoja de cálculo d...	27,722 KB		
BASE DE DATOS_TALLER_ESTRUCTURAS_NUEVO_FORMATO_2024 (ACTUALIZADO POR CALIDAD)	Hoja de cálculo d...	27,708 KB		
BASE DATOS_TALLER_ESTRUCTURAS_NUEVO_FORMATO_2024 (PRODUCCION) (corregido con codigo)	Hoja de cálculo h...	27,743 KB		
BASE DATOS_TALLER_ESTRUCTURAS_NUEVO_FORMATO_2023 (GENERAL)	Hoja de cálculo d...	31,241 KB		

Figura 3. 20 Archivos de bases de datos de la empresa, de diversos encargados (Fuente: elaboración propia)

Tabla 3. 42 Ejemplo de información encontrada de los proyectos realizados (Fuente: elaboración propia)

Autoguardado		BASE DATOS, TALLER_ESTRUCTURAS, NUEVO_FORMATO_2024 (PRODUCCION ACTUALIZADA...)										Buscar									
Archivo		Inicio		Insertar		Disposición de página		Fórmulas		Datos		Revisar		Vista		Ayuda		Comentarios		Compartir	
K977		1		x		fx															

Secciones distintas o extras a los archivos de datos

3.11.2.2 Creación de una base de datos en Excel, a partir de la revisión y selección de la información recopilada

A partir de la información obtenida, se elaboró cuidadosamente un archivo denominado “Base_datos_taller_estructuras_nuevo_formato_2024 (producción actualizado)”, que contiene una base de datos en Excel, con el objetivo de consolidar todos los datos, sin repeticiones ni inconsistencias. Para ello, se agrupó la información en secciones según su similitud, como se observa en la Tabla 3. 41

El resultado obtenido cumplió con las expectativas, ya que los datos recopilados fueron consistentes y estaban organizados, de acuerdo con las distintas secciones, y satisficieron las necesidades del jefe de taller de estructuras.

Tabla 3. 43 Base de datos actualizada (Fuente: elaboración propia).

Archivo Base de Datos_Taller_Estructuras_Nuevo_Formato_2024 (Producción Actualizada Por LTC) Hoja de cálculo d... 23,444 KB

Archivo Base de Datos_Taller_Estructuras_Nuevo_Formato_2024 (Producción) (version 2) Hoja de cálculo d... 27,722 KB

Archivo Base de Datos_Taller_Estructuras_Nuevo_Formato_2024 (Actualizado Por Calidad) Hoja de cálculo d... 27,708 KB

Archivo Base de Datos_Taller_Estructuras_Nuevo_Formato_2024 (Producción) (corregido con código) Hoja de cálculo h... 27,743 KB

Archivo Base de Datos_Taller_Estructuras_Nuevo_Formato_2023 (General) Hoja de cálculo d... 31,241 KB

Archivo corregido y actualizado

Datos organizados

Datos no repetidos

Secciones conjuntas recopiladas de todas las bases de datos

3.11.2.3 Elaboración de tablas y gráficos dinámicos para el control y seguimiento del avance de los proyectos.

En el documento generado a partir de la base de datos actualizada se agregó una hoja con tablas y gráficos dinámicos. Al inicio de esta hoja se incorporó una sección de búsqueda que permite filtrar información mediante tres variables: cliente, orden de fabricación (OF) y obra; tal como se muestra en la Tabla 3. 44. Esta funcionalidad fue implementada según las indicaciones del jefe del taller de estructuras.

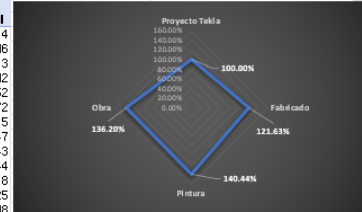
Al realizar una búsqueda con las variables deseadas, los resultados relacionados se presentan en la misma hoja en forma de tablas y gráficos dinámicos, un ejemplo se ilustra en la Tabla 3. 45.

Los elementos de la Tabla 3. 45. destacan los datos más relevantes para facilitar la toma de decisiones del jefe de taller de estructuras metálicas. Es importante mencionar que se elaboraron varias tablas y gráficos dinámicos; estos se presentan en el Anexo 5.

Tabla 3. 44 Tabla de búsqueda (Fuente: elaboración propia)

Tabla 3. 45 Ejemplo de tablas y gráficos dinámicos (Fuente: elaboración propia)

Salidas					
Suma de KG SALIDAS	Etiquetas de columna	TRASLADO A PIVO			
Etiquetas de fila	SEMANA	PIVO - OBRA	TALLER - OBRA	(en blanco)	Total general
2020	14			113.4	113.4
	16			16	16
	17	1324	1138.3		2462.3
	18	1026.52	1148.6		2175.12
	19		55.52		55.52
	20			472	472
2021	1	19687.3	17778.6		37466.5
	2	14.53		5963.94	5978.47
	3	21966	1384.2	2109.23	25453.43
	4	16781.11	6746.4	238.33	25826.44
	5	10793.44	10739.8	40.56	21573.8
	6	5206.8	4472.42	2025.03	11704.25
	7	15853.18	566.58	5307.42	21277.18
	8	31893.34	305.3	1227.34	33425.98
	9	14358.4	307.8	2713.92	17380.12
	10	15554.94	520.6	230.28	16305.82
	11	3383.5	68.4		3451.9
	12	4229.1	791.94		5021.04
	13	2353.8	38749.6		41103.4
	14	3820.87	6053.07	93.6	9967.54
	15	4143.4	5205.3		9348.7
	16	9546.65	14162.2	891.3	24620.15
	17	285.1	23026.1		23291.2
	18	13987.3	13536		27523.3
	19	6977.2	10163.6		17140.8
	20	20138.95	13939.86	233.6	34312.41
	21	10893.82	5820.82	576.51	17291.15
	22	17410.5	4996.5	233.03	22640.03
	23	16001.8	4806.82	183	20991.62
	24	4814.11	825.53	228.1	5867.74
	25	966.72		103.52	1070.24
	26	11679.15	1355.42	22.6	13057.17
	27	10080.33	1320.97	1042.69	12443.99
	28	23604	11401.86	4228.02	35233.88
	29	11532.1	22544.95	37.38	34174.43
	30	21558.9		29395.8	50954.7
	31	18154.8	15189.5	267.85	33611.95
	32	13455.2	51910.78	1277.75	66643.73
	33	22072.2	35263		57335.2
	34	42253	16706.3	1620.8	60580.1
	35	34272.4	39245.9	1322.73	74841.03
	36	34664.04	34872.1	351.82	69887.96
	37	45150.5	19198.8	1188.26	65537.56
	38	56491.1	45914.9		102406
	39	52059	60871.6	400	113330.6
	40	42892.5	62841.7	32.16	105766.36
	41	59893.94	67027.22	552	127473.16
	42	39723.9	23184.92	46	62960.62



3.12 Conclusión

La metodología empleada fue clave para lograr el objetivo de este proyecto de tesis: mejorar el control de la producción en el taller de estructuras metálicas de una empresa constructora mediante técnicas y herramientas de ingeniería industrial y de *Lean Construction*. Mediante la implementación de esta metodología, se articularon diversas herramientas de ingeniería industrial, como el método por puntos, la lluvia de ideas, el diagrama de afinidad, los diagramas de flujo, el mapa de la cadena de valor (*VSM*) y el diagrama de interrelaciones. Estas herramientas fueron esenciales para diagnosticar la situación actual, identificar las problemáticas existentes, analizar las causas que afectaban los indicadores de desempeño, evaluar los procesos mediante un *VSM* y la prueba de los cinco minutos, determinar la causa raíz y, finalmente, aplicar soluciones orientadas al control de la producción.

Capítulo 4

Resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos tras la aplicación de técnicas y herramientas de ingeniería industrial y *Lean Construction* (mediante la metodología descrita en el capítulo tres, Sección 3.1) con el objetivo de mejorar el control de la producción en el taller de estructuras metálicas de una empresa constructora.

Este capítulo también incluye una sección dedicada a los productos académicos generados durante la investigación, resaltando el impacto que la implementación de estas herramientas logró en el sector de la construcción, especialmente en la mejora de los indicadores clave relacionados con el control de la producción en un ambiente de proyectos.

4.1 Discusión

La metodología empleada en el presente proyecto de tesis se utilizó para implementar la herramienta *System Last Planner* (SLP) en un proyecto de construcción en el taller de estructuras metálicas y para actualizar y crear una base de datos con tablas y gráficos dinámicos. Con estas implementaciones, se obtuvieron las siguientes mejoras significativas en el control de la producción de la empresa en estudio.

- La implementación de la actividad de mejora denominada *System Last Planner* (SLP) en el taller de estructuras metálicas permitió abordar la mala planeación y la falta de supervisión de los proyectos. Como resultado, se alcanzó un porcentaje promedio de PPC (*Plan Percent Complete*) del 61.65 %. Si bien no se contaba con mediciones previas para establecer una comparación directa, este resultado es relevante considerando que, según (Botero Botero, 2021), el objetivo al aplicar el SLP es alcanzar un 80% de PPC, siendo aceptable un mínimo del 40%. Dado que esta fue la primera aplicación de la herramienta, el resultado obtenido se considera satisfactorio.
- Es importante destacar que, de acuerdo con la metodología *Lean Construction*, el cambio de enfoque de la asignación de actividades a la de responsabilidades

representó un avance significativo en la organización del trabajo. Esta transformación implicó que los miembros del equipo no solo ejecutaran tareas asignadas, sino que asumieran la responsabilidad integral de un conjunto de acciones, lo que permitió una mayor claridad en los roles, fortaleció el compromiso individual y colectivo, y mejoró la coordinación general. Al definir responsabilidades, se minimizaron los errores y los retrabajos, y se optimizó el flujo de trabajo.

- La implementación de la actividad de mejora denominada ‘Tablas y gráficos dinámicos para control y avance’ fortaleció la supervisión y el control de la producción en el taller de estructuras metálicas. Como parte de esta iniciativa, se desarrolló un archivo en Excel que facilitó el acceso a información detallada y actualizada de cada proyecto. Gracias a esta herramienta, los jefes y responsables pudieron contar con un control visual claro y accesible, presentando de manera precisa los costos, los kilogramos fabricados y el progreso de fabricación por cliente. Esto resolvió la dificultad previa de acceder a información precisa y actualizada. Además, mejoró la comunicación dentro del equipo, ya que cada integrante sabe con precisión a quién dirigirse ante dudas o situaciones específicas, lo que optimiza aún más la gestión de la producción.

En resumen, los elementos antes mencionados contribuyeron a una ejecución más eficiente, colaborativa y alineada con los principios de mejora continua que caracterizan a *Lean Construction* y al objetivo del presente proyecto de tesis, lo cual generó un impacto positivo en la realización del proyecto “fabricación de tambor mezclador” y a futuros proyectos mediante la herramienta “tablas y gráficos dinámicos”.

4.2 Productos académicos

A lo largo del presente proyecto se generaron cuatro productos académicos:

- Un *keynote* en las memorias del “congreso internacional de investigación e innovación multidisciplinaria CIIM-Orizaba-2024”.

El Keynote, con el título “búsqueda de problemas y causa raíz en una empresa metalmecánica aplicando *Lean Construction*”, mostró cómo se identificaron los

problemas de mayor impacto y su causa raíz en una empresa metalmecánica, ante las constantes dificultades para cumplir con los plazos de entrega previstos en los proyectos. Para alcanzar el objetivo deseado, se realizaron entrevistas y se aplicaron herramientas de ingeniería industrial: diagrama de afinidad, lluvia de ideas, método por puntos, diagramas de flujo, diagrama de interrelaciones, y herramientas de *Lean construction*: prueba de los cinco minutos y *Value Stream Mapping*.

- Una ponencia presentada en el marco del “congreso internacional de investigación e innovación multidisciplinaria CIIM-Orizaba-2024”.

La ponencia titulada “Implementación del *System Last Planner* en una empresa metalmecánica” mostró cómo se aplicó la herramienta *System Last Planner* (SLP), perteneciente a la metodología *Lean Construction*, en un proyecto de construcción de una empresa metalmecánica, con el objetivo de mejorar el control de la producción. Para la aplicación del SLP se definió una metodología de cinco pasos, que abarcó desde la identificación y selección del proyecto hasta el análisis de la aplicación del SLP. Esta implementación generó resultados positivos, por lo que se recomendó continuar utilizando SLP en futuros proyectos, ya que está enfocado en la mejora continua.

- Una ponencia en el “2.º congreso internacional multidisciplinario: Sustentabilidad y desarrollo alimentario”.
- Una tesis, la cual sirvió para la titulación del alumno Luís Tlaxcala De la Cruz.

La tesis se centró en el mejoramiento del control de la producción en una empresa metalmecánica ubicada en el estado de Veracruz, mediante la implementación de técnicas de ingeniería industrial y de herramientas de *Lean Construction*. El proyecto se basó en la necesidad de optimizar los procesos de producción, principalmente mediante la mejora del flujo de trabajo y el control de los tiempos asociados a la fabricación de estructuras en el taller de estructuras metálicas de la empresa.

Conclusiones y recomendaciones

En esta sección se presentan las conclusiones del presente proyecto, destacando las situaciones más relevantes que surgieron durante su desarrollo. Además, se ofrecen recomendaciones para asegurar la sostenibilidad y el mantenimiento de las mejoras alcanzadas.

Conclusiones

El presente trabajo de tesis se enfocó en la aplicación de herramientas de ingeniería industrial y *Lean Construction* para mejorar el control de la producción en el taller de estructuras metálicas de una empresa constructora en el estado de Veracruz. Tras implementar metodologías como el *System Last Planner* (SLP), el *Value Stream Mapping* (VSM) y el uso de tablas dinámicas para el control y seguimiento de los proyectos, se observó una mejora significativa en varios aspectos operativos. A través de un análisis exhaustivo y la ejecución de pruebas prácticas en el proceso de producción, se alcanzaron importantes resultados que permitieron optimizar los recursos, aumentar porcentajes de promesas cumplidas, y el porcentaje del flujo de trabajo, asociados con el proceso de fabricación.

Las conclusiones más relevantes derivadas de los resultados obtenidos en la aplicación del presente trabajo de tesis son las siguientes:

- Mejora del control de la producción mediante la aplicación de herramientas de *Lean Construction*. La implementación de herramientas como el *System Last Planner* (SLP) y el uso de tablas dinámicas para el control de los proyectos ha logrado una mejora significativa en el control de la producción en el taller de estructuras metálicas de la empresa. Estas herramientas facilitaron la planificación y monitoreo de las actividades, proporcionando un flujo constante de información, lo que permitió a los responsables de cada área tomar decisiones informadas. Como resultado, se observó una disminución en el tiempo de espera, mejor uso de los recursos disponibles y una mayor eficiencia en la coordinación de las actividades entre los distintos departamentos involucrados en el proceso de construcción.

- Reducción de desperdicios y mejora de la productividad. A través del uso de herramientas como la prueba de los 5 minutos y el *Value Stream Mapping* (VSM), se lograron identificar áreas de oportunidad significativas dentro del proceso de producción, lo que permitió reducir los desperdicios asociados con las esperas por falta de material, la ineficiencia en la gestión de la mano de obra y el retrabajo debido a deficiencias en los diseños. Con esto, se mejoró la productividad global del taller, reduciendo los tiempos de ciclo, lo que resultó en un uso más eficiente de los recursos y una mayor capacidad de respuesta ante las demandas del cliente.
- Mejora en la comunicación y toma de decisiones. El uso de tablas dinámicas para la medición y control del avance de los proyectos permitió una mejor comunicación interna entre los departamentos, facilitando el intercambio de información entre producción, control de calidad, finanzas y logística. Esta mejora en la comunicación permitió que los equipos de trabajo tuvieran una visión más clara del estado de los proyectos, lo que contribuyó a una toma de decisiones más rápida y efectiva.
- Impacto positivo en la satisfacción del cliente. Con el aumento de la eficiencia en el control de la producción y la reducción de los tiempos de entrega, la empresa fue capaz de cumplir con los plazos y presupuestos establecidos para el proyecto seleccionado, lo que se tradujo en una mayor satisfacción del cliente. Esto fue crucial para fortalecer la competitividad de la empresa en el mercado, al ofrecer productos terminados de alta calidad y dentro de los plazos comprometidos.

Recomendaciones

Con base en los hallazgos y logros de este proyecto, es importante que la empresa continúe con el proceso de mejora continua, aplicando de manera constante las herramientas y metodologías implementadas durante el presente trabajo de tesis. Aunque los resultados obtenidos fueron positivos, es necesario seguir desarrollando las estrategias de control de la producción. A continuación, se detallan algunas recomendaciones clave para garantizar la sostenibilidad de los avances logrados y continuar con el proceso de mejora en la empresa constructora:

1. Capacitación continua en la filosofía *Lean Construction*. Aunque se lograron avances significativos con la implementación de *Lean Construction* en el taller de estructuras metálicas, es fundamental que la empresa refuerce la capacitación en esta filosofía para todos los niveles de la organización.
2. Capacitación en *System Last Planner* (SLP). Los involucrados en la planificación y ejecución de los proyectos deben estar familiarizados con SLP para que pueda aplicarse de forma consistente por todos. Esto incluye tanto a los ingenieros como a los supervisores de obra, para asegurar que todos comprendan cómo cada etapa del proyecto afecta el resultado final.
3. Realizar sesiones periódicas de retroalimentación para evaluar el rendimiento del equipo y detectar posibles áreas de mejora en la implementación de las herramientas *Lean*. La capacitación debe ser continua para adaptarse a las nuevas necesidades del mercado y los proyectos que se ejecuten en el futuro.
4. Mantenimiento y actualización del sistema de control de producción. La implementación de tablas dinámicas para el control y seguimiento de los proyectos debe ser permanente en todos los proyectos que la empresa emprenda. Para ello, es necesario mantener un sistema de monitoreo en tiempo real actualizado, lo que permitirá gestionar de manera eficiente tanto los recursos como las incidencias que puedan surgir durante la ejecución de los proyectos.

También se sugiere integrar este sistema de control con otras áreas de la empresa, como la gestión de inventarios y el control de calidad, lo que asegurará que la información fluya sin interrupciones entre todos los departamentos y se tomen decisiones oportunas para evitar sobrecostos.
5. Realizar evaluaciones periódicas de los procesos implementados. La empresa debe seguir un ciclo de evaluación y mejora continua, utilizando indicadores clave de desempeño (KPI) para medir los avances en el control de la producción. Un aspecto crítico de este proceso es la medición periódica del *Plan Percent Complete* (PPC) para garantizar que el nivel de planificación y de ejecución de cada proyecto esté alineado con los objetivos establecidos.
6. Realizar evaluación interna anual para revisar los resultados de las herramientas implementadas como el VSM y la prueba de los 5 minutos, y comparar estos

resultados con los indicadores de productividad y calidad. Esto ayudará a identificar cualquier brecha que pueda existir y aplicar ajustes para mejorar los procesos en el futuro.

7. Reforzar la planificación de la cadena de suministro. La planificación de la cadena de suministro debe ser uno de los elementos centrales de la estrategia de producción. La empresa debe mejorar la coordinación entre el departamento de compras y la producción para evitar retrasos en la entrega de materiales y asegurar que siempre se disponga de los insumos necesarios, evitando paradas en la producción. Es recomendable implementar un sistema de gestión de inventarios más eficiente, que permita monitorear en tiempo real las existencias y los plazos de entrega de los proveedores.
8. Fortalecer la gestión de riesgos. La implementación de técnicas de gestión de riesgos, que incluyan un análisis detallado de los posibles contratiempos que puedan surgir durante la ejecución de los proyectos (como retrasos en la entrega de materiales, errores en los diseños o falta de mano de obra calificada), será clave para asegurar que los plazos y costos se mantengan dentro de los márgenes establecidos. Para ello, se recomienda establecer un equipo de gestión de riesgos que supervise de manera constante el avance de los proyectos y actúe proactivamente ante cualquier inconveniente.
9. Fomentar la participación de los empleados en el proceso de mejora continua. Uno de los aspectos clave de la metodología *Lean* es el fomento de la participación de todos los empleados en la identificación de oportunidades de mejora. Esto se puede lograr mediante la implementación de reuniones regulares en las que todos los miembros del equipo discutan los procesos, identifiquen áreas de oportunidad y colaboren en la propuesta de soluciones. La creación de un ambiente de mejora continua garantizará que la empresa mantenga una cultura de eficiencia y productividad que se traduzca en resultados a largo plazo.
10. Uso de tecnologías emergentes. Es recomendable que la empresa evalúe la implementación de tecnologías emergentes, como el Big Data y la Inteligencia Artificial, para el análisis de datos y la predicción de riesgos. Estas tecnologías pueden ayudar a anticipar posibles problemas en el control de la producción, a

mejorar la programación de proyectos y a optimizar el uso de recursos, lo cual aportaría una ventaja competitiva en el mercado.

La realización de este proyecto ha sido una experiencia intelectualmente enriquecedora, llena de retos constantes que le permitieron al autor aplicar de manera práctica los conocimientos adquiridos a lo largo de la maestría en ingeniería industrial. A lo largo del proceso, se lograron avances significativos en la mejora de los procesos de producción, específicamente en el área de control de tiempos y de flujo de trabajo. Este trabajo culminó con la publicación de un Keynote en el CIIM-2024 y la presentación de dos ponencias: una en el Congreso Internacional de Investigación e Innovación Multidisciplinaria (CIIM-2024) y otra en el 2.º Congreso Internacional Multidisciplinario: Sustentabilidad y desarrollo alimentario. Con estos trabajos, el autor confía haber contribuido de manera valiosa al debate académico sobre la mejora del control de la producción en la industria metalmecánica, en particular mediante la aplicación de metodologías como *Lean Construction* y la implementación de herramientas de ingeniería industrial.

El presente trabajo de tesis es un logro académico, ya que refleja el compromiso y dedicación del autor en el desarrollo de la investigación. Cada etapa del proceso fue un paso más hacia la consecución de los objetivos planteados al inicio del proyecto, asegurando que los resultados fueran pertinentes y aplicables al contexto de la empresa bajo estudio. Al culminar este trabajo, el autor no solo ha logrado proponer soluciones para mejorar el control de la producción, sino que también ha fortalecido su formación profesional, lo que le permitirá obtener el título de maestría en ingeniería industrial.

Fuentes de información

- Abad, A. C., Pech Pérez, J., Omar, S., & Romero Álvarez, O. S. (2005). La empresa constructora y sus operaciones bajo un enfoque de sistemas. *Universidad Autónoma de Yucatán México*, (1), 25–36.
- Aguilar Barojas, S. (2005). Fórmulas para el calculo de la muestra en investigaciones de salud. *Redalyc.Org*, 11, 333–338. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48711206>
- Alarcón Cárdenas, L. F., & Pellicer Armiñana, E. (2009). *La producción sin pérdidas aplicada a la construcción*.
- Araújo, P. (2011). “Universidades Lean”: Contribución para la reflexión. *Revista de La Educación Superior*, XL(4), 135–154.
- Arellano Hernández, L. E. (2017). *Identificación y reducción de desperdicios operativos en una empresa constructora, utilizando simulación y Lean Construction*. Instituto Tecnológico de Orizaba.
- Baca Urbina, Gabriel. (2013). *Evaluación de proyectos* (P. E. Roig Vásquez, Ed.; 7°). McGraw-Hill Interamericana.
- Botero Botero, L. F. (2021). *Principios, herramientas e implementación de Lean Construction* (L. F. Botero Botero & A. Vásquez Hernández, Eds.; primera). EAFIT.
- Botero Botero, L. F., & Álvarez Villa, M. E. (2003). Identificación de pérdidas en el proceso productivo de la construcción. *Redalyc*, 130, 65–78.
- Botero Botero, L. F., & Álvarez Villa, M. E. (2004). Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda (lean construction como estrategia de mejoramiento). *REVISTA Universidad EAFIT*, 40(136), 50–64.
- Cano Moya, S. L. (2019). *Modelo de evolución de la madurez de Lean Construction en la gestión de producción de proyectos de construcción (SLC-EModel)*. ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL.
- Colio Lozano, S. G. (2024). *Plan estratégico para la disminución de la deserción de promotoría en la empresa INTERCARNES S.A. de C.V* [INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TEZIUTLÁN]. https://www.academia.edu/34503616/los_5_porques_de_toyota_una_tecnica_para_identificar_y_resolver_problemas
- Empresa en estudio. (2013). *Manual de la empresa*.

- Figuroa Rosas, C. A. (2012). *Control de la gestión para la constructora Jonac Contratistas enfocado en el control de costos e implementación de un software de gestión*. Universidad Austral de Chile.
- García Cantó, M., & Amador Gandia, A. (2019). Cómo aplicar “Value Stream Mapping” (VSM). *Universidad Politécnica de València.*, 8(2), 68–83. <https://doi.org/10.17993/3ctecno/2019>
- González, J. A., Solís, R., & Alcudia, C. (2010). Diagnóstico sobre la Planeación y Control de Proyectos en las PYMES de Construcción. *Revista de La Construcción*, 9(1), 17–25. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=127619214003>
- Granados Morales, A. M. (2013). *Prueba de los cinco minutos y last planner*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Howell, G. (1999). What is Lean Construction . 7° *Annual Conference of the International Group for Lean Construction* , 1–10.
- Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction*. Stanford University.
- Koskela, L. (2002). *An exploration towards a Production theory and its application to construction* . Helsinki University of Technology.
- Latorre Uriz, A. (2015). *Filosofía Lean en la Construcción*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Lean Construction Institute. (2013). *What is lean construction* . [Http://Ww.LEANconstruction.Org/about-Us/What-Is-LEAN-Cosntruction](http://Ww.LEANconstruction.Org/about-Us/What-Is-LEAN-Cosntruction).
- Lee, Q., & Snyder, B. (2007). *The strategos guide to Value stream and Process Mapping*. Ennma Products Corporation.
- Mannan, A., Krishna, V., & Kumar, R. (2014). Appliication and analysis of Last Planner System in the construction Industry. *Impact*, 33–43.
- Mateu, E., & Casal, J. (2003). Tamaño de la muestra. *Rev. Epidem. Med. Prev*, 1, 8–14.
- Oglesby, C., Parker, H., & Howell, G. (1989). *Productivity improvement in construction: Vol. Cap. 2*. McGrw-Hill Book company.
- P. Womack, Ja., T. Jones, D., & Roos Daniel. (2017). *La máquina que cambió al mundo*. Profit Editorial.
- Palomino Portilla, O. (2005). *Organigrama Empresarial*.

- Peralta, A. V., & Serpell, A. (1991). *Características de la Industria de la Construcción*.
- Pinzón Rincón, J. L., & Galvis Cárdenas, A. C. (2011). *Implementación de las herramientas de medición de perdidas en la etapa de estructura bajo la metodología de construcción sin pérdidas*.
- Pons, J. F., & Rubio, I. (2019a). *Lean Construction y la planificación colaborativa* (1º Edición). Consejo General de la Arquitectura Técnica de España.
- Pons, J. F., & Rubio, I. (2019b). *Lean construction y la planificación colaborativa* (CGAT de España). Consejo General de la Arquitectura Técnica de España.
- Poo Rubio, A. (2012). *El sector de la construcción en México* (6º). Repositorio institucional Zaloamati.
- Ramales Morales, D. J. (2020). *Eficiencia de la metodología last planner como herramienta de planeación en edificaciones*. BUAP.
- Rojas López, M., Henao Grajales, M., & Valencia Corrales, M. E. (2017). Lean construction bajo el pesamiento Lean. *Revista Ingenierías*, 16, 115–128.
<https://doi.org/10.22395/rium.v16n30a6>
- Socconini, S. (2008). *Lean Manufacturing* (Norma).

Anexo 1

Registros realizados en la prueba de los cinco minutos

En la Tabla A1. 1 se presenta una muestra de las mediciones de tiempo que se anotaron en el formato de la Figura 3. 5, considerando aquellos factores externos que fueron de relevancia, además de las observaciones pertinentes en cada medición (Sección 3.6.2.2).

Tabla A1. 1 Muestra de registros realizados en la prueba de los cinco minutos (Fuente: elaboración propia).

Formato prueba de los cinco minutos

Fecha: 14/02/2024
Encuestador: L.T.C.

					Tiempo			
#	Hora	trabajador/ Cargo	Área	Actividad	TP	TC	TNC	Observaciones
1	14:45	Soldador	Nave 3	Soldadura	00:16 soldar	01:25 instrucciones	00:19 18a	El trabajador se encontraba soldando, pero el equipo se averió, lo que genero los tiempos no contributivos.
							01:32 15f	
							00:53 16 a	
							00:32 17a	
							00:19 18a	
2	14:55	Soldador	Nave 3	Soldadura	00:56 soldar 00:17 soldar	00:48 mediciones	01:08 17a	Un compañero de trabajo distrajo al soldador y se la paso platicando.
						00:09 proteccion		
						00:29 preparacion	00:10 18a	
						00:23 limpieza		
3	15:10	Soldador	Nave 3	Pulido de puntos de soldadura	01:44 pulir	00:31 Limpieza	00:55 18a	El trabajador pule la pieza al termino de la soldadura
						00:45 Limpieza		
4	15:20	Oficial	Nave 4	Armado de barandal	01:37 pulir	00:36 instrucciones	00:50 17a	El equipo pierde tiempo al ser varios trabajadores y no ponerse de acuerdo en que hacer.
						01:25 preparacion	00:12 18a	
						00:06 desplazamiento	00:19 17c	
5	15:30	Oficial	Area 51	Armado de barandal	01:47 soldar	00:25 mediciones	00:32 17a	El trabajador pierde tiempo por su actitud y falta de instrucciones, son varios trabajadores en un solo lugar.
							00:54 17b	
						00:13 preparación	00:50 17c	
						00:10 desplazamiento	00:09 18a	
6	15:43	Auxiliar	Nave 2	Armado de estructura		01:52 mediciones	00:13 15d	El equipo pierde mucho tiempo rectificando las medidas.
						00:47 preparación	01:03 17a	
						00:13 desplazamiento	00:52 17c	
Donde:								
TP= Tiempo productivo			TC= Tiempo contributivo ☒			TNC=Tiempo no contributivo☒		

Anexo 2

Datos de los formatos de la prueba de los cinco minutos registrados en una hoja de calculo

En las tablas siguiente se muestran muestras de los datos de los formatos de la prueba de los cinco minutos, registrados en una hoja de cálculo del programa *Excel* (Sección 3.6.2.3), para el tiempo productivo (Tabla A2. 1), tiempo contributivo (Tabla A2. 2) y tiempo no contributivo (Tabla A2. 3), con sus respectivas observaciones (Tabla A2. 4).

Tabla A2. 1 Hoja de cálculo de la prueba de los cinco minutos del tiempo productivo
(Fuente: elaboración propia)

N°	Fecha	trabajador	Hora	Actividad	Area	Proceso	productivo							
								1	2	3	4	5	6	7
1	06/02/2024	Op. Maq. oxicorte	14:15	habilitado de columnas en	Nave 1	Habilitado	232	232						
2	06/02/2024	Op. dobladora	14:40	doblado de placas	Nave 1	Habilitado	95		95					
3	06/02/2024	Oficial	15:20	habilitado de rejillas	Nave 1	Habilitado	0							
4	06/02/2024	Oficial	15:30	habilitado de estructura p	Nave 1	Habilitado	0							
5	06/02/2024	Auxiliar	15:40	enderezado de piezas tipo	Nave 1	Habilitado	174							174
6	07/02/2024	Auxiliar pailero	15:05	Pulido de biga	Nave 1	Habilitado	180						180	
7	07/02/2024	Oficial	15:12	medicion para corte en col	Nave 1	Habilitado	0							
8	07/02/2024	Auxiliar	15:25	corte de placas	Nave 1	Habilitado	0							
9	07/02/2024	Oficial	15:35	medicion y marcado de col	Nave 2	Habilitado	38						38	
10	07/02/2024	Oficial	15:50	Enmderezado de barandal	Nave 2	Habilitado	0							
11	09/02/2024	Auxiliar	14:20	pulido de columna	Nave 4	Habilitado	73						73	
12	09/02/2024	Oficial	14:30	pulido de pieza para estru	Nave 4	Habilitado	245						245	
13	21/02/2024	Oficial	09:40	Transporte de pieza habilit	Nave 2	Habilitado	0							
14	21/02/2024	Auxiliar	09:55	Corte de columna	Nave 4	Habilitado	155	155						
15	23/02/2024	Auxiliar	04:40	Habilitado de piez para arr	Nave 1	Habilitado	30						30	
16	27/02/2024	Op. Maq. oxicorte	12:10	corte de placas	Nave 1	Habilitado	300	300						
17	27/02/2024	Aux de Op.	12:18	Medicion de placas para d	Nave 1	Habilitado	0							
18	01/03/2024	Oficial	12:16	Habilitado de pieza	Nave 2	Habilitado	77			49			28	
19	01/03/2024	Auxiliar	12:23	Habilitado	Nave 2	Habilitado	0							
20	04/03/2024	Oficial	11:28	Corte de columnas	Nave 2	Habilitado	105	105						
21	04/03/2024	Oficial	12:32	Enderezado de columna	Nave 1	Habilitado	75							75
22	04/03/2024	Oficial	12:50	Medicion y barrenado	Nave 1	Habilitado	90					90		
23	01/03/2024	Oficial	12:35	Pulido de pieza para arma	Nave 2	Habilitado	196						196	
24	06/03/2024	Oficial	09:30	Habilitado de placas tipo t	Area 51	Habilitado	17						17	
25	06/03/2024	Oficial	09:40	Habilitado de placas tipo t	Area 51	Habilitado	216						216	
26	06/03/2024	Oficial	09:50	Habilitado y corte de aisl	Area 51	Habilitado	166	166						
Subtotal								958	0	144	0	90	1023	249
Total de tiempo 7800								####	0.0%	5.8%	0.0%	3.7%	####	10.1%
Total							2464							
							31.6%							

Tabla A2. 2 Hoja de cálculo de la prueba de los cinco minutos del tiempo contributivo
(Fuente: elaboración propia)

N°	Fecha	trabajador	Hora	Actividad	Area	Proceso	contributivo	Mediciones	Instrucciones	Transporte	Protección	Preparación	Desplazamientos	Limpieza
								8	9	10	11	12	13	14
1	06/02/2024	Op. Maq. oxicorte	14:15	habilitado de columnas en	Nave 1	Habilitado	50					50		
2	06/02/2024	Op. dobladora	14:40	doblado de placas	Nave 1	Habilitado	34					34		
3	06/02/2024	Oficial	15:20	habilitado de rejillas	Nave 1	Habilitado	300	300						
4	06/02/2024	Oficial	15:30	habilitado de estructura p	Nave 1	Habilitado	124		77		47			
5	06/02/2024	Auxiliar	15:40	enderezado de piezas tipo	Nave 1	Habilitado	32		11			21		
6	07/02/2024	Auxiliar pailero	15:05	Pulido de biga	Nave 1	Habilitado	50					50		
7	07/02/2024	Oficial	15:12	medicion para corte en co	Nave 1	Habilitado	140	96			44			
8	07/02/2024	Auxiliar	15:25	corte de placas	Nave 1	Habilitado	33					33		
9	07/02/2024	Oficial	15:35	medicion y marcado de co	Nave 2	Habilitado	208	86				76	46	
10	07/02/2024	Oficial	15:50	Enmderezado de barandal	Nave 2	Habilitado	300			300				
11	09/02/2024	Auxiliar	14:20	pulido de columna	Nave 4	Habilitado	43	31					12	
12	09/02/2024	Oficial	14:30	pulido de pieza para estru	Nave 4	Habilitado	23					17	6	
13	21/02/2024	Oficial	09:40	Transporte de pieza habilit	Nave 2	Habilitado	205		73	132				
14	21/02/2024	Auxiliar	09:55	Corte de columna	Nave 4	Habilitado	38	30				8		
15	23/02/2024	Auxiliar	04:40	Habilitado de piez para arr	Nave 1	Habilitado	9				9			
16	27/02/2024	Op. Maq. oxicorte	12:10	corte de placas	Nave 1	Habilitado	0							
17	27/02/2024	Aux de Op.	12:18	Medicion de placas para d	Nave 1	Habilitado	152		30	50		29	28	15
18	01/03/2024	Oficial	12:16	Habilitado de pieza	Nave 2	Habilitado	48	10				27		11
19	01/03/2024	Auxiliar	12:23	Habilitado	Nave 2	Habilitado	221	51	170					
20	04/03/2024	Oficial	11:28	Corte de columnas	Nave 2	Habilitado	25					16	9	
21	04/03/2024	Oficial	12:32	Enderezado de columna	Nave 1	Habilitado	150	40				110		
22	04/03/2024	Oficial	12:50	Medicion y barrenado	Nave 1	Habilitado	174	84	50			40		
23	01/03/2024	Oficial	12:35	Pulido de pieza para arma	Nave 2	Habilitado	79					42	37	
24	06/03/2024	Oficial	09:30	Habilitado de placas tipo t	Area 51	Habilitado	283	118		37	12	101	15	
25	06/03/2024	Oficial	09:40	Habilitado de placas tipo t	Area 51	Habilitado	37				4	13	20	
26	06/03/2024	Oficial	09:50	Habilitado y corte de aisl	Area 51	Habilitado	128	29				45		54
Subtotal								875	411	519	116	712	173	80
Total de tiempo							7800	####	####	####	4.0%	####	6.0%	2.8%
Total							2886							
							37.0%							

Tabla A2. 3 Hoja de cálculo de la prueba de los cinco minutos del tiempo no contributivo
(Fuente: elaboración propia)

							No contributivo	Esperas					Desplazamientos					Ocio				Descanzo				Necesidades fisiológicas					Reprocesos				Transporte		
N°	Fecha	Trabajador	Hora	Actividad	Area	Proceso		15a	15b	15c	15d	15f	16a	16b	16c	16d	17a	17b	17c	17d	18a	18b	18c	18d	19a	19b	19c	19d	20a	20b	20c	20d	21a	21b	21c		
1	06/02/2024	Op. Maq. oxicorte	14:15	habilitado de columnas en	Nave 1	Habilitado	18																18														
2	06/02/2024	Op. dobladora	14:40	doblado de placas	Nave 1	Habilitado	171							119					52																		
3	06/02/2024	Oficial	15:20	habilitado de rejillas	Nave 1	Habilitado	0																														
4	06/02/2024	Oficial	15:30	habilitado de estructura p	Nave 1	Habilitado	176							39				50				27															
5	06/02/2024	Auxiliar	15:40	enderezado de piezas tipo	Nave 1	Habilitado	94				23						19				52																
6	07/02/2024	Auxiliar pailero	15:05	Pulido de biga	Nave 1	Habilitado	70										16				54																
7	07/02/2024	Oficial	15:12	medicion para corte en col	Nave 1	Habilitado	160										160																				
8	07/02/2024	Auxiliar	15:25	corte de placas	Nave 1	Habilitado	267				267																										
9	07/02/2024	Oficial	15:35	medicion y marcado de col	Nave 2	Habilitado	54						37				17																				
10	07/02/2024	Oficial	15:50	Enmdereado de baranda	Nave 2	Habilitado	0																														
11	09/02/2024	Auxiliar	14:20	pulido de columna	Nave 4	Habilitado	184	14									5							165													
12	09/02/2024	Oficial	14:30	pulido de pieza para estru	Nave 4	Habilitado	32														32																
13	21/02/2024	Oficial	09:40	Transporte de pieza habilit	Nave 2	Habilitado	95										80																		15		
14	21/02/2024	Auxiliar	09:55	Corte de columna	Nave 4	Habilitado	107						36	7			5					49	10														
15	23/02/2024	Auxiliar	04:40	Habilitado de pieza para ar	Nave 1	Habilitado	261											49			21		191														
16	27/02/2024	Op. Maq. oxicorte	12:10	corte de placas	Nave 1	Habilitado	0																														
17	27/02/2024	Aux de Op.	12:18	Medicion de placas para d	Nave 1	Habilitado	148						34				61		21		32																
18	01/03/2024	Oficial	12:16	Habilitado de pieza	Nave 2	Habilitado	175						21								24																
19	01/03/2024	Auxiliar	12:23	Habilitado	Nave 2	Habilitado	79												29	50																	
20	04/03/2024	Oficial	11:28	Corte de columnas	Nave 2	Habilitado	170															100															
21	04/03/2024	Oficial	12:32	Enderezado de columna	Nave 1	Habilitado	75				75																										
22	04/03/2024	Oficial	12:50	Medicion y barrenado	Nave 1	Habilitado	36				19												17														
23	01/03/2024	Oficial	12:35	Pulido de pieza para arma	Nave 2	Habilitado	25										11																				
24	06/03/2024	Oficial	09:30	Habilitado de placas tipo	Area 51	Habilitado	0																														
25	06/03/2024	Oficial	09:40	Habilitado de placas tipo	Area 51	Habilitado	47						20																								
26	06/03/2024	Oficial	09:50	Habilitado y corte de alis	Area 51	Habilitado	6																6														
Subtotal								14	0	98	286	0	90	127	156	0	0	476	78	71	0	310	128	218	18	295	0	0	0	0	0	0	0	15	0	70	
Total							2450						488				283				625				674			295					0				85
							31.4%						***				***				***			***			***					0.0%					3.5%
								2.8%	0.0%	20.1%	98.6%	0.0%	18.4%	44.8%	95.1%	0.0%	0.0%	78.2%	12.8%	11.4%	0.0%	46.0%	19.0%	32.3%	2.7%	100%	0.0%	0.0%	0.0%					***	0.0%	***	

Tabla A2. 4 Observaciones de la hoja de cálculo de la prueba de los cinco minutos para los TP, TC y TNC (Fuente: elaboración propia).

N°	Observaciones
1	El op corta una columna en la maquina por la parte central con la medidas marcadas que se le entregaron
2	El eq se encuentra doblando una placas para unas canaletas
3	EL trabajador se psasa los 5 min haciendo mediciones
4	realizaz una pieza para tamsa pero tarda mucho en prepararse
5	El eq platica mucho, realizan una actividad hasta que la anterior termina, tardan mucho
6	El equipo se encuentra puliendo una bigas pequeñas que seran soldadas a otras
7	el equipo realiza mediciones y marca las columnas a cortar
8	El aux solo sostiene unos cables mientras que el oficial manipula la maquina cortadora
9	el oficial mide y marca una columna echiza
10	al termino de ser enderezado se transporta para ser enviado mediante la grua de altura
11	El eq se encuentra puliendo una columna para la estructura PONY, cuator personas platican el el area de trabajo
12	Habilitado de estructur tipo PONY
13	El eq transporta una pieza habilitada para armado
14	EL trab corta una columna pequeña con un soplete de mano
15	se hacerca su hora de comida, se distrae con su telefono.
16	El op manipula la maquina de corte sin interrupciones
17	El eq prepara unas placas para doblar, se distrae en muy facilmente
18	El trabajador descanza mucho y dejo su puesto de trabajo
19	El trabajador se distrae facilmente, es lento y piensa mucho en que hacer
20	El trabajador realiza un corte manual mediante soplete a una columna tarda mucho en devolver el material a su lugar.
21	El eq endereza una columna pequeña, espera mucho a que se enfria la pieza
22	El trabajador realiza mediciones para un barrenado
23	El trabajador es velos pero se distrae al hacercarse otro compañero.
24	El trabajador pasa mucho tiempo midiendo.
25	Del equipo solo uno trabaja y el otro solo observa.
26	El trabaja solo, por lo cual no se distrae.

Anexo 3

Proyectos realizados en el periodo enero 2023 a enero 2024

En la Tabla A3. 1 se presentan todos los proyectos realizados por la empresa en estudio en el periodo de enero 2023 a enero de 2024.

Tabla A3. 1 Proyectos realizados por la empresa en estudio de enero 2023 a enero 2024 (Fuente: elaboración propia).

Orden de fabricación	Proyecto
2023-001	Suministro <i>skydging system</i>
2023-002	Suministro nave almacén de residuos
2023-003	Suministro protección de cabina
2023-004	Suministro casetas de servicios
2023-005	Suministro para 2 <i>claws</i> y 174 <i>pins</i>
2023-006	Suministro para 2 estructuras <i>PONY</i>
2023-007	Suministro cobertizo coples-1
2022-008	Suministro para estructura racks, <i>MUD PUMB</i>
2022-009	Suministro estructura <i>MAST STAND FIXED</i>
2022-010	Suministro para estructura racks, mud pump skyd, mud pump bridge, block stand
2022-011	Suministro estructura mast stand fixed
2023-012	Suministro estructura bop clamp
2022-013	Suministro estructura lateral adjustment frame, cylinder support
2022-014	Suministro estructura 7/24 San Román
2023-015	Suministro estructura 7/24 Santa Clara
2022-016	Suministro estructura transport frame hoist
2022-017	Suministro para pins
2023-018	Suministro estructura línea desengrase
2022-019	Suministro estructura almacén raw material
2022-020	Suministro estructura para puntales
2023-021	Suministro estructura parador de autobús a y b
2022-022	Estructura biomasa ii
2022-023	Estructura wet
2023-024	Suministro estructura louver's
2022-025	Suministro estructura campana bórax
2022-026	Suministro estructura skidding system & pines
2023-027	Suministro estructura 12 casetas
2022-028	Suministro estructura stand mast fixed.
2022-029	Suministro estructura pipe racks 28'
2023-030	Suministro estructura assembly, block stand
2022-031	Suministro estructura pin package
2022-032	Suministro estructura pony structure & pines
2024-001	Suministro trabes balanza

Anexo 4

Tablas de la planificación semanal de la “fabricación de tambor mezclador” con la metodología *System Last Planner*

En las tablas Tabla A4. 1 a Tabla A4. 9 se muestran las planificaciones de las semanas 3 a la 11 para el proyecto “**fabricación de tambor mezclador**”, en la aplicación del *System Last Planner* elaborados durante las reuniones semanales para el proyecto en cuestión mostrado en la Sección 3.11.1.4.

Tabla A4. 1 Planificación Semana 3 (Fuente: elaboración propia).

Semana 3								Agosto							Fecha de reunion: 17- Ag.	
Fecha: 19-24 Ag.								L	M	M	J	V	S	Cumple		
Hito	I.D.	Actividad	Subactividad	Fecha inicio planeada	Fue liberada	Fecha de liberación	Responsable	19-Ag	20-Ag	21-Ag	22-Ag	23-Ag	24-Ag	Si	No	Causas de no cumplimiento
Fabricación pieza 1	4	Conformación														
	4.2		Soldadura	19-ago	si	21-ago									X	Atraso en actividad de conformación
	5	Pista														
	5.1		P. de soldadura pista	21-ago	si	25-ago								X		
Fabricación pieza 2	12	Habilitado														
	12.2		Doblado	19-ago	si	21-ago									X	Falta de material, máquina ocupada
	13	Conformación														
	13.1		Unión	21-ago	si	23-ago								X		
	13.2		soldadura	24-ago	si	25-ago								X		

Resumen	
# de actividades planificadas	5
# de actividades terminadas	3
# de actividades NO terminadas	2

PPC	60.0%
-----	-------

Tabla A4. 2 Planificación Semana 4 (Fuente: elaboración propia).

Semana 4								Agosto							Fecha de reunion: 24- Ag.	
Fecha: 26-31 Ag.								L	M	M	J	V	S	Cumple		
Hito	I.D.	Actividad	Subactividad	Fecha inicio planeada	Fue liberada	Fecha de liberación	Responsa ble	26-Ag	27-Ag.	28-Ag.	29-Ag.	30-Ag.	31-Ag.	Si	No	Causas de no cumplimiento
Fabricación pieza 1	5	Pista														
	5.1		P. de soldadura	26-ago	si	27-ago									X	Trabajador no disponible
	6	Cabezal														
	6.1		P. de soldadura	27-ago	si	30-ago									X	Pieza atrasada
	6.2		Soldadura sin pista	29-ago	si	31-ago								X		
Fabricación pieza 2	13	Conformación														
	13.2		Soldadura	26-ago	si	28-ago									X	Modificaciones en la estructura
	14	Pista														
	14.1		P. de soldadura	28-ago	si	31-ago								X		

Resumen	
# de actividades planificadas	5
# de actividades terminadas	2
# de actividades NO terminadas	3

PPC	40.0%
-----	-------

Tabla A4. 3 Planificación Semana 5 (Fuente: elaboración propia).

Semana 5								Septiembre							Fecha de reunion: 31-Ag.	
Fecha: 02-07 Set.								L	M	M	J	V	S	Cumple		
Hito	I.D.	Actividad	Subactividad	Fecha inicio planeada	Fue liberada	Fecha de liberación	Responsa ble	02- Set.	03- Set.	04- Set.	05- Set.	06- Set.	07- Set.			
Fabricación pieza 1	7	Entrada hombre												Si	No	
	7.1		Barrenado	02-sep	si	04-sep									X	Trabajador no disponible
	7.2		Machueleado	04-sep	si	05-sep								X		
	8	Serpentin														
	8.1		Colocar c/p. de soldadura	06-sep	si	07-sep								X		
Fabricación pieza 2	14	Pista														
	14.1		Colocar c/p. de soldadura	02-sep	si	02-sep								X		
	15	Cabezal														
	15.1		P. de soldadura	03-sep	si	06-sep								X		Pieza atrasada
	15.2		Soldadura sin pista	06-sep	si	07-sep								X		
Aprobación de fabricación (2 piezas)	20			03-sep	si	03-sep								x		
Fabricación pieza 3	22	Habilitado														
	22.1		Corte	04-sep	si	06-sep								X		
	22.2		Doblado	06-sep	si	07-sep								X		

Resumen	
# de actividades planificadas	9
# de actividades terminadas	7
# de actividades NO terminadas	2

PPC	77.8%
-----	-------

Tabla A4. 4 Planificación Semana 6 (Fuente: elaboración propia).

Semana 6								Septiembre							Fecha de reunión: 07-Set.
Fecha: 09-14 Set.								L	M	M	J	V	S	Cumple	
Hito	I.D.	Actividad	Subactividad	Fecha inicio planeada	Fue liberada	Fecha de liberación	Responsable	09-Set.	10-Set.	11-Set.	12-Set.	13-Set.	14-Set.		Causas de no cumplimiento
Fabricación pieza 1	8	Serpentin												Si No	
	8.1		Colocar c/p. de soldadura	09-sep	si	09-sep								X	
	8.2		Soldadura	09-sep	si	12-sep								X	Adición de pieza extra
	9	Montaje en camión													
	9.1		Montaje	12-sep	si	14-sep								X	No disponibilidad de trabajadores
	9.2		Soldadura de pista	14-sep	si	14-sep								X	
Fabricación pieza 2	15	Cabezal													
	15.2		Soldadura Sin pista	09-sep	si	09-sep								X	
	16	Entrada hombre													
	16.1		Barrenado	10-sep	si	11-sep								X	
	16.2		Machueleado	12-sep	si	13-sep								X	
	17	Serpentin													
Fabricación pieza 3	17.1		Colocar c/p. de soldadura	14-sep	si	14-sep								X	
	22	Habilitado													
	22.2		Doblado	09-sep	si	11-sep								X	Atraso por máquina descompuesta
	23	Conformación													
	23.1		Unión	10-sep	si	13-sep								X	Atraso en máquina anterior, falta de piezas
	23.2		Soldadura	13-sep	si	14-sep								X	

Resumen	
# de actividades planificadas	11
# de actividades terminadas	7
# de actividades NO terminadas	4
PPC	63.64%

Tabla A4. 5 Planificación Semana 7 (Fuente: elaboración propia).

Semana 7								Septiembre							Fecha de reunión: 14-Set.
Fecha: 16-21 Set.								L	M	M	J	V	S	Cumple	
Hito	I.D.	Actividad	Subactividad	Fecha inicio planeada	Fue liberada	Fecha de liberación	Responsable	16-Set.	17-Set.	18-Set.	19-Set.	20-Set.	21-Set.		Causas de no cumplimiento
Fabricación pieza 1	9	Montaje en camión												Si No	
	9.2		Soldadura de pista	16-sep	Si	19-sep								X	Corrección de posicionamiento de pista
	10	Entrega pieza 1		18-sep	18-sep									X	
Fabricación pieza 2	17	Serpentin													
	17.1		Colocar c/p. de soldadura	16-sep	Si	19-sep								X	Falta de piezas al ser material recuperado
	17.2		Soldadura	18-sep	Si	20-sep								X	
	18	Montaje en camión													
Fabricación pieza 3	18.1		Montaje	21-sep	Si	21-sep								X	
	23	Conformación													
	23.2		Soldadura	16-sep	Si	16-sep								X	
	24	Pista													
	24.1		Colocar c/p. de soldadura	16-sep	Si	21-sep								X	Modificación de medidas
	25	Cabezal													
	25.1		P. de soldadura	21-sep	Si	21-sep								X	

Resumen	
# de actividades planificadas	8
# de actividades terminadas	4
# de actividades NO terminadas	4
PPC	50.00%

Tabla A4. 6 Planificación Semana 8 (Fuente: elaboración propia).

Semana 8								Septiembre							Cumple		Fecha de reunion: 21-Set.
Fecha: 23-28 Set.								L	M	M	J	V	S				
Hito	I.D.	Actividad	Subactividad	Fecha inicio planeada	Fue liberada	Fecha de liberación	Responsa ble	23- Set.	24- Set.	25- Set.	26- Set.	27- Set.	28- Set.	Si	No	Causas de no cumplimiento	
Fabricación pieza 2	18	Montaje en camión															
	18.1		Montaje en camión	23-sep	Si	26-sep									X	Falta de trabajadores, atraso en verificación de estructura para montaje	
	18.2		Soldadura de pista	24-sep	Si	27-sep									X	Atraso en actividad anterior	
	19	Entrega pieza 2		26-sep	26-sep										X		
Fabricación pieza 3	21	Cabezal															
	21.1		P. de soldadura	23-sep	Si	25-sep									X		
	21.2		Soldadura sin pista	26-sep	Si	27-sep									X		
	22	Entrada hombre															
	22.1		Barrenado	28-sep	Si	28-sep									X		

Resumen	
# de actividades planificadas	6
# de actividades terminadas	3
# de actividades NO terminadas	3

PPC	50.0%
-----	-------

Tabla A4. 7 Planificación Semana 9 (Fuente: elaboración propia).

Semana 9								Octubre							Cumple		Fecha de reunion: 28-Oct.
Fecha: 30 Set. - 05 Oct.								L	M	M	J	V	S				
Hito	I.D.	Actividad	Subactividad	Fecha inicio planeada	Fue liberada	Fecha de liberación	Responsa ble	30- Set.	01-Oct.	02-Oct.	03-Oct.	04-Oct.	05-Oct.			Causas de no cumplimiento	
Fabricación pieza 3	26	Entrada hombre												Si	No		
	26.1		Barrenado	30-sep	Si	01-oct								X			
	26.2		Machueleado	01-oct	Si	02-oct									X		
	27	Serpentin															
	27.1		Colocar c/p. de soldadura	03-oct	Si	05-oct								X			

Resumen	
# de actividades planificadas	3
# de actividades terminadas	2
# de actividades NO terminadas	1

PPC	66.67%
-----	--------

Tabla A4. 8 Planificación Semana 10 (Fuente: elaboración propia).

Semana 10								Octubre							Fecha de reunion: 05-Oct.	
Fecha: 07-12 Oct.								L	M	M	J	V	S			
Hito	I.D.	Actividad	Subactividad	Fecha inicio planeada	Fue liberada	Fecha de liberación	Responsable	07-Oct.	08-Oct.	09-Oct.	10-Oct.	11-Oct.	12-Oct.	Cumple	Si	No
Fabricación pieza 3	27	Serpentin														
	27.1		Colocar c/p. de soldadura	07-oct	Si	08-oct									X	
	27.2		Soldadura	07-oct	Si	10-oct								X		
	28	Montaje en camión														
	28.1		Montaje	11-oct	Si	12-oct								X		
	28.2		Soldadura de pista	12-oct	Si	12-oct								X		

Resumen	
# de actividades planificadas	4
# de actividades terminadas	3
# de actividades NO terminadas	1

PPC	75.00%
-----	--------

Tabla A4. 9 Planificación Semana 11 (Fuente: elaboración propia).

Semana 11								Octubre							Fecha de reunion: 12-Oct.	
Fecha: 14-19 Oct.								L	M	M	J	V	S			
Hito	I.D.	Actividad	Subactividad	Fecha inicio planeada	Fue liberada	Fecha de liberación	Responsable	14-Oct.	15-Oct.	16-Oct.	17-Oct.	18-Oct.	19-Oct.	Cumple	Si	No
Fabricación pieza 3	28	Montaje en camión														
	28.2		Soldadura de pista	14-oct	Si									x		
	29	Entrega pieza 3		14-oct	No									X		

Resumen	
# de actividades planificadas	2
# de actividades terminadas	1
# de actividades NO terminadas	1

PPC	50.00%
-----	--------

Anexo 5

Resultados de base de datos

En las tablas Tabla A5. 1 a la Tabla A5. 5 se muestran los resultados generados a partir de un archivo de base de datos, en forma de tablas y gráficos dinámicos, obtenidos al filtrar la información. La elaboración de este archivo, descrito en la Sección 3.11.2.2, se realizó conforme a las indicaciones del jefe del taller de estructuras.

Tabla A5. 1 Resultados de la base de datos de producción (Fuente: elaboración propia).

Producción			
ESTACION	All		
Etiquetas de fila	Kg Tekla "proyecto"	Kg "Fabricados"	% ProdsProy
2021-009	49009.0754	147027.2262	300.00%
2021-010	288932.2861	853264.8027	297.39%
2021-011	238499.06	554054.58	232.31%
2022-001	235752	40800.6	17.31%
2022-002	5516.678136	15674.93441	284.14%
2022-003	5308	15324	300.00%
2022-004	104968.8	92694.6	88.31%
2022-005	6837.6	13675.2	200.00%
2022-006	117667.2	352281.6	299.39%
2022-007	28737.87	10418.4	36.25%
2022-008	43224.5	130156.1	301.12%
2022-009	19331.8	57963.4	299.83%
2022-010	4001.4	9336.6	233.33%
2022-011	4103.6	8207.2	200.00%
2022-012	2932.6	1032.3	35.20%
2022-013	6218.811	28510.8	458.46%
2022-014	2284.4	6853.2	300.00%
2022-015	4027.76	8055.52	200.00%
2022-016	79546.08	363971.18	457.56%
2022-017	54682.412	149743.4	273.84%
2022-019	4496.8	6240	138.77%
2022-020	3350.552	8348.404	249.17%
2022-021	13922.41	53024.61	380.86%
2022-022	19797.9	42221.1	213.26%
2022-024	318148	293575.3	92.28%
2022-025	139958	122667.16	87.65%
2022-026	30290.4	19498.5	64.37%
2022-027	48039.6	23020.2	47.92%
2022-028	27248	22453.2	82.40%
2022-030	235878.8	111433.2	47.24%
2022-031	2917.3	8751.9	300.00%
2022-032	5723.88	17086.04	298.50%
2023-001	28042.59701	41701.2	148.71%
2023-002	6256.4	8939.4	142.88%
(en blanco)	818162.2011	8909.868	1.09%
Total general	3003814.773	3653515.725	121.63%

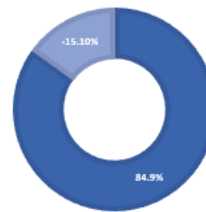


Tabla A5. 2 Resultados de la base de datos del costo por fabricación (Fuente: elaboración propia).

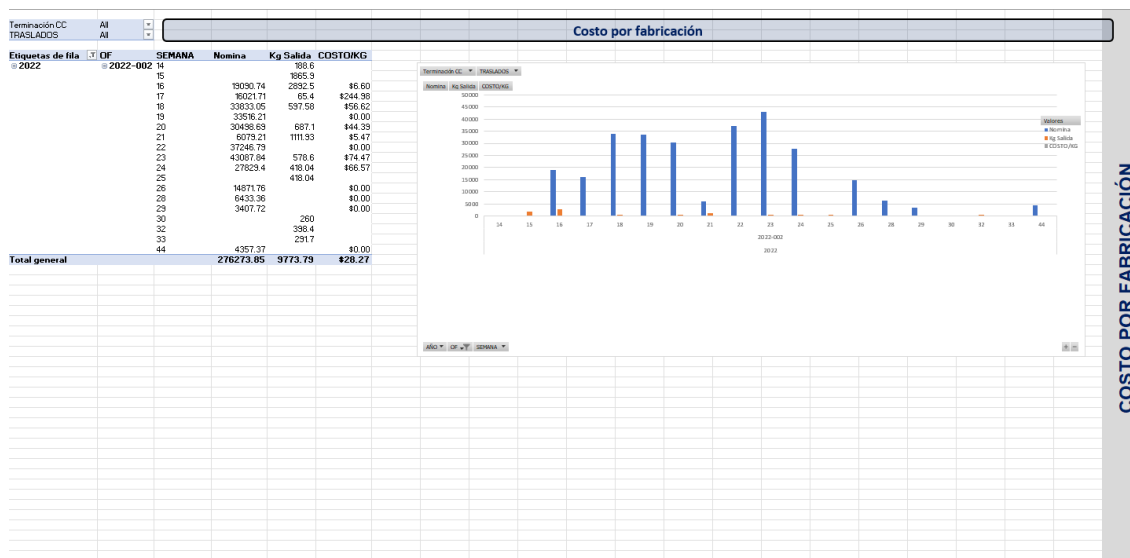


Tabla A5. 3 Resultados de la base de datos del costo por aplicación de pintura (Fuente: elaboración propia).

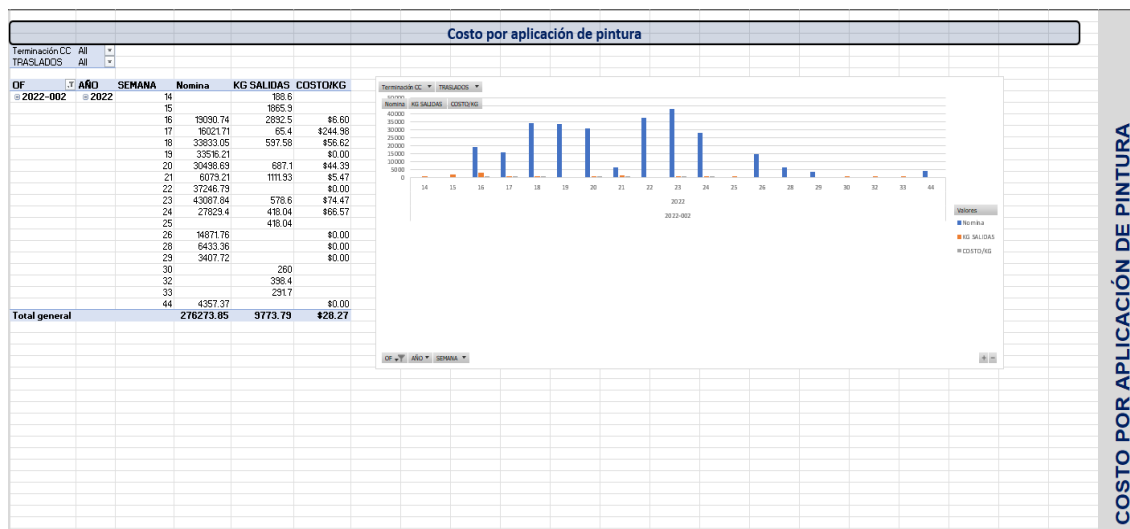


Tabla A5. 4 Resultados de la base de datos del costo por fabricación y pintura OF
(Fuente: elaboración propia).

Costo por fabricación y pintura por OF			
Terminación CC	All		
TRASLADOS	All		
Etiquetas de fila	Nomina	KG SALIDAS	COSTO/KG
2021-009		94639.72	
2021-010		566376.89	
2021-011	10493469.34	680260.99	\$15.43
2022-001	2713377.74	470137.2	\$5.77
2022-002	276273.85	9773.79	\$28.27
2022-003	168749.13	10616	\$15.90
2022-004	3078922.78	206779.3	\$14.89
2022-005	303303.33	11336.8	\$26.75
2022-006	1802507.63	177294.2	\$10.17
2022-007	1037947.66	57980.74	\$17.90
2022-008	979755.57	92292.4	\$10.62
2022-009	79407.02	32209	\$2.47
2022-010	241593.06	5335.2	\$45.28
2022-011	109888.89	4103.6	\$26.78
2022-012	41630.43	2932.6	\$14.20
2022-013	29012.72	9872.48	\$2.94
2022-014	10636.73	3426.6	\$3.10
2022-015		2679.04	
2022-016	2920656.6	188409.86	\$15.50
2022-017	988569.87	114689.1	\$8.62
2022-019	82849.43	10088.4	\$8.21
2022-020	124317.2	7844.9	\$15.85
2022-021	2346894.51	28102.92	\$83.51
2022-022	865499.05	25577.4	\$33.84
2022-024	1111346.18	519338.4	\$2.14
2022-025	1099419.81	139958	\$7.86
2022-026	111746.1	51709.4	\$2.16
2022-027	125588.63	64127.4	\$1.96
2022-028	109999.52	37988.6	\$2.90
2022-030	1144864.97	242589.2	\$4.72
2022-031	112969.18	35992.23	\$3.14
2022-032	577232.58	75434.6	\$7.65
2023-001	178310.49	306350.26	\$0.58
2023-002		22888.1	
2023-003	47073.85	97600	\$0.48
2023-004		4849.52	
2023-005		9395.52	

Tabla A5. 5 Resultados de la base de datos del costo por fabricación taller global (Fuente: elaboración propia).

Costo por fabricación Taller global															
Item	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	
SEMANA	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	
Nombre	OF	ID CLIENTE	UBICACIÓN	SEMANA	Medidas	Nomina	KG SALIDAS	COSTO KG	% Producción	% Producción	Suma de SEMANA	Suma de AÑO	Total Nomina	Total KG SALIDAS	Total COSTO KG
ANGELMAN Y CONSTRUCCIONES, S.A. DE C.V.	2023-018	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-018	433062.10	31330.8	80.00				438	28383	433062.10	31330.8	80.00
ARRENDADORA CONSTRUCTO S.A. DE C.V.	2023-023	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-023	20319	7699.23	80.00				185	24319	20319	7699.23	80.00
CADILLAC RUBBER & PLASTICS DE MEXICO, S.A. DE C.V.	2023-012	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-012	490.30	2932.6	80.00	0.03%	35.20%		537	30330	490.30	2932.6	80.00
DESARROLLADORA BELLINO SA DE CV	2023-012	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-012	2902.72	8672.40	82.34	0.77%	458.46%		627	28383	2902.72	8672.40	82.34
DESARROLLADORA PRODIGIA, S.A. DE C.V.	2023-021	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-021	8797879.05	1900.06	80.00				43427	538737	8797879.05	1900.06	80.00
DESARROLLO INMOBILIARIO PORTUARIOS, SA DE CV	2023-001	0102	Veracruz, Veracruz, México	2023-001	400894	271377.74	85.77	1.91%	17.31%		22336	2529430	400894	271377.74	85.77
DRILLTEC INC	2023-004	0102	Veracruz, Veracruz, México	2023-004	303003.33	17294.2	80.00	0.37%	200.00%		26887	877841	303003.33	17294.2	80.00
	2023-008	0102	Veracruz, Veracruz, México	2023-008	1002507.63	17294.2	80.00	0.37%	200.00%		9508	538737	1002507.63	17294.2	80.00
	2023-009	0102	Veracruz, Veracruz, México	2023-009	79407.02	32209	82.47	1.56%	239.83%		685	32262	79407.02	32209	82.47
	2023-011	0102	Veracruz, Veracruz, México	2023-011	24930.06	5326.2	80.00	0.25%	233.33%		2799	133462	24930.06	5326.2	80.00
	2023-014	0102	Veracruz, Veracruz, México	2023-014	90888.89	4303.6	82.34	0.22%	300.00%		1466	68726	90888.89	4303.6	82.34
	2023-015	0102	Veracruz, Veracruz, México	2023-015	3058.73	3426.5	82.34	0.86%	300.00%		76	4044	3058.73	3426.5	82.34
	2023-024	0102	Veracruz, Veracruz, México	2023-024	111046.16	2679.04	82.34	0.22%	300.00%		4021	853303	111046.16	2679.04	82.34
	2023-025	0102	Veracruz, Veracruz, México	2023-025	103943.01	133568	87.86	3.29%	87.85%		5853	627038	103943.01	133568	87.86
	2023-027	0102	Veracruz, Veracruz, México	2023-027	11746.1	57004.4	82.34	0.82%	84.37%		703	37794	11746.1	57004.4	82.34
	2023-028	0102	Veracruz, Veracruz, México	2023-028	135888.63	64127.4	81.96	0.62%	47.32%		232	98389	135888.63	64127.4	81.96
	2023-030	0102	Veracruz, Veracruz, México	2023-030	90888.89	27986.6	82.34	0.60%	82.40%		201	88912	90888.89	27986.6	82.34
	2023-030	0102	Veracruz, Veracruz, México	2023-030	114464.97	24259.2	84.72	2.98%	47.24%		6306	702900	114464.97	24259.2	84.72
	2023-031	0102	Veracruz, Veracruz, México	2023-031	12395.23	83.34	80.00				267	88303	12395.23	83.34	80.00
	2023-033	0102	Veracruz, Veracruz, México	2023-033	47073.85	37000	80.48	0.23%	300.00%		184	30345	47073.85	37000	80.48
	2023-037	0102	Veracruz, Veracruz, México	2023-037	127394.44	127394.44	80.00				127394.44	127394.44	127394.44	127394.44	80.00
	2023-038	0102	Veracruz, Veracruz, México	2023-038	20398.5	20398.5	80.00				20398.5	20398.5	20398.5	20398.5	80.00
	2023-041	0102	Veracruz, Veracruz, México	2023-041	17800.4	17800.4	80.00				17800.4	17800.4	17800.4	17800.4	80.00
	2023-042	0102	Veracruz, Veracruz, México	2023-042	39024.39	39024.39	80.00				39024.39	39024.39	39024.39	39024.39	80.00
	2023-043	0102	Veracruz, Veracruz, México	2023-043	1800.74	1800.74	80.00				1800.74	1800.74	1800.74	1800.74	80.00
	2023-044	0102	Veracruz, Veracruz, México	2023-044	1777.69	1777.69	80.00				1777.69	1777.69	1777.69	1777.69	80.00
EISENMANN CORPORATION USA	2023-019	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-019	3530636.4	303.5	80.00				18870	193350	3530636.4	303.5	80.00
FERMENTACIONES MEXICANAS, S.A. DE C.V.	2023-019	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-019	6712329.01	243404.34	834.34				56801	453321	6712329.01	243404.34	834.34
FLOUNDER, S. DE R.L. DE C.V.	2023-001	0102	Tlaxcala, Tlaxcala, México	2023-001	60332.78	60332.78	80.00				4889	53886	60332.78	60332.78	80.00
FUSIAN SURVEY, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Coahuila, Veracruz, México	2023-001	178376.45	306350.26	80.58	1.12%	148.71%		327	107219	178376.45	306350.26	80.58
	2023-001	0102	Coahuila, Veracruz, México	2023-001	4676655.58	7863.28	80.00				33388	238621	4676655.58	7863.28	80.00
	2023-025	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-025	148664.73	148664.73	80.00				2079	12540	148664.73	148664.73	80.00
GALAXY INMOBILIARIA, S.A. DE C.V.	2023-025	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-025	534464.73	534464.73	836.05				4280	238621	534464.73	534464.73	836.05
GRUPO TRANSPORTES MANOBRA Y SERVICIOS SA DE CV	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	1415441.5	25	873.887	66%			14721	1339882	1415441.5	25	873.887
GRUPO MANOBRA, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	1430940.88	1430940.88	80.00				68206	723943	1430940.88	1430940.88	80.00
INDUSTRIA PATRONA, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	354362.42	354362.42	80.00				1863	103480	354362.42	354362.42	80.00
INGENIERIA DE EMPRESAS Y CONTADORES, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	60337.16	60337.16	80.00				49	24276	60337.16	60337.16	80.00
INGENIERIA ADOLF LOPEZ MATOS, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	60337.16	60337.16	80.00				123	62009	60337.16	60337.16	80.00
INGENIERIA DE EMPRESAS Y CONTADORES, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	37105.53	37105.53	80.00				1788	34959	37105.53	37105.53	80.00
INGENIERIA DE EMPRESAS Y CONTADORES, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	48502.23	48502.23	80.00				487	34940	48502.23	48502.23	80.00
INGENIERIA DE EMPRESAS Y CONTADORES, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	906653.87	146893.1	80.62	4.02%	273.84%		1032	562388	906653.87	146893.1	80.62
INGENIERIA DE EMPRESAS Y CONTADORES, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	2425.6	2425.6	80.00						2425.6	2425.6	80.00
INGENIERIA DE EMPRESAS Y CONTADORES, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	54648.39	54648.39	80.00				10794	657117	54648.39	54648.39	80.00
INGENIERIA DE EMPRESAS Y CONTADORES, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	88491.77	88491.77	80.00						88491.77	88491.77	80.00
INGENIERIA DE EMPRESAS Y CONTADORES, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	88491.77	88491.77	80.00						88491.77	88491.77	80.00
INGENIERIA DE EMPRESAS Y CONTADORES, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	88491.77	88491.77	80.00						88491.77	88491.77	80.00
INGENIERIA DE EMPRESAS Y CONTADORES, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	88491.77	88491.77	80.00						88491.77	88491.77	80.00
INGENIERIA DE EMPRESAS Y CONTADORES, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	88491.77	88491.77	80.00						88491.77	88491.77	80.00
INGENIERIA DE EMPRESAS Y CONTADORES, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	88491.77	88491.77	80.00						88491.77	88491.77	80.00
INGENIERIA DE EMPRESAS Y CONTADORES, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	88491.77	88491.77	80.00						88491.77	88491.77	80.00
INGENIERIA DE EMPRESAS Y CONTADORES, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	88491.77	88491.77	80.00						88491.77	88491.77	80.00
INGENIERIA DE EMPRESAS Y CONTADORES, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	88491.77	88491.77	80.00						88491.77	88491.77	80.00
INGENIERIA DE EMPRESAS Y CONTADORES, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	88491.77	88491.77	80.00						88491.77	88491.77	80.00
INGENIERIA DE EMPRESAS Y CONTADORES, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	88491.77	88491.77	80.00						88491.77	88491.77	80.00
INGENIERIA DE EMPRESAS Y CONTADORES, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	88491.77	88491.77	80.00						88491.77	88491.77	80.00
INGENIERIA DE EMPRESAS Y CONTADORES, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	88491.77	88491.77	80.00						88491.77	88491.77	80.00
INGENIERIA DE EMPRESAS Y CONTADORES, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	88491.77	88491.77	80.00						88491.77	88491.77	80.00
INGENIERIA DE EMPRESAS Y CONTADORES, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	88491.77	88491.77	80.00						88491.77	88491.77	80.00
INGENIERIA DE EMPRESAS Y CONTADORES, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	88491.77	88491.77	80.00						88491.77	88491.77	80.00
INGENIERIA DE EMPRESAS Y CONTADORES, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	88491.77	88491.77	80.00						88491.77	88491.77	80.00
INGENIERIA DE EMPRESAS Y CONTADORES, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	88491.77	88491.77	80.00						88491.77	88491.77	80.00
INGENIERIA DE EMPRESAS Y CONTADORES, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	88491.77	88491.77	80.00						88491.77	88491.77	80.00
INGENIERIA DE EMPRESAS Y CONTADORES, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	88491.77	88491.77	80.00						88491.77	88491.77	80.00
INGENIERIA DE EMPRESAS Y CONTADORES, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	88491.77	88491.77	80.00						88491.77	88491.77	80.00
INGENIERIA DE EMPRESAS Y CONTADORES, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	88491.77	88491.77	80.00						88491.77	88491.77	80.00
INGENIERIA DE EMPRESAS Y CONTADORES, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	88491.77	88491.77	80.00						88491.77	88491.77	80.00
INGENIERIA DE EMPRESAS Y CONTADORES, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	88491.77	88491.77	80.00						88491.77	88491.77	80.00
INGENIERIA DE EMPRESAS Y CONTADORES, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	88491.77	88491.77	80.00						88491.77	88491.77	80.00
INGENIERIA DE EMPRESAS Y CONTADORES, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	88491.77	88491.77	80.00						88491.77	88491.77	80.00
INGENIERIA DE EMPRESAS Y CONTADORES, S.A. DE C.V.	2023-001	0102	Oaxaca, Veracruz, México	2023-001	88491.77	88491.77	80.00						8849		