



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Análisis de la situación actual, propuestas de mejora e
implementación en los procesos de producción de
calderería y pintura de la empresa Stadler Rail Valencia

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Industrial

AUTOR/A: Arbona Rodríguez, Paula

Tutor/a: Maheut, Julien Philippe Dominique

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quería dar las gracias a la empresa Stadler Rail Valencia por darme la oportunidad de empezar con el mundo laboral, y en particular a mi departamento de planificación industrial, a todos mis compañeros, por abrirme los brazos y siempre acompañarme cuando lo necesitaba. A todos los integrantes de la empresa por el ambiente que generan y por siempre valorarme como persona e ingeniera.

También quiero agradecer a mi familia, especialmente a mis padres, por ser el ejemplo a seguir y por apoyarme en todas las decisiones de mi vida, y por ayudarme siempre que lo he necesitado.

A mis amigos, por acompañarme estos seis duros años de carrera, por acompañarnos mutuamente y permitir que ninguno se quedase por el camino, y a mis amigas de siempre, por juntarnos cada viernes y hacer de los problemas algo insignificante.

También agradecer a la universidad politécnica, a la ETSII, a todos los profesores que les gusta enseñar y transmitir toda su sabiduría. En especial a mi tutor, Julien, por ayudarme a mejorar y hacer este proyecto mucho más llevadero.

Por último, a mi pareja, por hacer este camino mucho más fácil y levantarme y confiar en mi cuando ni yo misma lo hacía.

RESUMEN

El presente trabajo de final de Máster se desarrolla en la empresa Stadler Rail, una empresa líder en el sector ferroviario que ha experimentado un notable crecimiento en los últimos años. El documento se concentra específicamente en los dos primeros procesos de producción, calderería, donde se fabrica la estructura en blanco y pintura.

En el primer capítulo abordará una descripción detallada de la empresa, que incluirá su historia y estructura organizativa para proporcionar un contexto completo. A continuación, se realizará un análisis de la situación actual de ambos procesos productivos, con el objetivo de identificar las deficiencias y puntos débiles de cada sección. Para garantizar una comprensión total de los conceptos empleados a lo largo del documento, se dedicará un capítulo específico a la exposición detallada de los fundamentos teóricos relevantes.

Los capítulos siguientes se centrarán en las propuestas de mejora, las cuales comprenderán tanto la implementación concreta de las soluciones como un análisis comparativo con la situación actual.

Palabras clave

Distribución en planta; Mejora continua; Ítem codificados; Mejora de métodos.

RESUM

El present treball de final de màster es desenvolupa en l'empresa Stadler Rail, una empresa líder en el sector ferroviari que ha experimentat un notable creixement en els últims anys. El document es concentra específicament en els dos primers processos de producció, caldereria, on es fabrica l'estructura en blanc i pintura.

En el primer capítol abordarà una descripció detallada de l'empresa, que inclourà la seua història i estructura organitzativa per a proporcionar un context complet. A continuació, es realitzarà una anàlisi de la situació actual de tots dos processos productius, amb l'objectiu d'identificar les deficiències i punts febles de cada secció. Per a garantir una compressió total dels conceptes emprats al llarg del document, es dedicarà un capítol específic a l'exposició detallada dels fonaments teòrics rellevants.

Els capítols següents se centraran en les propostes de millora, les quals comprendran tant la implementació concreta de les solucions com una anàlisi comparativa amb la situació actual.

Paraules clau

Distribució en planta; Millora contínua; Ítem codificats; Millora de mètodes.

SUMMARY

This Máster's thesis is carried out at Stadler Rail, a leading company in the railway sector that has experienced significant growth in recent years. The paper concentrates specifically on the first two production processes, welding, where the blank structure is manufactured, and painting.

The first chapter will provide a detailed description of the company, including its history and organisational structure to provide a complete context. This will be followed by an analysis of the current situation of both production processes, with the aim of identifying the deficiencies and weaknesses of each section. In order to ensure a full understanding of the concepts used throughout the document, a specific chapter will be devoted to a detailed exposition of the relevant theoretical foundations.

The following chapters will focus on the improvement proposals, which will comprise both the concrete implementation of the solutions and a comparative analysis with the current situation.

Keywords

layout; Continuous improvement; Coded items; Method improvement.

ÍNDICE DEL PROYECTO

MEMORIA

PRESUPUESTO

ANEXOS

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objeto del proyecto	1
1.2 Justificación	1
1.3 Estructura del documento	2
2. DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO DEL TFM	3
2.1 Introducción	3
2.2 Introducción a la empresa	3
2.3 Productos y servicios de la empresa	11
2.4 Clientes y proveedores	14
2.5 Organización interna	16
2.6 Contexto del estudio, el objeto y los objetivos	17
2.7 Conclusiones.....	17
3. MARCO TEÓRICO	19
3.1 Introducción	19
3.2 Lean Manufacturing	19
3.3 Value Stream Mapping.....	20
3.4 Herramientas.....	21
3.5 Conclusiones.....	25
4. ANÁLISIS DETALLADO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	26
4.1 Introducción	26
4.2 Descripción detalla de los talleres.....	26
4.3 Proceso de fabricación (BPMn 2.0)	29
4.4 Layout	32
4.5. Representación actual del taller VSM	34
4.6. Conclusiones.....	47
5. SITUACIÓN DESEADA Y PLANTEAMIENTO DE OPORTUNIDADES	48
5.5. Introducción	48
5.6. Situación deseada. Elaboración del Value Stream Mapping TO-BE	48
5.7. Descripción de las oportunidades de mejora.....	50
5.8. Posibles oportunidades de mejora.....	52
5.9. Agrupación y selección de medidas a implantar	63

5.10.	Conclusiones	70
6.	DISEÑO DETALLADO E IMPLEMENTACION DE LA PRIMERA MEJORA: MEJORA DEL ALMACÉN INTERMEDIO	71
6.5.	Introducción	71
6.6.	Almacén en situación actual	71
6.7.	Acción de mejora parte 1: Apilamiento de los bogies	76
6.8.	Acción de mejora parte 2: cambio de layout del almacén	78
6.9.	Conclusiones.....	88
7.	DISEÑO DETALLADO E IMPLEMENTACION DE LA SEGUNDA ACCIÓN DE MEJORA: ASOCIADA A CONTROL AUTOMÁTICA DE LAS CAJAS.....	89
7.1	Introducción	89
7.2	Breve descripción Acción de Mejora 2: nuevo sistema de control y ubicación automática de las cajas	89
7.3	Definición de requisitos del sistema.....	90
7.4	Investigación y análisis de tecnologías disponibles	91
7.5	Evaluación de Alternativas Tecnológicas	93
7.6	Definición de los recursos asignados a las tareas.....	100
7.7	Temporización	101
7.8	Conclusiones.....	102
8.	CONCLUSIONES.....	103
8.1	Conclusiones de la memoria.....	103
8.2	Lecciones aprendidas	104
8.3	Futuras líneas de trabajo	104
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Naves de acabados de MACOSA. Fuente: Stadler Rail	5
Ilustración 2: Imagen actual de Stadler Valencia. Fuente: Stadler Rail	6
Ilustración 3: Ubicación de Stadler Rail Valencia. Fuente: Google Earth.	6
Ilustración 4: Ubicación de Stadler Rail Valencia. Fuente: Google Earth	7
Ilustración 5: Distribución en planta de Stadler Rail. Fuente: elaboración propia.....	8
Ilustración 6: Vehículo de larga distancia. Fuente: Documentación interna.	12
Ilustración 7: Vehículo de media distancia. Fuente: Documentación interna.....	13
Ilustración 8: Vehículos urbanos. Fuente: Documentación interna.	13
Ilustración 9: Locomotora EURODUAL. Fuente: Stadler Rail	14
Ilustración 10: Caja ensamblada en blanco. Fuente: Elaboración propia.	27
Ilustración 11: : Distribución en planta de las naves de pintura. Fuente: Stadler Rail Valencia..	33
Ilustración 12: VSM TO-BE. Fuente: Elaboración propia.	49
Ilustración 13: Perfil HEB. Fuente: Elaboración propia.....	81
Ilustración 14: Puerta ejemplo. Fuente: Portessoley.....	85
Ilustración 15: Lector fijo. Fuente: Zebra Technologies.....	98
Ilustración 16: Impresora RFID. Fuente: Zebra Technologies	99
Ilustración 17: Ubicación del lector fijo en las vías de pinturas. Fuente: Elaboración propia.....	99
Ilustración 18: Ubicación de lector fijo en el almacén intermedio. Fuente: Elaboración propia.	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Frisa histórica. Fuente: Elaboración propia.	4
Figura 2: Esquema del organigrama de dirección de Stadler Valencia. Fuente: Elaboración propia.	8
Figura 3: Proceso de fabricación. Fuente: Elaboración propia.	10
Figura 4: Evolución de unidades finalizadas en factoría. Fuente: Elaboración propia.	15
Figura 5: Previsión de ventas de los próximos años. Fuente: Elaboración propia.	15
Figura 6: Principales objetos del BPMn 2.0. Fuente: Elaboración propia	22
Figura 7: Herramienta ES/NO ES. Fuente: Resolución sistemática de problemas, UPV.	23
Figura 8: Herramienta diagrama de Ishikawa. Fuente: elaboración propia.	23

Figura 9: Método de los 5 porqués. Fuente: elaboración propia.....	24
Figura 10: BPMn 2.0 de la empresa. Fuente: Elaboración propia.	31
Figura 11: Representación de VSM del proyecto VDV. Fuente: Elaboración propia	35
Figura 12: Diagrama de Ishikawa de la incidencia número 1. Fuente: Elaboración propia.....	38
Figura 13: Diagrama cinco porqués del problema 1. Fuente: Elaboración propia.	39
Figura 14: Diagrama cinco porqués del problema 2. Fuente: Elaboración propia.	41
Figura 15: Diagrama cinco porqués del problema 3. Fuente: Elaboración propia	43
Figura 16: Diagrama cinco porqués del problema 4. Fuente: Elaboración propia	44
Figura 17: Ejemplo de identificación. Fuente: Elaboración propia.....	46
Figura 18: Diagrama cinco porqués del problema 5. Fuente: Elaboración propia.	46
Figura 19: Jerarquía del Método AHP. Fuente: Elaboración propia.....	65
Figura 20: Resultados del Método AHP. Fuente: Elaboración propia.....	70
Figura 21: Plano del almacén Lannutti. Fuente: Elaboración propia.....	72
Figura 22: Plano del almacén Lannutti en situación actual. Fuente: Elaboración propia.	74
Figura 23: Trayectoria camión del almacén Lannutti en situación actual. Fuente: Elaboración propia.	75
Figura 24: Temporización de la primera fase de la primera acción de mejora. Fuente: Elaboración propia	78
Figura 25: Comparación de temporización real de la primera fase de la primera acción de mejora. Fuente: Elaboración propia	78
Figura 26: Plano de la nueva situación de la nave. Fuente: Elaboración propia.	83
Figura 27: Ubicación de la estructura puente grúa. Fuente: Elaboración propia.....	84
Figura 28: Jerarquía del Método AHP de la segunda acción de mejora. Fuente: Elaboración propia.	93
Figura 29: Resultados de las alternativas del método AHP. Fuente: Elaboración propia.	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Modelos de los productos de fabricación de Stadler Rail. Fuente: Documentación interna.....	12
Tabla 2: Plantilla ejemplo de registro de incidencia. Fuente: Elaboración propia.	36
Tabla 3: Registro de incidencia número 1. Fuente: Elaboración propia.	37
Tabla 4: Tabla ES/ NO ES de la incidencia número 1. Fuente: Elaboración propia.....	37
Tabla 5: Registro de incidencia número 2. Fuente: Elaboración propia.	40

Tabla 6: Tabla ES/ NO ES de la incidencia número 2. Fuente: Elaboración propia	40
Tabla 7: Registro de incidencia número 3. Fuente: Elaboración propia.	42
Tabla 8: Tabla ES/ NO ES de la incidencia número 3. Fuente: Elaboración propia	42
Tabla 9: Registro de incidencia número 4. Fuente: Elaboración propia.	44
Tabla 10: Registro de incidencia número 5. Fuente: Elaboración propia.	45
Tabla 11: Oportunidades de mejora asociada a las incidencias. Fuente: Elaboración propia. ...	51
Tabla 12: Detalle de mejora 1 asociada a la dimensión almacén: Redistribución del espacio. Fuente: Elaboración propia.	53
Tabla 13: Detalle de mejora 2 asociada a la dimensión almacén: Ampliar o abrir un nuevo almacén. Fuente: Elaboración propia.....	54
Tabla 14: Detalle de mejora 3 asociada a la dimensión proveedores: Afianzar mejor relación con los proveedores. Fuente: Elaboración propia.	55
Tabla 15: Detalle de mejora 4 asociada a la dimensión Calidad: Control calidad interno. Fuente: Elaboración propia.	56
Tabla 16: Detalle de mejora 5 asociada a la dimensión Sistemas: Implantar un ERP. Fuente: Elaboración propia.	57
Tabla 17: Detalle de mejora 6 asociada a la dimensión Distribución en planta: Nuevo layout del taller de pintura. Fuente: Elaboración propia.	58
Tabla 18: Detalle de mejora 7 asociada a la dimensión Distribución: Plan de mejora de movimiento de cajas. Fuente: Elaboración propia.....	59
Tabla 19: Detalle de mejora 8 asociada a la dimensión Capacitación: Formación mano de obra. Fuente: Elaboración propia	60
Tabla 20: Detalle de mejora 9 asociada a la dimensión Capacitación: Ayudas visuales. Fuente: Elaboración propia	61
Tabla 21: Detalle de mejora 10 asociada a la dimensión Localización: Localización automática de las cajas. Fuente: Elaboración propia	62
Tabla 22: Comparación pareada de criterios. Fuente: Elaboración propia.	66
Tabla 23: Matriz de comparación del criterio coste. Fuente: Elaboración propia.....	66
Tabla 24: Matriz de comparación del criterio implementación. Fuente: Elaboración propia.....	67
Tabla 25: Matriz de comparación del criterio duración de ejecución. Fuente: Elaboración propia.	67
Tabla 26: Matriz de comparación del criterio robustez. Fuente: Elaboración propia	68
Tabla 27: Consistencia de las matrices. Fuente: Elaboración propia.....	69
Tabla 28: Matriz de prioridades globales. Fuente: Elaboración propia.....	69
Tabla 29: Dimensión de las cajas. Fuente: Elaboración propia.	73

Tabla 30: Responsables de la primera fase de la primera acción de mejora. Fuente: Elaboración propia.	76
Tabla 31: Recursos de la primera fase de la primera acción de mejora. Fuente: Elaboración propia	78
Tabla 32: Responsables de la segunda fase de la primera acción de mejora. Fuente: Elaboración propia	79
Tabla 33: Comparación de capacidad de almacenamiento. Fuente: Elaboración propia.	84
Tabla 34: Recursos de la segunda fase de la primera acción de mejora. Fuente: Elaboración propia	86
Tabla 35: Temporización de la segunda fase de la primera acción de mejora. Fuente: Elaboración propia	87
Tabla 36: Comparativa de temporización real de la segunda fase de la primera acción de mejora. Fuente: Elaboración propia	88
Tabla 37: Responsables de la segunda acción de mejora. Fuente: Elaboración propia	90
Tabla 38: Comparación pareada de criterios. Fuente: Elaboración propia	94
Tabla 39: Matriz de comparación del criterio coste. Fuente: Elaboración propia.....	95
Tabla 40: Matriz de comparación del criterio fácil manejo. Fuente: Elaboración propia.....	95
Tabla 41: Matriz de comparación del criterio robustez. Fuente: Elaboración propia	96
Tabla 42: Matriz de comparación del criterio capacidad de almacenamiento. Fuente: Elaboración propia	96
Tabla 43: Consistencia de las matrices. Fuente: Elaboración propia.....	97
Tabla 44: Matriz de comparaciones globales. Fuente: Elaboración propia.....	97
Tabla 45: Recursos asignados a la segunda acción de mejora. Fuente: Elaboración propia.....	101
Tabla 46: Temporización de la segunda acción de mejora. Fuente: Elaboración propia.....	101

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Objeto del proyecto

El presente trabajo de final de máster ha sido desarrollado durante las prácticas realizadas por la alumna entre febrero y julio de 2024 en Stadler Rail Valencia, una sede de una empresa multinacional dedicada a la fabricación de vehículos ferroviarios. Desde la adquisición de la empresa por el grupo suizo, Stadler Rail ha experimentado un crecimiento significativo, incrementando anualmente el volumen de proyectos y la cantidad de trenes en producción. Este crecimiento ha llevado a la necesidad de adquirir nuevas instalaciones y subcontratar empresas para satisfacer la creciente demanda. Sin embargo, a pesar de la expansión de la capacidad física y de la contratación de nuevo personal, estos esfuerzos no han sido suficientes para manejar la carga de trabajo de manera óptima.

En este contexto, la incorporación de la alumna al departamento de planificación industrial ha permitido realizar un análisis exhaustivo de los talleres de producción, específicamente en las áreas de pintura y calderería. A través de este análisis, se busca identificar los principales problemas operativos y de gestión que afectan la eficiencia y productividad de la fábrica. El objetivo principal del proyecto es detectar y analizar los procesos que no aportan valor a la empresa con el fin de proponer mejoras que optimicen estos procesos, reducir o eliminar las ineficiencias y aumentar la efectividad y eficiencia de la planta.

Por tanto, este trabajo se centra en la implementación de soluciones que mejoren la distribución en planta, optimicen los flujos de trabajo y minimicen los tiempos de espera y los cuellos de botella. Todo esto con la finalidad de mejorar la productividad general de la fábrica y asegurar que los procesos estén alineados con las mejores prácticas de la industria. Así, se pretende que estas mejoras no solo permitan a la empresa cumplir con la demanda actual, sino también prepararse para un crecimiento sostenido y sostenible en el futuro.

1.2 Justificación

La realización del Trabajo de Final de Máster (TFM) es uno de los requisitos para la obtención del título de máster en Ingeniería Industrial, siendo el paso final para concluir la etapa universitaria. Este trabajo no solo representa el cierre de un ciclo académico, sino que también constituye una oportunidad invaluable para aplicar los conocimientos teóricos adquiridos a lo largo de la especialidad en Organización Industrial.

Además, este trabajo ofrece la oportunidad de enfrentarse a los problemas reales que plantea el trabajo en una empresa. Esta experiencia permite a la alumna desarrollar habilidades prácticas esenciales y adquirir una visión directa del entorno industrial.

1.3 Estructura del documento

El presente documento se ha estructurado en nueve capítulos.

El segundo capítulo introduce el contexto general del trabajo, detallando el entorno de la empresa Stadler Rail Valencia. Incluye la historia de la sede valenciana, su visión estratégica, una descripción detallada de los productos que fabrica y los procesos de producción asociados. Además, se analiza la relación actual con los clientes y proveedores, así como el nivel de ventas alcanzado.

El tercer capítulo presenta los conceptos teóricos necesarios para comprender los fundamentos del estudio. Se centra principalmente en la metodología de Lean Manufacturing y las herramientas que se utilizarán para analizar los problemas de la empresa.

El cuarto capítulo analiza la situación actual de la empresa, enfocándose en los talleres de calderería y pintura, que son el objeto principal del proyecto. Se describen las operaciones actuales y se identifican los problemas y deficiencias mediante la aplicación del Value Stream Mapping y otras herramientas de diagnóstico.

El quinto capítulo titulado "Situación deseada y planteamiento de oportunidades", presenta una visión del funcionamiento ideal del taller de producción. Se proponen oportunidades de mejora basadas en los problemas identificados previamente y se elabora un mapa de flujo de valor "To-Be" para orientar las futuras acciones de mejora.

El sexto capítulo "Diseño detallado e implementación de la primera mejora", describe en detalle la primera propuesta de mejora, centrada en la optimización del almacén intermedio. Se incluye el análisis de la situación actual, la acción de mejora seleccionada, su implementación y los resultados obtenidos.

El séptimo capítulo aborda la segunda acción de mejora, relacionada con la implementación de un nuevo sistema automático para el control y ubicación de cajas.

El octavo capítulo presenta las conclusiones generales del proyecto, destacando las dificultades encontradas y posibles líneas de trabajo futuras.

El noveno capítulo recopila las referencias bibliográficas utilizadas a lo largo de todo el trabajo de fin de máster.

Por último, se detalla el presupuesto del proyecto y un análisis de la viabilidad económica del trabajo realizado.

2. DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO DEL TFM

2.1 Introducción

El primer capítulo del documento tiene como objetivo principal conocer el entorno de la empresa. En primer lugar, se abordará la misión y las estrategias de la empresa, seguido de un análisis de los acontecimientos históricos relevantes que han moldeado la trayectoria hasta el día de hoy.

Posteriormente, se procede a ubicar la distribución en planta de los procesos productivos de manera general, reservando un análisis más detallado de los procesos clave para el siguiente capítulo del proyecto.

Después, se explica la estructura organizativa de la empresa, presentando su organigrama general y detallando los métodos de comunicación interdepartamental, lo que permitirá comprender mejor el funcionamiento interno. Además, se explicarán los modelos de productos fabricados y su clasificación, así como los clientes que la empresa atiende actualmente.

Por último, en el apartado de contexto y objetivo del trabajo, se delimitará el problema a abordar y se expondrán detalladamente los objetivos del proyecto, proporcionando así una mejor comprensión del alcance del trabajo como de su propia finalidad.

2.2 Introducción a la empresa

2.2.1 Misión, visión y valores

Stadler Rail Valencia es una empresa con una sólida trayectoria, dedicada al diseño, fabricación y mantenimiento de vehículos. El compromiso de la empresa radica en abastecer a clientes a nivel global manteniendo una constante búsqueda de rentabilidad, satisfacción y superación de las expectativas del cliente.

Para alcanzar los objetivos, se implementan métodos de mejora continua, dando soluciones técnicas innovadoras, y productos y servicios de alta calidad, con el fin de conseguir la excelencia en todos los procesos, teniendo como misión ampliar el número de clientes y ser líderes en el sector ferroviario, siguiendo una buena estrategia competitiva.

La visión de la empresa se fundamenta en la creación de procesos de alta fiabilidad, donde se suministra la máxima calidad tanto en plazo como en las condiciones que se acuerda con el cliente. Se visualiza expandiendo las ventas hacia clientes de primer nivel, generando así un ciclo de mejora continua: mejores procesos, más y mejores ventas y clientes.

Estos son algunos de los valores que la empresa transmite a sus empleados:

- **Trabajo en equipo:** se fomenta la colaboración y la unión de esfuerzos entre departamentos, valorando la escucha activa, la aportación individual y la toma de decisiones conjunta de manera constructiva.
- **Orientación a resultados:** se caracteriza por una alta persistencia, ética y responsabilidad orientados hacia la consecución de objetivos y la resolución efectiva de desafíos, con un sentido de alcanzar los objetivos en la práctica y la constancia.

- **Excelencia:** se cultiva la profesionalidad y la superación continua, aprendiendo de los errores, con una actitud proactiva, creativa y entusiasta.
- **Respeto a las personas:** Stadler se caracteriza por tener un ambiente cercano y de confianza, donde la accesibilidad, la transparencia y el respeto mutuo son fundamentales. Se valora la consideración, la escucha activa, la equidad y la empatía en todas las interacciones.
- **Satisfacción del cliente:** La empresa se compromete a mantener una actitud flexible, transparente y cercana orientada al servicio, anticipando las necesidades de los clientes y cumpliendo siempre con los compromisos. El objetivo es construir relaciones duraderas basadas en el respeto y la satisfacción mutua.

2.2.2 Historia

En la Figura 1 se muestra la trayectoria evolutiva de la empresa, desde su fundación hasta el presente, resaltando los hitos más significativos para una comprensión más completa.



Figura 1: Frisa histórica. Fuente: Elaboración propia.

A finales del siglo XIX en la ciudad de Valencia, dos emprendedores valencianos, caldereros de profesión, Miguel Devís Pérez y José Noguera Chuliá, fundaron la sociedad Devís y Noguera. Este hito marcó el inicio de una historia que perduraría a lo largo de las generaciones. El taller se ubicaba en la que es la calle actual Arzobispo Fabián y Fuero-Doctor Oloriz.

“Devís y Noguera” se dedicó a la fabricación de calderas de vapor, mecanismo de transmisión a motor o bombas elevadoras, contribuyendo así al desarrollo industrial de la región y establecieron lo que más tarde se convertiría en una empresa líder en su sector.

A mediados de 1911, los socios por mutuo acuerdo decidieron liquidar anticipadamente la sociedad, adquiriendo Miguel Devís la parte de José Noguera. Así nació la sociedad "Devís e Hijos", una nueva etapa en la evolución de la empresa.

Sin embargo, en noviembre de 1928, el fallecimiento de Miguel Devís Pérez supuso un punto de inflexión en la historia de la empresa. Ante esta situación, en enero de 1929, se llevó a cabo la transformación de "Hijos de Miguel Devís" en la nueva sociedad llamada "Construcciones Devís",

Tras la guerra civil española se fundó la Red de los Ferrocarriles Españoles (RENFE), la cual propuso a “Construcciones Devís” fabricar gran parte de los numerosos pedidos de locomotoras.

A mediados del siglo, la Construcciones Devís se fusionó con la empresa catalana Material para Ferrocarril y Construcciones, dando origen a MACOSA (Material y Construcciones SA). Bajo este nuevo nombre, la compañía se consolidó como un referente en el suministro de material

ferroviario en más de cuatro décadas de actividad. En la Ilustración 1 se muestra lo que era una de las naves de acabados con locomotoras de RENFE en 1965.



Ilustración 1: Naves de acabados de MACOSA. Fuente: Stadler Rail

En la década de 1980, MACOSA, con sede en Valencia, se posicionó como líder en el sector ferroviario español. MACOSA, en colaboración con ALSTOM, participó en varios proyectos importantes, incluyendo la renovación del parque de locomotoras de maniobra y la construcción de locomotoras y trenes eléctricos para RENFE y FGC.

En 1991, la reestructuración del sector ferroviario español condujo a la separación de MACOSA, dando lugar a la creación de MEINFESA e INFEVASA, provocando que ALSTOM ganara más terreno en el sector. Esto marcó el comienzo de una nueva era para la industria ferroviaria en España. Bajo la dirección de GEC ALSTOM, las operaciones se expandieron priorizando la exportación, abriéndose al mundo internacional y a la especialización en productos como locomotoras y bogíes.

En la década de 1990, la empresa logró expandirse internacionalmente y desarrollar nuevos productos. La transición hacia ALSTOM en 1998 marcó una nueva fase en su evolución, enfocándose en la ingeniería de diseño y consolidando su posición como líder en la industria ferroviaria.

A principios del nuevo siglo, la empresa se enfrentó a una gran crisis que le obligó a vender los terrenos de la empresa, por lo que en el 2004 alcanzó su punto crítico y al año siguiente el grupo alemán Vossloh AG adquirió el control de la fábrica, lo que llevó a que se firmaran importantes acuerdos nacionales e internacionales para el diseño, fabricación y mantenimiento de vehículos ferroviarios de todo tipo.

Nueve años más tarde, la multinacional alemana decidió vender a Stadler Rail AG la fábrica valenciana. Con esta adquisición, se estableció Stadler Rail Valencia S.A.U., dando inicio a una nueva etapa en la fabricación de locomotoras, vehículos de pasajeros y bogíes. A continuación, se muestra en la Ilustración 2 las naves actuales de la empresa.



Il·lustració 2: Imagen actual de Stadler Valencia. Fuente: Stadler Rail

2.2.3 Emplazamiento de la empresa

La sede principal de Stadler Rail Valencia SAU se ubica en la provincia de Valencia, en el municipio de Albuixech, cercana a la autovía V-21, junto a la costa del mediterráneo como se indica en la Ilustración 3 y la Ilustración 4. La ubicación de la empresa facilita la comunicación aprovechando la proximidad al puerto de Valencia y de Sagunto. Además, la planta está próxima a varios almacenes donde se lleva a cabo parte de la producción externa de la empresa.



Il·lustració 3: Ubicació de Stadler Rail Valencia. Fuente: Google Earth.



Ilustración 4: Ubicación de Stadler Rail Valencia. Fuente: Google Earth

2.2.4 Organigrama

El organigrama de la empresa se distingue por una estructura vertical fuerte, con el Chief Executive Officer (CEO) Íñigo Parra ocupando el puesto más alto. Además de ser el CEO, Parra también desempeña el rol de director comercial, supervisando así tanto la gindirección estratégica como las actividades comerciales de la empresa.

La empresa está organizada en distintos departamentos, entre ellos Recursos Humanos, Marketing, Compras y Calidad. Sin embargo, los departamentos más importantes son aquellos relacionados con el área industrial, ingeniería, operaciones, finanzas y comercialización.

Cada uno de estos departamentos se divide a su vez en ramas dirigidas por un responsable, lo que permite una gestión más eficiente y específica de las áreas de trabajo. Además, cada departamento puede contar con subáreas lideradas también por responsables designados. Esto garantiza una estructura organizativa clara y jerarquizada, donde cada trabajador tiene una línea de dirección definida. En la Figura 2 se puede observar las distintas áreas de la empresa.



Figura 2: Esquema del organigrama de dirección de Stadler Valencia. Fuente: Elaboración propia.

2.2.5 Distribución en planta y distintas secciones

La infraestructura de la empresa Stadler Rail Valencia comprende diversas naves industriales y bloques de oficinas, cada uno asignado específicamente para un proceso operativo particular o una función auxiliar. En la Ilustración 5 se enumeran las naves/zonas más destacadas de la planta para que sea más visual.



Ilustración 5: Distribución en planta de Stadler Rail. Fuente: elaboración propia.

1. **Comedor:** Espacio destinado para que el personal pueda tener sus momentos de descanso y alimentación.

2. **Recursos Humanos:** Centro donde se gestionan las políticas de contratación, capacitación y desarrollo del personal.
3. **Edificio de Ingeniería:** lugar en el que se encuentra el departamento de ingeniería. Aquí se concentra el equipo de ingenieros y profesionales especializados encargados de diseñar y desarrollar los proyectos.
4. **Naves de Acabados:** Espacio dedicado a algunas estaciones de la parte de acabados de los trenes y locomotoras, antes de la entrega al cliente.
5. **Naves de Calderería:** Esta área es la primera en la cadena de producción, donde se lleva a cabo la fabricación de las cajas que conforman la estructura de los trenes. En el capítulo siguiente se realizará una explicación detallada de la distribución en planta y los procesos de producción involucrados.
6. **Zona de Pintura:** Etapa posterior a calderería, donde las cajas en blanco se pintan para personalizar cada proyecto. Se detallarán los procesos y técnicas utilizadas en el capítulo siguiente debido a que el presente documento se especializa en la mejora de estos dos procesos.
7. **Naves de Bogíes:** Área especializada donde se fabrican los bogíes, elementos fundamentales que conectan el tren con las vías, asegurando la estabilidad y seguridad del vehículo ferroviario.
8. **Zona Comissioning:** Se enfoca en los reprocesos de acabados, tanto en la fase final de producción como en los casos donde los trenes regresan para realizar ajustes o mejoras.
9. **CabyPress:** Cabina de pintura destinada a los reprocesos de locomotoras o trenes de pasajeros que hayan sufrido algún daño durante el proceso de fabricación. Aquí se realizan los ajustes finales en la pintura después de haber pasado por todas las fases de producción y los trenes están listo para enviarlos a cliente.
10. **Taller eléctrico:** zona donde se montan los armarios, pupitres y maniqués que irán posteriormente o a un premontaje o directamente a línea de producción.

Dado al gran volumen de proyectos que alberga la empresa, parte de su producción se realiza en externo, en almacenes ubicados en los alrededores del polígono industrial o en zonas cercanas como Museros, la Vall d'Uixò y Sagunto entre otros. Estos espacios adicionales, no son contemplados en la distribución previamente mencionada, incluyen tanto almacenes como naves industriales. En estos lugares, se llevan a cabo parte de los procesos de producción, ensamblaje o almacenamiento de materiales, contribuyendo así a la capacidad operativa y logística de la empresa.

2.2.6 Fases del proceso de un proyecto

Las principales fases de un proyecto son las siguientes.

1. Inicio:

Esta etapa comienza con el proceso de licitaciones, donde se presenta una oferta al cliente, valorando la posibilidad de colaboración. Este proceso involucra la colaboración entre los departamentos comercial y de ofertas para elaborar las distintas propuestas. Tras cerrar el acuerdo comienza el trabajo basado en el diseño del vehículo ferroviario, en el que el departamento de ingeniería se encarga de la creación del diseño, mientras que de forma simultánea el departamento de compras gestiona los pedidos de los materiales necesarios para la ejecución del proyecto.

2. Planificación:

En esta fase se establece la situación inicial del proyecto, definiendo las características, la cadencia de producción deseada, la tecnología requerida y otros aspectos relevantes. Se detallan las horas de trabajo necesarias, los contratos contractuales y se traza el plan para llevar a cabo el proyecto de manera eficiente y efectiva, dará comienzo el mismo.

3. Ejecución:

En esta fase crucial del proyecto, se lleva a cabo la producción del vehículo ferroviario, donde se combinan diversas actividades especializadas para garantizar la calidad y eficiencia del proceso. Los diferentes talleres implicados en esta etapa incluyen la fabricación de bogíes, calderería para la construcción de la estructura, el proceso de pintura, el equipamiento, que involucra la instalación de componentes clave y el taller eléctrico para el ensamblaje de sistemas eléctricos.

En la Figura 3 se muestra un diagrama de Gantt para visualizar y gestionar eficazmente la secuencia de actividades en cada taller, asegurando una coordinación óptima entre los diferentes procesos.

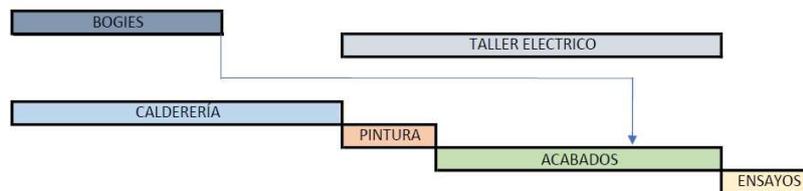


Figura 3: Proceso de fabricación. Fuente: Elaboración propia.

La etapa de equipamiento representa la parte más importante y larga de la ejecución, ya que implica varias subetapas con múltiples puntos críticos, como la disponibilidad de materiales y recursos.

Las seis etapas de equipamiento, divididas en estaciones, son las siguientes:

- ES02: Pisos, ventanas y canales eléctricos.
- ES03: Tuberías y puertas.
- ES04: Montaje de la planta motriz, tanque de combustible, caja de baterías y equipamiento interior.
- ES05: Conexionado de sistemas
- ES06.a: Timbrado de componente, suelos y pisos, equipamiento de cabinas.
- ES06.b: Montaje de techos
- ES07: Preparación bajo bastidor. Acoplamiento de caja sobre bogie.

Después de la fase final de equipamiento, sigue la etapa de acabados finales, que incluye procesos de control de calidad, ensayos técnicos, y la aplicación de los estándares de seguridad y calidad. Aunque se realizan controles de calidad después de cada etapa de producción, esta

fase se enfoca en el cierre de puntos identificados durante todo el proceso. Después de la fase de calidad se llevan a cabo ensayos, como pruebas de pesaje y de frenado, para validar el funcionamiento y seguridad del vehículo. Por último, se encuentra la etapa de cabina de pintura, donde se efectúan los retoques necesarios en la pintura de los trenes que hayan sufrido algún desperfecto durante el proceso de equipamiento.

4. Cierre:

Esta es la fase final del proyecto, donde se completa el trabajo, se formaliza el cierre del contrato y se entrega el pedido al cliente. Se redacta un acta de entrega que documenta la finalización del proyecto y el cliente recibe oficialmente el producto.

2.2.7 Sistema de la información de la empresa

El sistema de información de Stadler se basa principalmente en el software SAP, una plataforma integral donde todos los departamentos tienen acceso para registrar y buscar la información necesaria. Los eslabones más elevados de este sistema están encargados de supervisar y gestionar la información de manera estratégica y global dentro de la empresa.

Por otro lado, los eslabones más bajos se centran en llevar a cabo transacciones específicas, como la gestión de listas de materiales para cada pedido, la creación y seguimiento de pedidos, la solicitud y validación de bonos, así como la gestión de planos de cada unidad de proyecto, extracción de información relevante y la gestión de modificaciones por parte del departamento de ingeniería y producción. Mediante la herramienta SAP también se puede localizar la ubicación de cada caja en proceso y en qué almacén se encuentra, lo que contribuye a una gestión eficiente del inventario y los recursos.

2.3 Productos y servicios de la empresa

Stadler rail SAU valencia se dedica a la fabricación de locomotoras, trenes de pasajeros y bogíes. Cada proyecto, tanto de locomotoras como de trenes de pasajeros es personalizado para los requerimientos del cliente ya sea la tecnología, la distancia requerida, el número de vagones, el equipamiento requerido o la velocidad de operación.

Los productos de la fábrica se pueden clasificar en interciti, que son vehículos de larga distancia, trenes regionales, dedicados a media distancia, trenes urbanos, los que circulan por la ciudad, y locomotoras, dedicados al transporte de mercancías.

Los modelos que se encuentran en la anterior clasificación se muestran en la Tabla 1.

PRODUCTO	MODELOS
Intercity	FLIRT 200, KISS 200
Trenes regionales	FLIRT 160, KISS160, WINK
Trenes urbanos	TramLink, CityLink, Metro
Locomotoras	Euro400, Euro9000, Euro600, Eurodual

Tabla 1: Modelos de los productos de fabricación de Stadler Rail. Fuente: Documentación interna.

- INTERCITY:

Disponen de velocidades máximas de 200 km/h, ambos modelos permiten una operación eficiente en rutas interurbanas. El FLIRT 200 presenta un diseño rápido de un piso, mientras que el KISS 200 se distingue por su configuración de doble piso, ofreciendo hasta 1.000 asientos según el diseño interior. Ambos modelos ofrecen composiciones de hasta ocho coches y cuentan con interiores adaptables a las necesidades individuales de los pasajeros. En la Ilustración 6 se muestra un ejemplo de un vehículo intercity.



Ilustración 6: Vehículo de larga distancia. Fuente: Documentación interna.

- TRENES REGIONALES:

Los trenes regionales tienen velocidades máximas que oscilan alrededor de los 160 km/h y están disponibles en composiciones que van desde 2 a 6 coches o de 2 a 8, según el modelo. El modelo FLIRT se caracteriza por ser de un solo piso, mientras que el KISS dispone de dos pisos. La Ilustración 7 muestra un ejemplo de un tren regional.



Ilustración 7: Vehículo de media distancia. Fuente: Documentación interna.

- URBANOS:

Los modelos de trenes urbanos ofrecen una variedad de características adaptadas a las necesidades específicas de transporte en entornos urbanos. El TRAMLINK destaca por su diseño multi-articulado de piso bajo, con hasta 7 módulos y una configuración flexible para satisfacer las demandas de los clientes. En la Ilustración 8 se muestra un ejemplo de modelo de tren urbano.

Por otro lado, el CITYLINK es una familia de vehículos modulares y ligeros, diseñados para conectar el centro de la ciudad con áreas metropolitanas, con opciones tanto de tranvía como de tren de cercanías y una velocidad máxima de hasta 100 km/h.

Por último, el Metro se centra en la modernización de sistemas de metro, ofreciendo vehículos ligeros y eficientes, con capacidades de hasta 900 personas y una amplia flexibilidad en diseño para adaptarse a diferentes conceptos operativos.



Ilustración 8: Vehículos urbanos. Fuente: Documentación interna.

- LOCOMOTORAS:

El modelo Euro9000 es una locomotora eléctrica potente y versátil, que se acopla a rutas internacionales de carga y pasajeros. La Eurodual combina tracción eléctrica y diésel, perfecta para operaciones en rutas secundarias sin electrificación. La Euro6000, relacionada con la Eurodual, es una locomotora eléctrica que funciona en diferentes tipos de líneas. Por último, la EUROLIGHT es una locomotora polivalente diseñada para cargas pesadas, servicios de pasajeros y rescates, ofreciendo flexibilidad y eficiencia en varias aplicaciones. En la siguiente Ilustración 9 muestra un ejemplo del modelo más fabricado por la sede.



Ilustración 9: Locomotora EURODUAL. Fuente: Stadler Rail

2.4 Clientes y proveedores

2.4.1 Clientes

Locomotoras:

Stadler Valencia ha vendido a lo largo de su vida más de 2500 locomotoras en 22 países a los 5 continentes después de la firma de Kiwi Rail en nueva Zelanda. En el año actual tienen en marcha alrededor de 140 proyectos y firmados para el año que viene más de 150. Stadler es líder en sector ferroviario, siendo las locomotoras duales líderes a nivel mundial.

Trenes de pasajeros:

Stadler Rail Valencia se destaca principalmente por su participación en proyectos ferroviarios en diversos países europeos. En el año actual, la empresa está involucrada en la ejecución de 23 proyectos distintos de trenes de pasajeros en toda Europa, como se detalla en la imagen adjunta. Uno de los proyectos más destacados en su cartera es el de RENFE.

En el contexto de proyectos de entidad pública como este, suele requerirse la participación de una empresa ferroviaria para su realización. Por lo tanto, todas las compañías interesadas compiten en licitaciones, y en este caso tanto Stadler como Alstom fueron las ganadoras, asignándose a cada una una cantidad específica de proyectos. A Stadler se le adjudicaron un total de 59 proyectos, entre los que se incluyen 24 trenes del tipo T100, con una longitud de 100 metros y 4 coches cada uno, así como 35 trenes T200, con 200 metros de longitud y 8 coches.

2.4.2 Proveedores

La sede valenciana cuenta con una red de proveedores habituales que colaboran estrechamente con la empresa, ofreciendo una variedad de servicios especializados. Estos proveedores pueden suministrar materiales, transporte y servicios de premontaje específicamente adaptados a las necesidades de Stadler.

El departamento de compras desempeña un papel crucial en la gestión de la cadena de suministro. Este departamento es responsable de realizar pedidos de materiales, llevando a cabo un proceso que incluye la solicitud de ofertas a diferentes proveedores. La elección del proveedor se basa en criterios como la calidad de los materiales, la capacidad de cumplir con los

plazos de entrega y, buscar el mínimo coste. Stadler prioriza la selección del proveedor más económico que pueda cumplir con los requisitos de calidad y tiempo establecidos.

Esta estrategia de gestión de la cadena de suministro garantiza que Stadler pueda mantener altos estándares de calidad y eficiencia en la ejecución de sus proyectos ferroviarios, al tiempo que optimiza los costos y asegura la puntualidad en la entrega de los materiales necesarios.

1.4.2.1 Evolución de ventas

Como se ha comentado anteriormente, la empresa ha crecido de forma considerable en los últimos años, y este crecimiento se refleja directamente en el número de proyectos finalizados anualmente. En la Figura 4 se ve claramente el aumento de proyectos de un año para otro, siendo el del pasado año 2023 superior a casi tres veces el número de proyectos finalizados en el 2022.

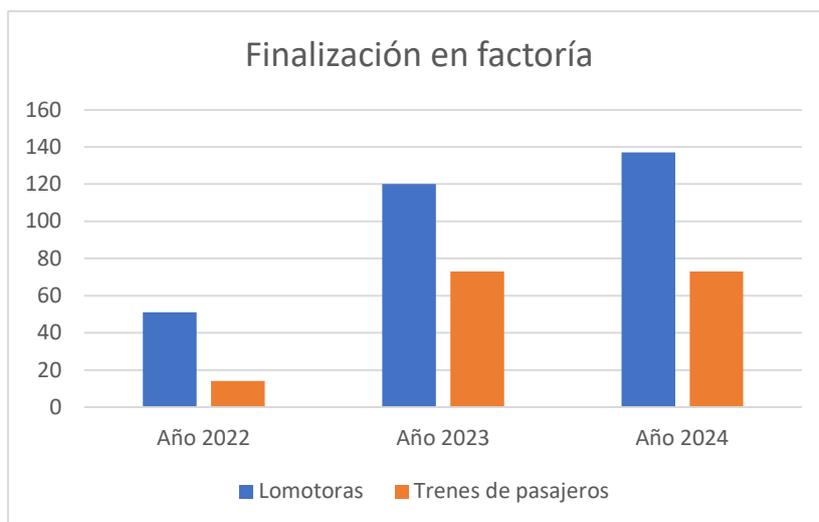


Figura 4: Evolución de unidades finalizadas en factoría. Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente Figura 5 se representa una proyección de los proyectos que se espera finalicen en la factoría en los próximos años. Estas cifras son estimaciones que podrían aumentar con la firma de nuevos proyectos en desarrollo. Se destaca el creciente enfoque de la empresa en la fabricación de trenes de pasajeros, reflejando una estrategia de expansión hacia segmento del mercado.

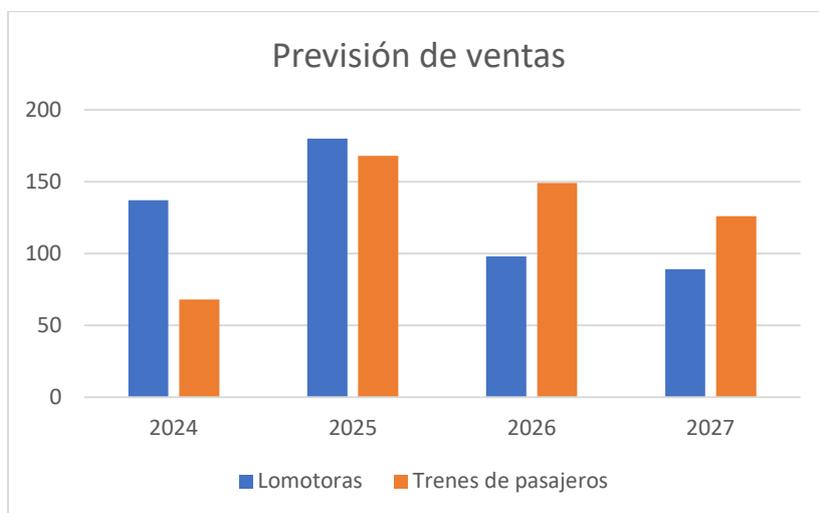


Figura 5: Previsión de ventas de los próximos años. Fuente: Elaboración propia.

2.5 Organización interna

La finalidad de la organización interna es coordinar las actividades, asignar responsabilidades, fomentar la comunicación entre departamentos, maximizar la productividad y alcanzar los objetivos propuestos en la empresa.

La estructura organizativa de Stadler se caracteriza por su enfoque vertical, donde cada empleado tiene un superior jerárquico, ya sea un jefe de departamento o un supervisor.

Sin embargo, esta estructura vertical se complementa con una horizontal, ya que la empresa se organiza en torno a proyectos específicos. Cada persona está asignada a uno o varios proyectos, lo que implica que trabajan en colaboración los responsables de un mismo proyecto de cada departamento. Esta configuración fomenta una comunicación fluida y una colaboración estrecha entre los equipos, lo que permite avanzar en los proyectos de manera eficiente y minimizar los retrasos.

Además, cada departamento cumple una función específica, pero todos dependen entre sí, lo que promueve una integración de las actividades.

La posición de la alumna como planificadora de pintura y taller eléctrico implica una colaboración con diversos departamentos dentro de la empresa. Además de supervisar las actividades de pintura y el taller eléctrico, se coordina con otros equipos, incluyendo compras, logística, calderería y acabados. Esto refleja una dinámica organizativa tanto vertical como horizontal: vertical, ya que reporta regularmente a su jefe de departamento sobre el progreso y posibles retrasos en las unidades; y horizontal, al interactuar con empleados de igual nivel en otros departamentos para asegurar una comunicación efectiva y una ejecución sin contratiempos de los proyectos.

2.6 Contexto del estudio, el objeto y los objetivos

Dada la extensión y complejidad de la empresa, el alcance de este proyecto se centrará específicamente en los talleres de calderería y pintura, dado que constituyen la etapa inicial del proceso de ejecución y son los espacios en los que la alumna se desempeña diariamente. El objetivo principal del proyecto de final de máster será mejorar la eficiencia y la operatividad de ambos talleres, centrándose principalmente en la distribución en planta y la ubicación actualizada de las cajas.

El enfoque estará en proponer una serie de mejoras para estos dos talleres y compararlas con la situación actual de la fábrica, cuantificando el impacto de dichas mejoras.

Los objetivos específicos incluirán:

1. Describir detalladamente los talleres y los procesos productivos respectivos, proporcionando un análisis exhaustivo de la situación actual para comprender completamente el contexto de trabajo.
2. Identificar y analizar los problemas existentes en los talleres, desde retrasos en la producción hasta deficiencias en la distribución del espacio y los recursos.
3. Plantear soluciones y mejoras que aborden los problemas identificados, evaluando cómo afectarían a la empresa en su propio beneficio.
4. Proponer e implementar las mejoras más rentables y efectivas, realizando una evaluación económica detallada y justificando la inversión necesaria para llevar a cabo dichas mejoras. Esto incluirá evaluar la rentabilidad general de las mejoras propuestas y su impacto en la eficiencia de la producción de la empresa.

2.7 Conclusiones

Este primer capítulo introductorio del trabajo de final de máster tiene como objetivo proporcionar un amplio conocimiento sobre el entorno de la empresa Stadler Rail, focalizándose en su sede valenciana. Esto permitirá comprender el contexto en el cual se desarrollará el estudio detallado en el proyecto.

Para lograr este objetivo, se ha abordado de manera general la historia de la empresa, su visión estratégica, así como su situación actual, incluyendo una descripción detallada de los productos que fabrica y el proceso de producción asociado. Además, se ha analizado la relación actual con los clientes y proveedores, así como el nivel de ventas alcanzado.

Es importante destacar que este trabajo se centra específicamente en las naves de calderería y pintura de la empresa, lo cual ha sido acotado como el objeto de estudio. En el próximo capítulo, se profundizará en los procesos de producción afectados por el proyecto, presentando su situación actual y permitiendo identificar los problemas y puntos clave que requieran propuestas de mejoras.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Introducción

Después de presentar la descripción del entorno de la empresa, incluyendo el objeto del estudio y los objetivos del trabajo, este capítulo se enfoca en los conceptos teóricos necesarios para realizar el estudio de la memoria.

El primer apartado describe los siete desperdicios fundamentales del Lean Manufacturing. A continuación, se aborda el Value Stream Mapping y los indicadores empleados en esta metodología. Por último, se presentan las herramientas utilizadas para detectar problemas y determinar sus causas raíz.

3.2 Lean Manufacturing

Lean Manufacturing es una filosofía de trabajo, basada en las personas, que define la forma de mejora y optimización de un sistema de producción focalizándose en identificar y eliminar todo tipo de “desperdicios”, definidos éstos como aquellos procesos o actividades que usan más recursos de los estrictamente necesarios. (Womack & Jones, 1996)

Dentro de Lean Manufacturing, se identifican siete tipos de desperdicios que deben ser eliminados para reducir los procesos productivos explicados a continuación.

3.2.1 Los siete desperdicios

El desperdicio se refiere a todas aquellas operaciones que no contribuyen al valor del producto. Se considera valor de un producto a cada acción, transformación o proceso que lo acerca al estado final deseado por el cliente.

- **Sobreproducción:** Se produce más de lo necesario o se produce antes de que sea requerido, ya sea por los clientes internos o externos.
- **Espera:** Tiempo perdido cuando los empleados o las máquinas están inactivos debido a la falta de materiales, herramientas, mantenimiento, o debido a ineficiencias en la programación. La espera también puede ocurrir cuando las máquinas esperan a ser reparadas o reabastecidas.
- **Transporte:** Movimiento innecesario de materiales, herramientas, documentos, etc. Esto incluye el doble o triple manejo debido a un almacenamiento ineficiente, el cual no añade valor al producto final y consume recursos adicionales.
- **Ineficiencias en el proceso:** Actividades que no aportan valor, como procesos deficientes, operaciones innecesarias, inspecciones excesivas, rechazos, cuellos de botella, refinamientos inútiles, y un diseño inadecuado para la fabricación, testabilidad, y ensamblaje.
- **Inventarios:** Exceso de materia prima y productos terminados en comparación con las necesidades reales de los clientes.
- **Movimientos innecesarios:** Movimientos inútiles de los empleados, como caminar, subir, doblar, alcanzar, voltear, girar, y buscar materiales o herramientas. Estos movimientos no añaden valor y pueden causar fatiga y lesiones.

- **Productos defectuosos:** Producción de artículos que no cumplen con los estándares de calidad, lo que lleva a retrasos, reinspecciones, rechazos y retrabajo. La producción de productos defectuosos aumenta los costos y reduce la satisfacción del cliente.

3.3 Value Stream Mapping

3.3.1 Metodología VSM

El Mapa de la Cadena de Valor es una herramienta de comunicación, de planificación empresarial y de gestión del proceso de cambio. Este mapa ilustra los procesos necesarios para transformar materias primas o semielaborados en productos terminados (flujo de materiales) y muestra cómo se transmite la información entre estos procesos. (Shook, 1999)

En el VSM, se identifican tanto los procesos que aportan valor añadido como aquellos que no hacen, proporcionando una visión clara de la proporción de unos y otros. Además, el mapa ofrece datos sobre los indicadores clave de cada proceso, lo que permite una evaluación precisa del rendimiento de la cadena de valor.

El VSM no es simplemente una herramienta lean, sino un proceso integral para planificar y enlazar cualquier iniciativa lean a través de un análisis sistemático y la captura de datos. Su objetivo principal es evaluar y mejorar el estado actual de la empresa en términos de tiempos de ciclo, comunicación entre procesos, estandarización del trabajo y capacidad de las máquinas.

3.3.2 Indicadores

A continuación, se presentan los indicadores que han utilizado para poder representar el VSM:

- **FTT: (First Time Through):** Representa el porcentaje de unidades que completan un proceso de producción y cumplen las especificaciones de calidad bien a la primera; sin ser reprocesadas, retesteadas, reparadas fuera de la línea, devueltas o desechadas como chatarra. Se expresa mediante la ecuación [1].

$$FTT = \frac{N^{\circ} \text{ ud entrantes} - (\text{retrabajo} + \text{reparaciones} + \text{chatarra})}{N^{\circ} \text{ ud entrantes}} \quad [1]$$

- **Disponibilidad:** El tiempo disponible neto son las horas disponibles por turno menos las paradas contempladas en el contrato (descansos, comidas...).

Donde el tiempo operativo es el tiempo disponible neto menos las paradas controladas (averías, puesta a punto y ajustes, paradas menores documentadas, reuniones, mantenimiento programado). Se expresa mediante la ecuación [2].

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo operativo}}{\text{Tiempo disponible neto}} \quad [2]$$

- **Eficiencia:** influyen las pérdidas de velocidad y el ritmo de trabajo de la máquina. Se calcula mediante la siguiente expresión [3].

$$Eficiencia = \frac{t_{ciclo} \times Unidades\ entrantes}{Tiempo\ operativo} \quad [3]$$

- **OEE (Overall Equipment Effectiveness):** Es una medida de la capacidad de una máquina para realizar una operación de acuerdo con los estándares de calidad, en la frecuencia deseada y sin interrupciones. Se expresa mediante la ecuación [4].

$$OEE = Disponibilidad \times Eficiencia \times FTT \quad [4]$$

Tiempo de ciclo: Es el tiempo que transcurre desde que un equipo comienza un trabajo hasta que lo finaliza. El tiempo de ciclo de un producto sería el tiempo que se tarda en producirlo.

3.4 Herramientas

Tras detallar la teoría fundamental en la que se basa el presente documento, se definirán las herramientas empleadas en el análisis. En particular, se explicarán las herramientas utilizadas para analizar tanto la empresa como sus problemas específicos. Estas herramientas incluyen BPMn, la tabla ES/NO ES, diagrama de Ishikawa, los 5 porqués y el VSM.

3.4.1 Representación gráfica de procesos BPMn

La metodología Business Process Model and Notation (BPMN) es una notación gráfica diseñada para describir la lógica secuencial de un proceso de negocio. Su principal objetivo es ser comprendida por todos stakeholders del proceso, proporcionando un lenguaje claro, común y efectivo que permite comunicar los procesos de forma completa y eficiente. Iniciada en 2004 y actualizada en 2010 con la versión 2.0 (García Ortega, B., 2021), BPMN ha sido adoptada como un estándar internacional de modelado de procesos que ayuda a reducir la brecha entre los procesos de negocio y su implementación. (White & Derek, 2009)

Las principales ventajas de BPMN incluyen su capacidad para ofrecer una representación visual detallada de todas las actividades e información que fluyen a lo largo del proceso. Permite distinguir entre diferentes participantes, ya sean entidades diferenciadas (como empresa y cliente) representadas en piscinas o "pools", o diferentes departamentos de la misma empresa representados en carriles o "lanes". Este sistema también facilita la visualización de las interacciones entre los distintos participantes.

Los elementos básicos de BPMN se dividen en:

Objetos de flujo: Piezas que forman el flujo de trabajo general, subdivididos en tres categorías:

- **Eventos:** Marcan puntos de inicio, intermedio o final del proceso.
- **Actividades:** Representan tareas específicas que se realizan en un instante del proceso.
- **Compuertas:** Señalan puntos de decisión en el flujo del proceso.

En la Figura 6 muestra los principales objetos que se utilizan en el BPMn.

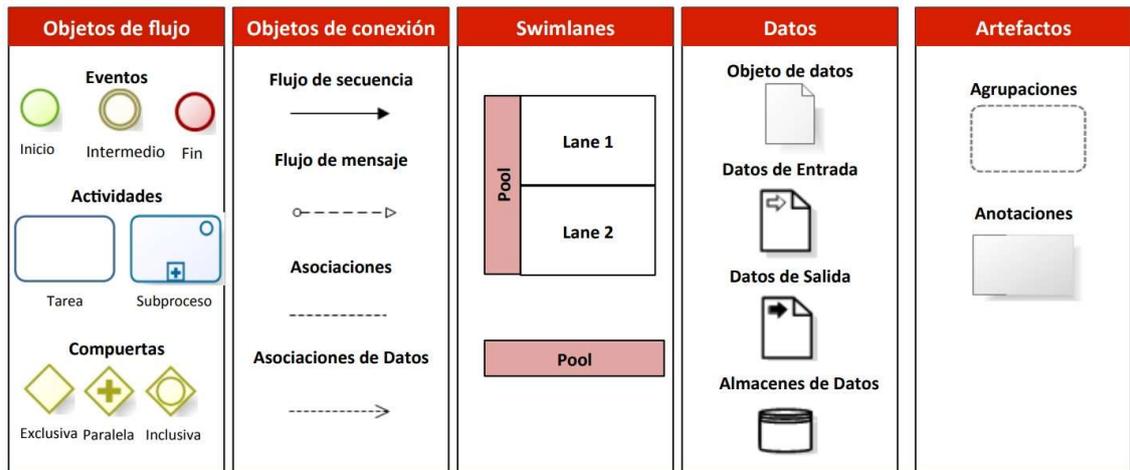


Figura 6: Principales objetos del BPMn 2.0. Fuente: Elaboración propia

3.4.2 Técnicas para identificar la causa raíz

Una vez identificados los problemas y detallado el registro de incidencias indicando la situación inicial, las zonas afectadas, los posibles impactos, las posibles acciones de mejora y la prioridad del problema. Se emplean varias técnicas para identificar la causa raíz.

3.4.2.1 La tabla ES/ NO ES.

La tabla ES/NO ES es una herramienta utilizada en la identificación y análisis de problemas. Su principal objetivo es definir con claridad lo que un problema es y lo que no es, permitiendo así una mejor comprensión de sus características y facilitando la búsqueda de soluciones.

La tabla se organiza en tres columnas detallado en la Figura 7. La primera columna incluye preguntas clave que ayudan a delimitar el problema: ¿Qué?, ¿Dónde?, ¿Cuándo?, ¿Cuánto? (con qué frecuencia), y ¿Cómo se detecta?. Estas preguntas guían el análisis inicial y aseguran que todos los aspectos relevantes del problema sean considerados. Las dos columnas restantes se utilizan para completar la información de manera clara y concisa, detallando lo que el problema es (columna "ES") y lo que no es (columna "NO ES").

	El problema que vamos a analizar ES	No Es (no significa que no sea problema, sólo que no lo vamos a analizar ahora)
Qué?		
Dónde?		
Cuándo?		
Cuánto?		
Cómo se detecta o produce ?		

Figura 7: Herramienta ES/NO ES. Fuente: Resolución sistemática de problemas, UPV.

3.4.2.2 Diagrama de Ishikawa

Desarrollado originalmente en los años 40 por Kaoru Ishikawa en Japón, el diagrama causa-efecto es una herramienta gráfica de análisis que permite al usuario visualizar los factores que influyen en el resultado final. es una herramienta gráfica de análisis que permite al usuario visualizar los factores que intervienen en una situación determinada. (Ishikawa, 1990)

La estructura del diagrama consiste en una línea horizontal central, que representa el problema o efecto identificado. A partir de esta línea central, se ramifican posibles causas del problema, clasificadas generalmente en seis categorías principales: hombre, máquina, entorno, material, método y medida. Cada una de estas categorías puede subdividirse en causas secundarias, lo que permite profundizar en las razones específicas que pueden estar contribuyendo al problema.

El diagrama de Ishikawa facilita la localización de la causa raíz del problema, permitiendo un análisis detallado de cada aspecto que forma parte del contexto en el que se presenta el problema. Es importante para implementar soluciones efectivas una vez conocido el origen del problema. En la Figura 8 se muestra un ejemplo de plantilla del diagrama.

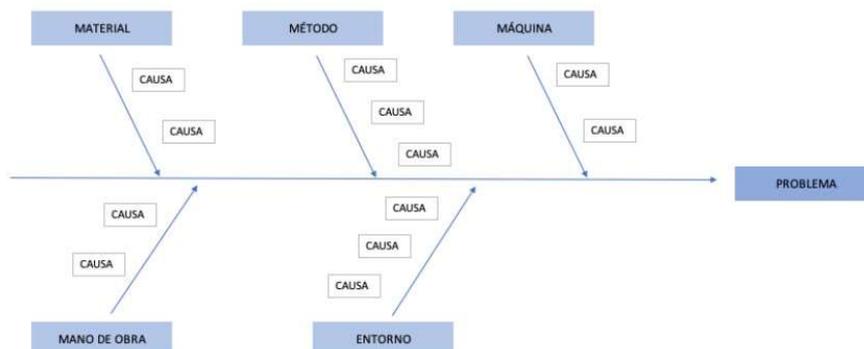


Figura 8: Herramienta diagrama de Ishikawa. Fuente: elaboración propia.

3.4.2.3 Método de los 5 porqués

El método de los 5 Porqués representado en la Figura 9 es un método para buscar las causas más profundas y sistemáticas de un problema y luego encontrar las correspondientes contramedidas con más profundidad. Fue desarrollado por Sakichi Toyoda, fundador de Toyota, y se implementó como parte del enfoque de Lean Manufacturing en el Toyota Production System (TPS). (Holweg & Bicheno, 2009)

La técnica consiste en preguntar "¿Por qué?" repetidamente, generalmente cinco veces, para profundizar en la relación causa-efecto y llegar a la causa fundamental del problema.

El proceso comienza identificando el problema clave y formulando una pregunta inicial sobre por qué ocurre. La respuesta a esta pregunta se transforma en una nueva pregunta "¿Por qué?" y así sucesivamente. Es un método flexible y puede adaptarse según la complejidad del problema; en algunos casos, pueden ser necesarias más o menos de cinco preguntas para llegar a la causa raíz.

Una de las principales ventajas del método de los 5 Porqués es su simplicidad y eficacia. No requiere herramientas complejas y puede aplicarse rápidamente para resolver problemas en diferentes áreas de una organización. Una vez identificada la causa raíz, se pueden desarrollar y aplicar planes de acción específicos para resolver el problema de manera definitiva.

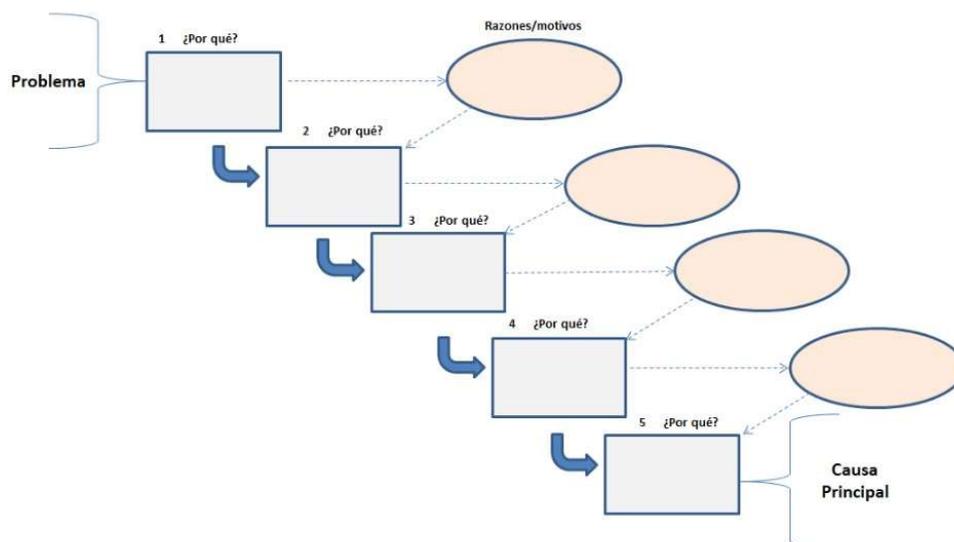


Figura 9: Método de los 5 porqués. Fuente: elaboración propia.

3.4.3 Trazabilidad

Los sistemas de codificación son esenciales para identificar personas, productos y máquinas permitiendo que la información relacionada a los mismos pueda ser comunicada, almacenada y usada estos mismos elementos. (García Sabater, 2024)

La trazabilidad hace referencia a la capacidad de conocer los diferentes lugares y condiciones del entorno por el que un producto ha pasado a lo largo de la cadena de suministro.

3.4.3.1 Códigos de trazabilidad

Para asegurar una trazabilidad efectiva del producto, es fundamental emplear una codificación específica que posibilite su seguimiento a lo largo de toda la cadena de suministro.

- **Códigos de barras**

El código de barras es esencialmente una forma sencilla de representar números y letras, utilizando una codificación similar al "morse" que permite ser "visto y leído" de manera muy eficaz y eficiente por las máquinas.

Aunque no es el único método que las máquinas tienen para leer productos, los códigos de barras han ganado una relevancia considerable, convirtiéndose en un estándar difícilmente superable por otras tecnologías. Su facilidad para capturar datos, el bajo coste de impresión y la rápida estandarización de los números a utilizar, facilitada por asociaciones como UCC y EAN (ahora GS1), han contribuido a su adopción generalizada.

Los códigos de barras han evolucionado con el tiempo, incluyendo variantes más avanzadas como los códigos QR, que pueden almacenar una mayor cantidad de información y ser leídos por dispositivos móviles, aumentando aún más su versatilidad y uso en distintos sectores.

- **RFID, códigos bidimensionales y otros modos de identificar**

La identificación por radiofrecuencia (RFID) está ganando popularidad debido a su versatilidad. Es importante destacar que existen etiquetas RFID activas y pasivas, las cuales generan una cantidad significativa de información, a menudo difícil de gestionar. Además, existen sistemas de codificación bidimensional como datamatrix, regulados por el estándar ISO 16022, y los códigos BIDI o QR, estos últimos con la ventaja de formar parte del ecosistema de código abierto.

RFID permite el seguimiento de objetos en tiempo real sin necesidad de una línea de visión directa, lo que mejora la eficiencia en la gestión de inventarios y logística.

Los códigos QR, por su parte, no solo son fáciles de generar y escanear, sino que también pueden contener enlaces a sitios web, información de contacto y otros datos multimedia, lo que los hace extremadamente útiles en marketing y comunicación digital.

3.5 Conclusiones

En este capítulo, se han introducido los conceptos teóricos necesarios para comprender los fundamentos del documento. El enfoque principal ha sido el lean manufacturing y las herramientas que se utilizarán para analizar los problemas de la empresa. De este modo, se completa el contexto del trabajo, tal como se hizo en el capítulo anterior al detallar el entorno de la empresa.

En el próximo capítulo, se analizarán la empresa y su proceso productivo con el fin de identificar los principales problemas y buscar posibles oportunidades de mejora en los talleres de calderería y pintura.

4. ANÁLISIS DETALLADO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

4.1 Introducción

Tras exponer el marco teórico y describir la empresa, se detallará la situación actual de los procesos de producción en los talleres de calderería y pintura. Este capítulo se centrará en realizar un análisis exhaustivo de ambos talleres, describiendo detalladamente sus operaciones para identificar las incidencias presentes.

Para una visión global del taller, se empleará la metodología VSM (Value Stream Mapping), lo que permitirá detectar y disminuir actividades que no aportan valor al cliente. Además, se describirá cada taller en profundidad para asegurar una mayor comprensión de las operaciones y sus problemas.

Una vez aplicada la metodología VSM, se utilizarán herramientas clave para la detección de problemas, como el diagrama de Ishikawa, los 5 porqués y la tabla ES/No es. Estas herramientas ayudarán a evaluar las incidencias detectadas en la empresa, valorar su impacto y plantear posibles oportunidades de mejora.

4.2 Descripción detallada de los talleres

Para identificar los problemas en los talleres de pintura y calderería, primero es necesario desarrollar en profundidad los procesos de producción. Es importante destacar que la empresa ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años, y ambas naves se construyeron originalmente para fabricar un máximo de cinco cajas al mes.

4.2.1 Proceso de calderería

El proceso de calderería se realiza en diferentes naves, distinguiéndose entre la fabricación de cajas de acero y de aluminio. La principal nave de calderería, detallada en el primer capítulo de la descripción de la empresa, se dedica a la fabricación de la estructura de las cajas de locomotoras, constituyendo la primera etapa del proceso de producción. Esta nave tiene una longitud de 100 metros, lo que permite un flujo de producción lineal y eficiente.

Fases de producción de las cajas

1. Fabricación del bastidor:

El bastidor, que forma la base de las cajas, es el componente estructural principal que soporta el peso de toda la caja y sus contenidos.

Incluye la fabricación de los cabeceros, la traviesa pivote, los largueros y la traviesa transversal. Cada uno de estos componentes es esencial para la integridad estructural y funcionalidad del bastidor.

Estas partes se fabrican por separado muchas veces en empresas subcontratadas y realizan procesos de corte y conformado. Esto asegura que cada pieza tenga las dimensiones exactas requeridas para el ensamblaje.

2. Conformado y soldadura de piezas:

Una vez fabricadas las piezas individuales, se realiza el conformado para darles la forma final necesaria para el ensamblaje. Este proceso puede incluir doblado, prensado y moldeado según las especificaciones del diseño.

Las piezas conformadas se sueldan tanto manualmente como con robots. La soldadura manual es realizada por operarios altamente calificados para asegurar la precisión en las áreas más complejas, mientras que los robots se utilizan para las uniones más repetitivas y largas, garantizando la consistencia y la solidez de las uniones.

3. Fabricación de la estructura cubierta:

Esta fase implica la fabricación de las estructuras laterales y el testero. Las estructuras laterales proporcionan la rigidez y soporte lateral de la caja, mientras que el testero, que es la parte frontal y trasera de las cajas es la que posteriormente se conectará a las cabinas.

4. Montaje final:

Una vez todas las piezas y componentes están fabricados y conformados, se procede al ensamblaje final de la estructura de la caja. Este ensamblaje asegura que todas las partes encajen correctamente y que la estructura sea robusta y estable.

5. Inspección de calidad:

Cada etapa del proceso de producción incluye inspecciones de calidad para asegurar que las piezas y la estructura final cumplan con los estándares de calidad y las especificaciones técnicas requeridas.

Las estructuras ensambladas pasan por pruebas de resistencia y durabilidad para garantizar su fiabilidad en operación.

A continuación, se muestra en la Ilustración 10 la estructura completa de una caja de locomotoras.



Ilustración 10: Caja ensamblada en blanco. Fuente: Elaboración propia.

Los tiempos de producción de las cajas varían significativamente según el tipo de proyecto. En el caso de las locomotoras, la fabricación se realiza completamente desde cero. Este proceso implica la producción de todas las piezas y componentes internamente, lo cual resulta un tiempo de estadía aproximadamente de 4 meses para completar una locomotora.

Por otro lado, las cajas de los trenes de pasajeros siguen un enfoque diferente. En estos proyectos, cada pieza de la caja proviene de empresas subcontratadas. El papel de la empresa principal es ensamblar las partes que llegan a la fábrica. Este enfoque de ensamblaje reduce considerablemente el tiempo de producción. Una vez que las piezas llegan a la fábrica, la fabricación de la caja de un tren de pasajeros se encuentra entre 20 y 25 días.

Los largos tiempos de fabricación de una locomotora implican una limitada capacidad de reacción del taller para modificar el plan de producción. Este factor reduce la flexibilidad y la capacidad de respuesta ante cambios imprevistos y nuevos acuerdos con los clientes. Esta cuestión se aborda con más detalle en el apartado de incidencias más adelante.

4.2.2 Proceso de pintura

El proceso de producción de pintura está limitado por los tiempos requeridos para cada actividad, ya que los procesos químicos necesitan sus respectivos tiempos de secado y operación, los cuales no pueden reducirse a la mitad ni siquiera con la adición de más mano de obra. No obstante, como se analizará más adelante, existen mejores que podrían implementarse.

Actualmente se pintan en interno todas las locomotoras y parte de los trenes de pasajeros. El resto de los trenes se pintan en empresas subcontratadas como “Caleblas”.

El proceso de producción de pintura comienza una vez que la caja en blanco ha sido fabricada en la nave de calderería. Si en alguna semana el taller de calderería no termina ninguna caja y no hay cajas almacenadas, el proceso de producción de pintura se detiene, lo que supone una pérdida para toda la fábrica.

Hay dos tipos de material que separa la producción, caja de acero y caja de aluminio, las cuales se tratan por separado en la primera etapa de pintura para evitar la contaminación cruzada.

Se identifican siete actividades de pintura, cuyos tiempos varían según el tipo de proyecto, la cantidad de colores finales requeridos y el material de la caja. Actualmente, el taller opera en tres turnos, incluyendo fines de semana y festivos, si un proyecto lo requiere.

- La primera actividad de pintura es el granallado, la cual es actualmente la etapa más crítica del proceso.

Disponen de dos cabinas de granalla, una para las cajas de hierro y otra para las de aluminio. El tiempo de granalla robot son 4 turnos, es decir 1 día y medio, distribuidos en dos turnos de chorro con robot, otro de chorro manual y uno de limpieza. El tiempo de ciclo del granallado aluminio es de 12 -16 turnos, pero esto no representa un cuello de botella debido a la menor cantidad de proyectos que requieren esta cabina.

El granallado es una técnica de limpieza y afinado de superficies, en la que se proyecta el polvo corindón a presión contra la superficie para eliminar restos de oxidación y residuos. El robot de granallado requiere mantenimiento preventivo cada 35 horas de operación, lo cual implica 1-2

turnos de parada, debido al desgaste de la manguera más usada, ya que el corindón es un material altamente abrasivo que afecta la cabina.

- La segunda actividad de la fase de pintura es la **imprimación**.

La imprimación tiene como función principal proporcionar una superficie uniforme que permita una adecuada adhesión de la pintura aplicada posteriormente y además ofrece una protección anticorrosiva esencial. El tiempo de ciclo de esta actividad es de 1 turno realizada por 3 operarios. Es importante que no haya demora entre la fase de granallado e imprimación, ya que el granallado tiene un tiempo de vida, y si se excede, la caja podría dañarse.

- La siguiente etapa es la de repaso y sellado.

En esta fase, se sellan todos los solapes de soldadura con un adhesivo especial para evitar la entrada de oxígeno. El tiempo de ciclo es de 3 días, ya que se deben sellar el techo, el bajo bastidor y el interior.

- Masilla se aplica después de la etapa de imprimación.

Se aplica masilla, que luego se calienta y se lija para preparar la superficie de la caja para la pintura de colores.

- La etapa final es la de pintado de color, donde cada proyecto se personaliza según los requerimientos del cliente.

Esta fase puede variar considerablemente en duración según la cantidad de colores que requiera cada vehículo, ya que se necesita tiempo para enmascarar las áreas que no se desean pintar, aplicar el color, secarlo y repetir el proceso para cada color. Cabe destacar que todo el proceso es manual, y si un operario comete un error con el color o al marcar las líneas, el proceso debe repetirse.

Después de la última etapa, la caja pasa por una inspección de calidad, donde se identifican y marcan los puntos que necesitan ser corregidos por los operarios. Si se trata de una primera unidad, se realiza una FAI (First Article Inspection) interna, seguida de una CFAI (Customer First Article Inspection), que es una inspección por parte del cliente.

Finalmente, la caja se envía a las vías de acabados. Si el equipamiento se ha retrasado y no se necesita la unidad en los próximos días, la caja se envía a los almacenes intermedios de la empresa.

4.3 Proceso de fabricación (BPMn 2.0)

Para entender a fondo el funcionamiento de las estaciones en las que se basará el trabajo, se ha utilizado varias técnicas. En primer lugar, la alumna realizó un mes de observación directa para analizar la forma de trabajo de los empleados, la comunicación entre departamentos y la interacción con los jefes de taller. Tras familiarizarse con los procesos de negocio, se elaboraron modelos detallados de Business Process Model and Notation (BPMN), especializados para cada taller.

El proceso comienza con el departamento de planificación, que coordina con el resto de la producción y conoce las prioridades de los proyectos, incluyendo aquellos que suelen retrasarse por falta de materiales o premontajes, y aquellos que deben cumplir estrictamente con las fechas

de finalización. El departamento de planificación informa al encargado del taller de pintura sobre estas prioridades.

En el taller de pintura, el proceso se inicia recibiendo del departamento de planificación el orden de prioridades de las cajas en blanco. La entrada a la cabina de granalla, la primera etapa del proceso de pintura, es la fase más crítica, por lo que es fundamental establecer una secuencia que minimice los retrasos en las cajas pintadas.

Una vez que el encargado de pintura tiene clara la secuencia de cajas, verifica con el departamento de calderería si la caja está realmente disponible, ya que el departamento de planificación ya ha considerado la disponibilidad de las cajas en blanco. Esto asegura que no haya turnos en los que ninguna caja ingrese a la cabina de granalla. Si la caja está disponible, se inicia el proceso de pintura.

Cada etapa del proceso de pintura incluye una inspección de calidad para que se pueda realizar un reproceso de la capa que se acaba de pintar y que no pase a la siguiente etapa. Este proceso se ha simplificado dejando únicamente la inspección de calidad final, que es realizada por un departamento externo.

Una vez que la caja supera la fase de calidad, se notifica al departamento de planificación que la caja está terminada. A continuación, se estima el tiempo que la caja necesitará en la siguiente etapa de producción para determinar si debe ser enviada a un almacén intermedio o directamente a la siguiente estación de montaje. Si la necesidad de acabados supera los dos días, se busca un almacén intermedio disponible para solicitar el transporte y enviar la caja. Si la necesidad es al día siguiente, la caja se envía al taller correspondiente, ya sea interno o externo. En la Figura 10 se muestra el proceso BPMn 2.0 explicado anteriormente.

ANÁLISIS DETALLADO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

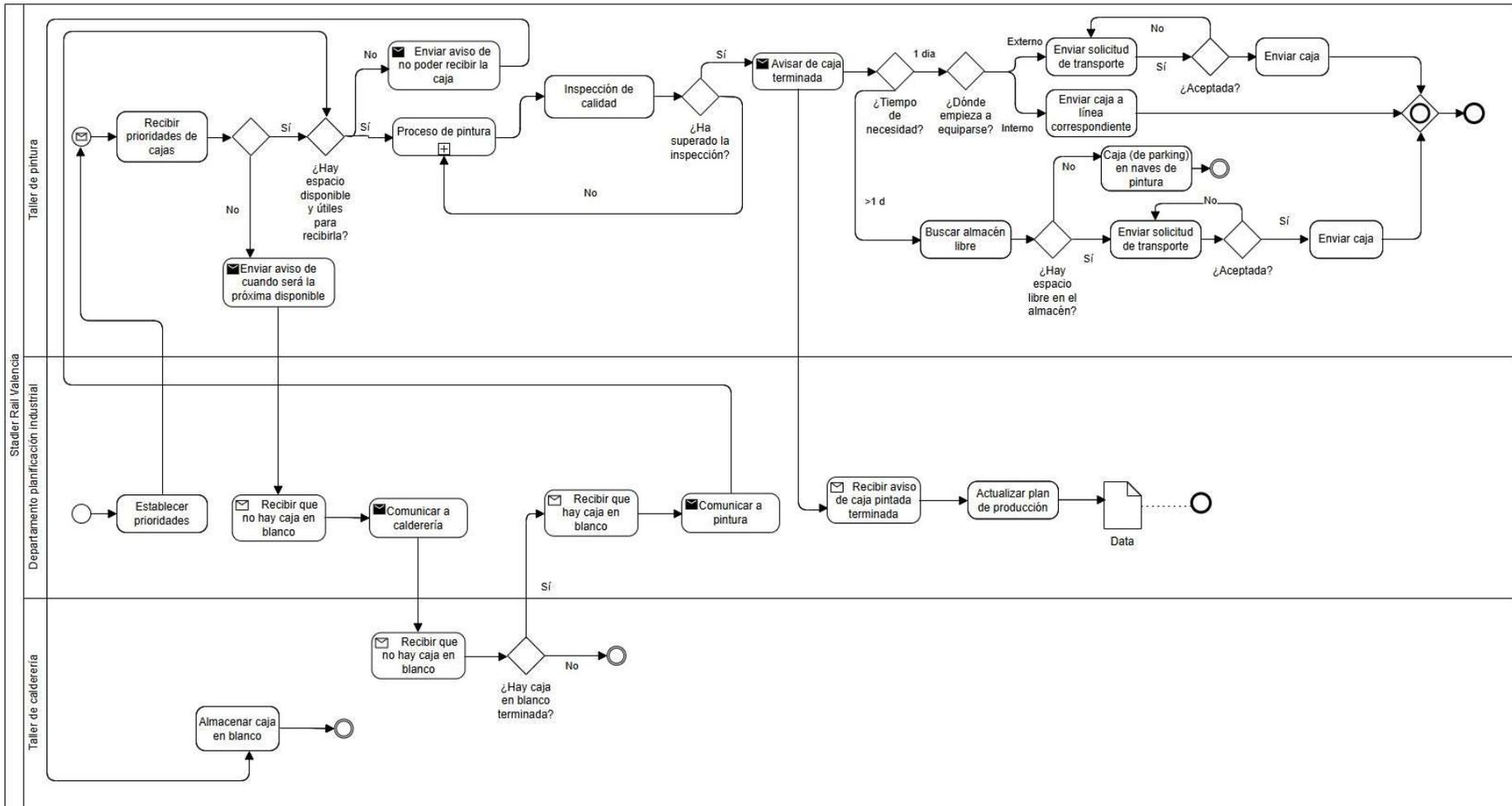


Figura 10: BPMn 2.0 de la empresa. Fuente: Elaboración propia.

4.4 Layout

Las naves de Stadler Rail Valencia han experimentado un crecimiento significativo en los últimos años debido al gran volumen de proyectos que maneja la empresa. Sin embargo, el taller de pintura no ha crecido en la misma proporción que otras secciones, y su distribución en planta no está diseñada para manejar el volumen de trabajo requerido por la empresa.

En la Ilustración 11 se muestra la distribución en planta de la zona del taller de pintura.

Las vías del taller de pintura son de la 9 a la 32, incluyendo la nueva cabina de pintura GEINSA. Las primeras 8 vías forman parte de la zona de ensayos, lo que interrumpe el flujo de producción del taller. Como se ha mencionado anteriormente, el polígono de Albuxech fue construido hace veinte años, y en ese entonces, la empresa no tenía tanto volumen de producción. A medida que la empresa fue creciendo, se construyeron naves adicionales conforme a la necesidad, sin considerar una distribución óptima de la planta para todas las secciones.

El taller de pintura dispone de dos cabinas de granalla: la "CLEMCO" para cajas de hierro, ubicada en la vía 25, y la "SINVA" para cajas de aluminio, ubicada en la vía 15. Las vías 13, 14 y 21 están dedicadas a las cabinas de toscado, utilizadas para actividades de masillado, lijado y repaso y sellado.

Además, el taller cuenta con cuatro cabinas de pintura: Martech 1, 2 y 3, y la cabina GEINSA, que por su longitud de 43 metros puede acoger dos cajas, contando como dos cabinas. Estas cabinas están dedicadas al enmascarado y pintado de colores.

Las vías de la 9 a la 12 están reservadas para procesos manuales que requieren destreza, como el repaso de sellado y repaso de colores, donde se realiza la inspección de calidad de las distintas etapas.

Por último, las vías auxiliares de la 26 a la 32, que también pueden albergar dos cajas cada una, tienen la misma función que las otras vías para actividades de repaso de sellado y repaso de colores.

Como se puede observar, las cajas deben pasar por varios procesos y cabinas, y el flujo no es lineal. Esto significa que cada vez que un coche avanza de un proceso a otro, debe salir de su vía actual, desplazarse transversalmente, y entrar en la vía correspondiente.

El transporte de las cajas entre naves se realiza mediante transbordadores ferroviarios. La empresa dispone de tres transbordadores en estas vías, cada uno con una capacidad de 150 toneladas. Estos transbordadores se destacan por su seguridad, facilidad de desplazamiento y rapidez.

ANÁLISIS DETALLADO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

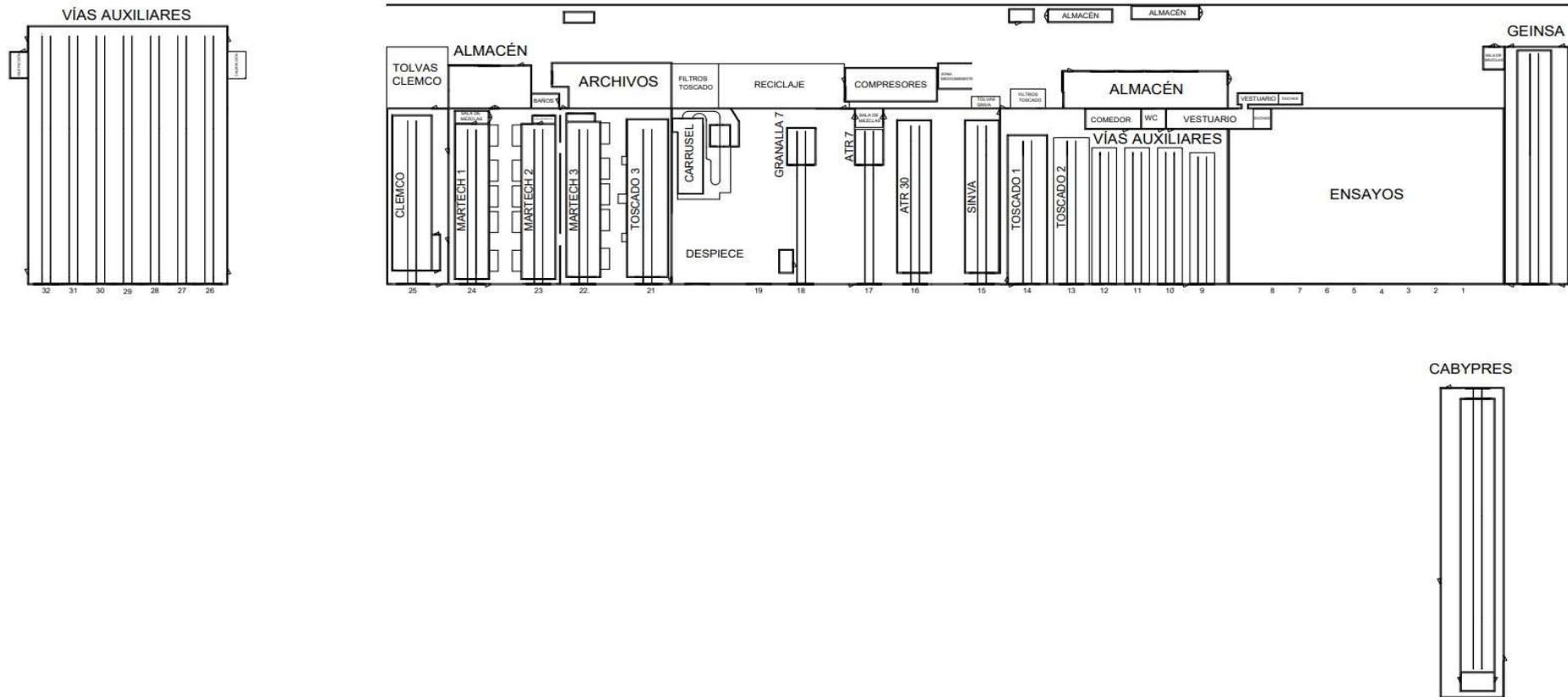


Ilustración 11: Distribución en planta de las naves de pintura. Fuente: Stadler Rail Valencia

4.5. Representación actual del taller VSM

El Value Stream Mapping es una técnica gráfica que permite visualizar todo el proceso y comprender el flujo de operaciones necesario para que un producto o servicio llegue al cliente. Esta herramienta ayuda a identificar las actividades o etapas que no añaden valor al proceso, con el objetivo de eliminarlas posteriormente.

4.5.1. Selección de la familia para el VSM

Dado que es necesario realizar un VSM para cada producto y que la empresa actualmente cuenta con alrededor de 50 proyectos distintos, es crucial seleccionar un proyecto representativo de la factoría. Este proyecto debe pasar por los principales procesos de la empresa y ser un producto con un alto volumen de ventas, con proyección de continuidad y que esté en producción en el momento actual. Por lo tanto, se ha llevado a cabo una clasificación de los proyectos, agrupando aquellos que comparten procesos y etapas de actividades similares.

Por tanto, se ha elegido representar el proyecto de VDV, el cual implica la fabricación de un gran volumen de unidades y se encuentra en producción actualmente. Además, este tren atraviesa todos los procesos principales de pintura, incluyendo uno adicional.

El envío del pedido puede proceder directamente desde la nave de calderería, donde se fabrica la estructura de la caja, o desde algún almacén de la empresa. La estrategia predominante en calderería es de tipo push, lo que implica la fabricación continua de cajas sin la solicitud específica del cliente. Esta estrategia se justifica por la naturaleza cambiante de la planificación de producción y las largas estadias de fabricación. De forma continua, los acuerdos de los clientes varían por lo que la necesidad de una caja urgente puede haber disminuido, pero la caja ya está terminada y debe ser enviada para mantener el flujo de producción sin interrupciones.

Al recibir la caja, se deposita en una vía libre del taller de pintura para su posterior preparación y transporte a la cabina de granallado.

El proceso de prechorreado es una actividad exclusiva del proyecto VDV, debido a la deformación de la estructura lateral de la caja. Se ha agregado esta etapa junto con una posterior de calibrado para inspeccionar la integridad de la caja. Esta actividad comienza cuando la caja llega a la cabina de granallado y tiene una duración de 1 turno, es decir, 8 horas.

El proceso de chorreado implica que la caja entre y salga de la cabina de granallado por dos razones: primero, para inspeccionar la integridad de la caja y confirmar que no ha sufrido daños, y segundo, porque la cabina de granallado, al ser la estación más crítica, necesita estar en funcionamiento de manera continua. En la Figura 11 se muestra un VSM del taller de pintura resaltando los procesos que no aportan valor al cliente y así poder disminuirlo en la manera de los posible.

ANÁLISIS DETALLADO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

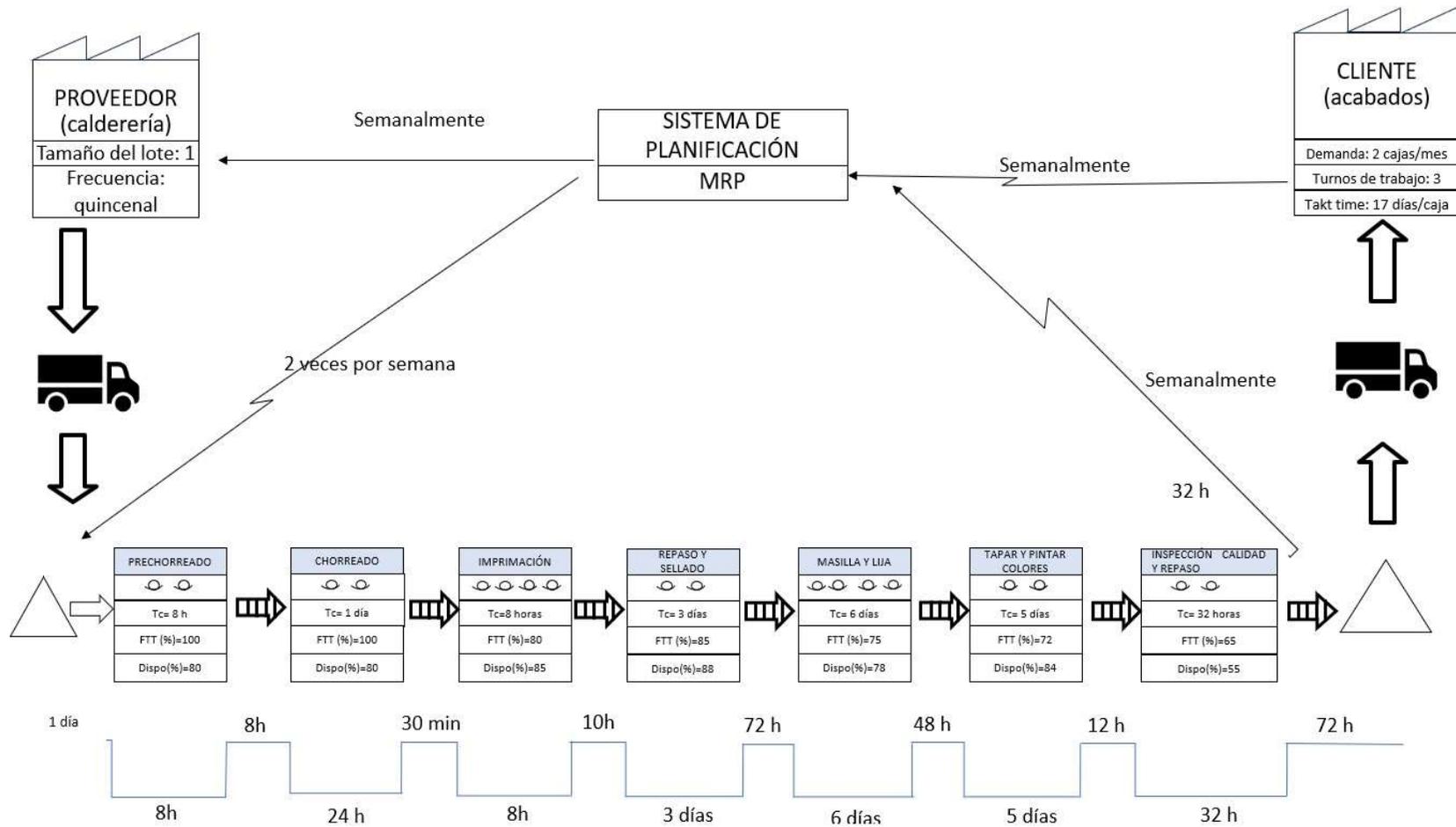


Figura 11: Representación de VSM del proyecto VDV. Fuente: Elaboración propia

4.5.2. Análisis de los problemas detectados

El principal objetivo de construir un VSM es identificar problemas y detectar oportunidades de mejora.

El primer problema detectado es del control de la producción. Las prioridades de los proyectos se determinan según las necesidades del cliente, por lo tanto, seguidas por las necesidades del equipamiento. Sin embargo, estas prioridades varían semanalmente, lo que resulta que muchas de las cajas que suministra el taller de calderería no se necesitan de inmediato y deben almacenarse.

Actualmente la capacidad en los talleres de producción (de calderería y de pintura) es muy limitada, lo que obliga a buscar almacenes intermedios que ya están saturados de manera continua.

Otro problema identificado es el tiempo de esperas entre actividades, debido a las numerosas maniobras que se deben de realizar por cada caja, siendo un mínimo de 12 maniobras, lo que aumenta así el tiempo de entrega al cliente.

Además, se destaca la falta de coordinación entre departamentos. La información proporcionada del proveedor es poco fiable, ya que frecuentemente se espera la llegada de estructuras de cajas que no llegan según lo previsto, desorganizando el plan de entrada en pintura y provocando así el retraso en las entregas.

4.5.3. Análisis y evaluación de impacto

A continuación, se detallarán los problemas detectados en el VSM. Se utilizará la plantilla (Tabla 2) para registrar y analizar el impacto de cada problema, cuantificarlos, proponer acciones de mejora y establecer su prioridad. Para identificar la causa raíz de los problemas, se emplearán el diagrama de Ishikawa, el método de los cinco porqués y la técnica ES/NO ES.

Informe de problema/incidencia observada	N.º:
Título	
Descripción	
Zona de trabajo afectada	
Impacto	
Como cuantificar o medir este problema	
Posibles soluciones o acciones de mejora	
Prioridad de actuación	

Tabla 2: Plantilla ejemplo de registro de incidencia. Fuente: Elaboración propia.

4.5.3.1. Problema 1: Almacenes saturados

Registro de incidencia

Informe de problema/incidencia observada	N.º: 1
Título	
Almacenes saturados	
Descripción	
Disponen de almacenes intermedios que se encuentran saturados la mayor parte del tiempo.	
Zona de trabajo afectada	Taller de pintura y acabados
Impacto	
Al no poder almacenar las cajas pintadas no pueden recibir nuevas cajas para pintar ya que hay un máximo de cajas en alto del taller, lo que implica un problema del flujo de producción.	
Como cuantificar o medir este problema	
Retrasos de cajas por cajas pintadas/blanco, tiempo de cajas de parking en taller de pintura.	
Posibles soluciones o acciones de mejora	
Posibilidad de apilar los bogíes en varias alturas, plantear la posibilidad de ampliar o abrir un nuevo almacén.	
Prioridad de actuación	Alta

Tabla 3: Registro de incidencia número 1. Fuente: Elaboración propia.

TABLA ES/NO ES

	ES	NO ES
¿QUÉ?	Los almacenes intermedios se encuentran saturados.	Falta de material.
¿DÓNDE?	Taller de pintura.	Resto de talleres de producción.
¿CUÁNDO?	Al finalizar las cajas pintadas.	Al inicio del proceso de pintura
¿CUÁNTO?	Semanalmente.	
¿CÓMO SE DETECTA?	Cuando solicitas transporte de una caja y rechazan la solicitud.	Informe de inventario.

Tabla 4: Tabla ES/ NO ES de la incidencia número 1. Fuente: Elaboración propia.

Causa raíz:

El problema de los almacenes saturados afecta a toda la fábrica. Los trabajadores saben que una saturación de los almacenes impacta en toda la línea de producción. Si el taller de pintura no puede enviar ninguna caja terminada, no puede recibir cajas del taller de calderería, lo que detiene la producción en ambas secciones.

Por este motivo, es importante identificar la causa principal del problema. Dado que hay muchas posibles causas, todas ellas afectando en mayor o menor medida, se ha elaborado un diagrama de Ishikawa para centrarnos en la causa que genera más problemas. Posteriormente, se ha profundizado en dicho problema utilizando la técnica de los 5 porqués, como se detalla en la Figura 12.

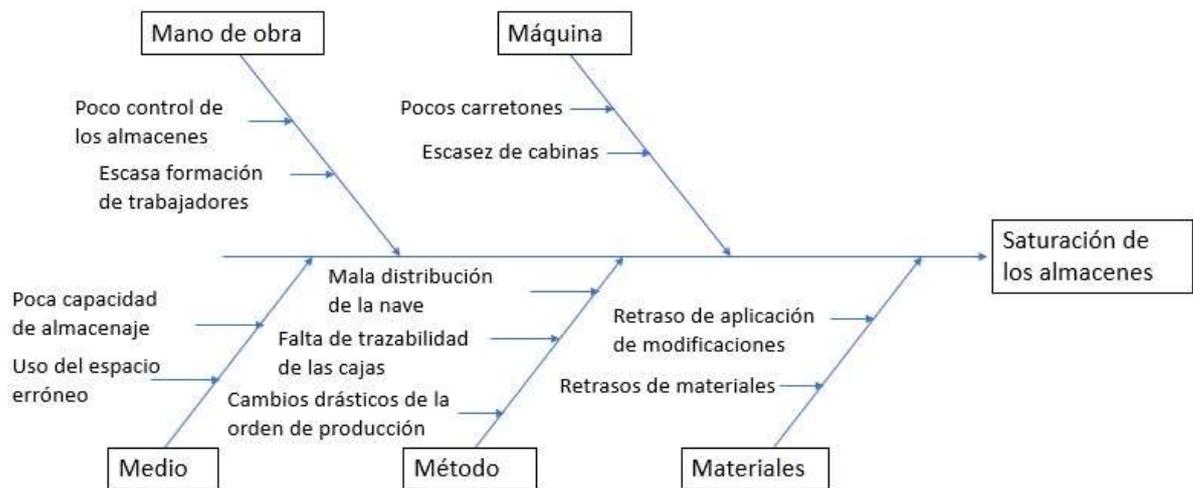


Figura 12: Diagrama de Ishikawa de la incidencia número 1. Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS DETALLADO DE LA SITUACIÓN ACTUAL



Figura 13: Diagrama cinco porqués del problema 1. Fuente: Elaboración propia.

Conclusión:

El problema de los almacenes saturados en el taller de pintura y acabados se debe a una mala distribución del espacio, principalmente ocupado por bogíes almacenados de uno en uno. Esta situación provoca que no haya suficiente espacio para almacenar las cajas pintadas, lo que impide recibir nuevas cajas para pintar y genera un problema en el flujo de producción. La falta de una estructura adecuada para apilar los bogíes agrava el problema, ocupando mucho espacio con poco volumen.

Para resolver este problema, se exploraron varias soluciones. Inicialmente, se consideró la opción de utilizar un nuevo almacén externo en Puerto de Sagunto, pero fue descartada debido a las condiciones climatológicas adversas para las locomotoras pintadas. Posteriormente, se visitaron los almacenes actuales y se observó la gran cantidad de espacio ocupado por los bogíes. Se planteó la posibilidad de apilarlos en varias alturas mediante la construcción de estructuras adecuadas, lo que podría liberar hasta un tercio del espacio del almacén.

Aunque esta solución requiere tiempo para implementarse debido a la falta de herramientas necesarias, se prevé que en el corto plazo podría mejorar significativamente la capacidad de almacenamiento y optimizar el flujo de producción.

4.5.3.2. Problema 2: interrupción de la producción

Registro de incidencia

Informe de problema/incidencia observada	Nº: 2
Título	
Interrupción de la producción	
Descripción	
La falta de cajas terminadas por calderería, impide que entre cajas a granalla robot y algunos turnos de trabajo está la maquina ociosa cuando realmente es la etapa más crítica.	
Zona de trabajo afectada	Taller de pintura y de acabados.
Impacto	
Provoca que haya días posteriores de sobre producción, de tal forma que pintura sea incapaz de hacer frente.	
Como cuantificar o medir este problema	
Controlar la entrada y salida de cajas en blanco al taller de pintura.	
Posibles soluciones o acciones de mejora	
Afianzar mejor relación con los proveedores, implantar un ERP.	
Prioridad de actuación	Media

Tabla 5: Registro de incidencia número 2. Fuente: Elaboración propia.

	ES	NO ES
¿QUÉ?	La producción se interrumpe debido a la falta de cajas en blanco terminadas.	Falta de material.
¿DÓNDE?	Taller de pintura.	Resto de talleres de producción.
¿CUÁNDO?	Cuando no hay ninguna caja que entre a la cabina de granalla.	La producción continúa sin interrupciones.
¿CUÁNTO?	La máquina de granallado robot queda ociosa en algunos turnos	
¿CÓMO SE DETECTA?	En las reuniones con el taller de calderería y se comunica un retraso no programado en la planificación.	

Tabla 6: Tabla ES/ NO ES de la incidencia número 2. Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS DETALLADO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Causa raíz:



Figura 14: Diagrama cinco porqués del problema 2. Fuente: Elaboración propia.

Conclusión:

El problema de la interrupción de la producción ocurre porque el taller de calderería no entrega suficientes cajas cada semana, lo que se debe a retrasos en la llegada de materiales. Estos retrasos ocurren porque no hay un buen seguimiento ni control de los materiales, ya que no se utiliza un sistema ERP para gestionar las relaciones con los proveedores.

Implementar un sistema de ERP, que gestione y siga de forma continua los pedidos de los materiales y la relación con los proveedores, asegurando que siempre haya materiales disponibles para la producción.

4.5.3.3. Problema 3: cantidad elevada de maniobras

Registro de incidencia.

Informe de problema/incidencia observada	Nº: 3
Título	
Cantidad elevada de maniobras	
Descripción	
Se pierde mucho tiempo maniobrando para que las cajas vayan de una actividad a otra.	
Zona de trabajo afectada	Taller de pintura
Impacto	
Provoca pérdidas de tiempo y que el tiempo de operación de pintura de una caja aumente, lo que puede provocar un retraso en la siguiente estación.	
Como cuantificar o medir este problema	
Número de maniobras de cada caja.	
Posibles soluciones o acciones de mejora	
Plantear una nueva distribución en planta del taller de pintura, realizar un plan de mejora del movimiento de cajas y secuenciar las actividades.	
Prioridad de actuación	Alta.

Tabla 7: Registro de incidencia número 3. Fuente: Elaboración propia.

	ES	NO ES
¿QUÉ?	Número elevado de maniobras para trasladar cajas de una actividad a otra.	Mala formación de los empleados.
¿DÓNDE?	Taller de pintura.	Resto de taller de producción.
¿CUÁNDO?	Durante el traslado de cajas entre actividades	En la entrada o salida de las cajas en el taller.
¿CUÁNTO?	Diariamente.	
¿CÓMO SE DETECTA?	Un recuento de maniobras por cada caja.	Análisis de tiempo de operación de actividades

Tabla 8: Tabla ES/ NO ES de la incidencia número 3. Fuente: Elaboración propia

Causa raíz:

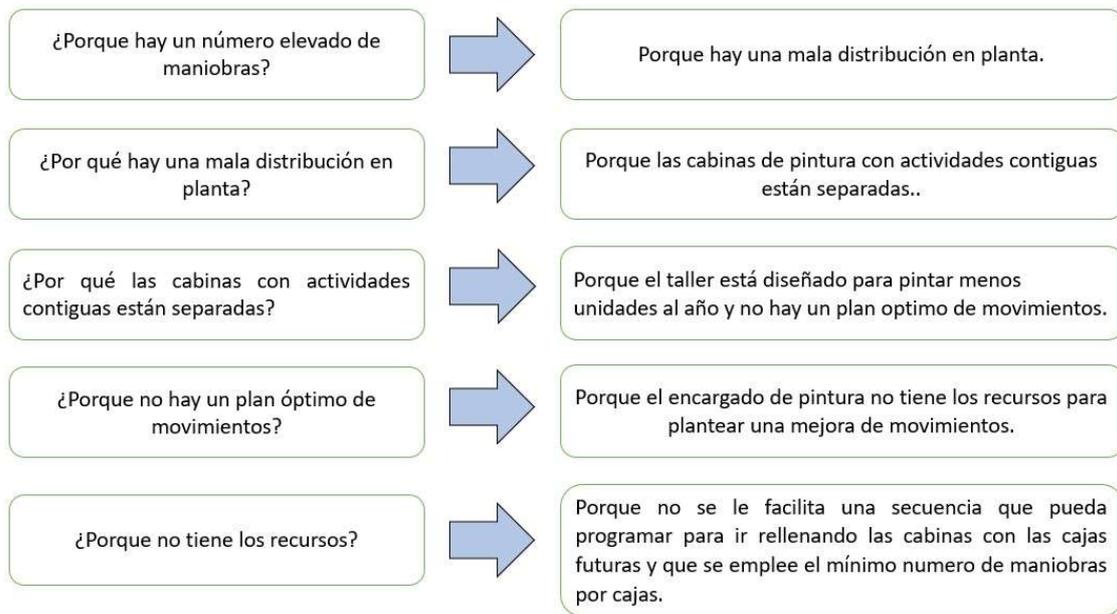


Figura 15: Diagrama cinco porqués del problema 3. Fuente: Elaboración propia

Conclusión:

El problema detectado en la empresa en la cantidad elevada de maniobras necesarias para trasladar las cajas de una actividad a otra dentro del taller de pintura. Este problema, es debido a una mala distribución en planta y la falta de un plan óptimo de movimientos, provoca pérdidas de tiempo y aumenta el tiempo de operación de pintura de cada caja. A parte de afectar a la eficiencia del taller de pintura, también genera retrasos en las siguientes estaciones de trabajo.

Lo primero que se podría plantear sería el diseño de nuevas instalaciones que disponga de un flujo continuo y que minimice los movimientos, sin embargo, habría que valorar los beneficios que supondría invertir tanto en infraestructura. También se podría plantear el desarrollo de un plan de mejora del movimiento de cajas mediante la secuenciación eficiente de actividades y la gestión de recursos necesarios.

4.5.3.4. Problema 4: Alto número de reprocesos

Registro de incidencia

Informe de problema/incidencia observada	Nº: 4
Título	
Alto número de reprocesos.	
Descripción	
Elevado tiempo dedicado a los reprocesos	
Zona de trabajo afectada	Taller de pintura y acabados.
Impacto	
Provoca paros en la producción, rehacer los trabajos, lo que implica aumenta de retrasos.	
Como cuantificar o medir este problema	
Cuantificar la cantidad de reprocesos que se hace en un mes.	
Posibles soluciones o acciones de mejora	
Formación a la mano de obra, ayudas visuales.	
Prioridad de actuación	Alta

Tabla 9: Registro de incidencia número 4. Fuente: Elaboración propia.

Causa raíz:

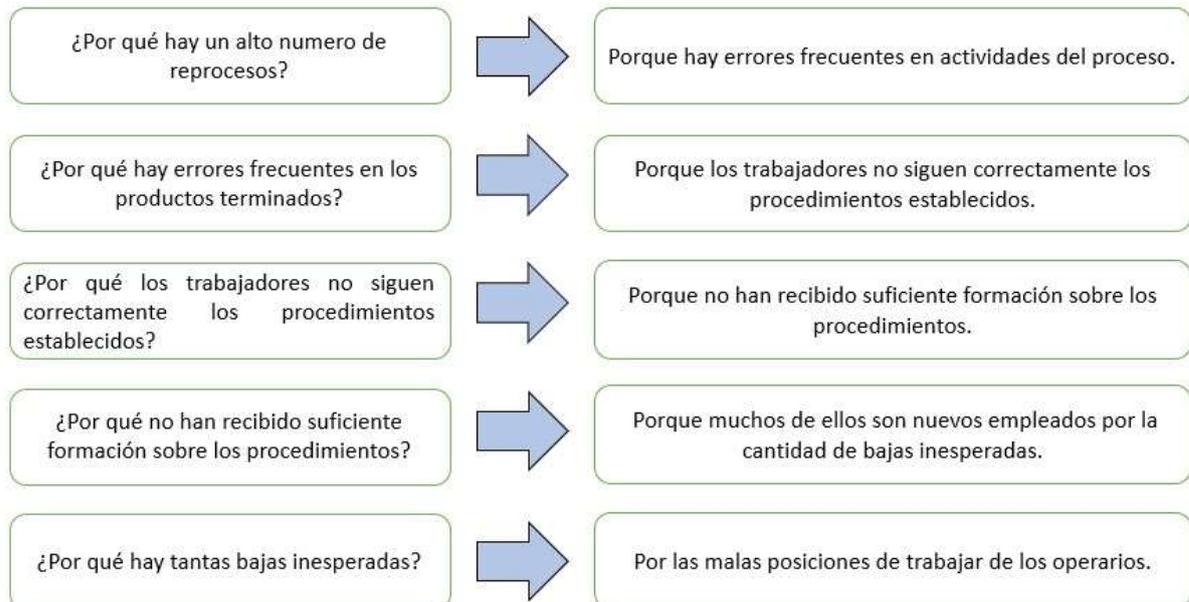


Figura 16: Diagrama cinco porqués del problema 4. Fuente: Elaboración propia

Conclusión:

Otro problema a destacar es el elevado número de reprocesos en el taller de pintura. Este problema se debe principalmente a la presión ejercida por los clientes, que obliga a realizar los trabajos de forma apresurada, siendo muchos de los operarios nuevos en la profesión de pintar grandes superficies. Estas condiciones provocan que las inspecciones de calidad a menudo no sean superadas, lo que a su vez lleva a paros en la producción y la necesidad de rehacer trabajos, incrementando los retrasos en la etapa de equipamiento.

Para resolver este problema, se proponen varias acciones de mejora. En primer lugar, es importante implementar formación intensiva para los operarios, asegurando que comprendan plenamente los procedimientos y estándares de calidad, y que siempre tengan un supervisor que les indique cómo realizar las tareas. Además, se debe introducir ayudas visuales, como manuales y diagramas, para facilitar la correcta ejecución de las tareas. También es necesario desarrollar y estandarizar los procesos manuales, automatizándolos en la medida de lo posible para minimizar los errores que puedan cometer los operarios.

4.5.3.5. Problema 5: Control ubicación de las cajas en los almacenes

Registro incidencia

Informe de problema/incidencia observada	Nº:5
Título	
Control ubicación de las cajas en los almacenes	
Descripción	
Las cajas no están ubicadas automáticamente y el personal de la empresa pierde tiempo en saber en qué nave se encuentra	
Zona de trabajo afectada	Taller de producción
Impacto	
Provoca parón en la producción y pérdida de tiempo en la búsqueda de las cajas en los almacenes intermedios.	
Como cuantificar o medir este problema	
Tiempo invertido en localizar las cajas/jornada de un empleado.	
Posibles soluciones o acciones de mejora	
Localización automática de las cajas.	
Prioridad de actuación	Media

Tabla 10: Registro de incidencia número 5. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 17 se muestran ayudas visuales para identificar las cajas.



Figura 17: Ejemplo de identificación. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 18 se muestra la causa raíz de la identificación de las cajas.

Causa raíz:

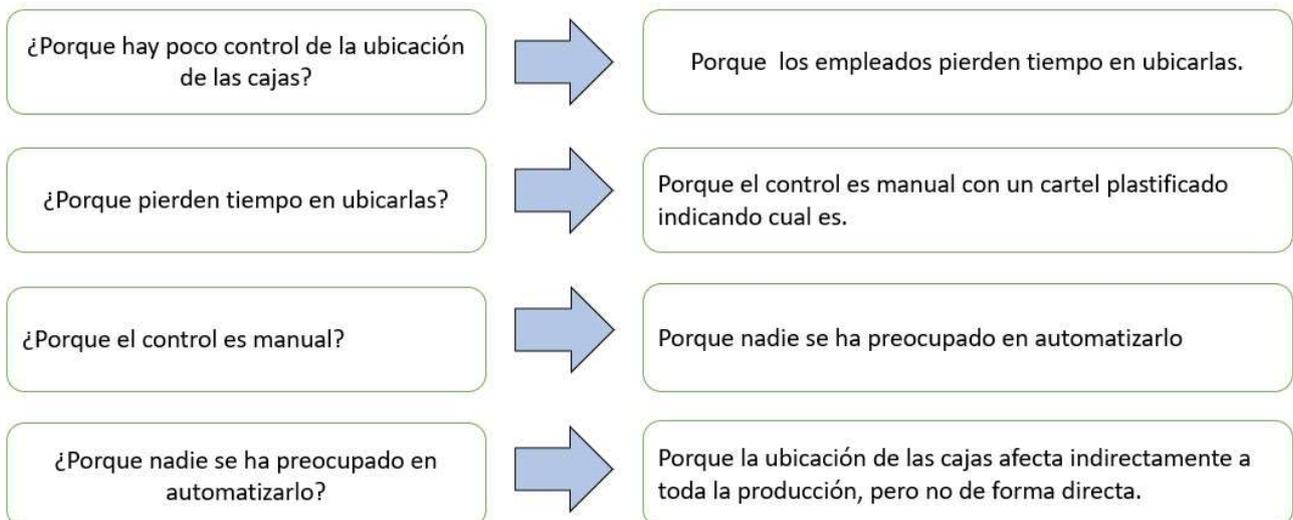


Figura 18: Diagrama cinco porqués del problema 5. Fuente: Elaboración propia.

Conclusión:

A primera hora del día se envía un plano con la ubicación de las cajas en las naves de producción de la empresa. Sin embargo, debido a la variabilidad del taller de pintura, no se incluye en estos planos. Esto provoca que los empleados ajenos al taller de pintura no sepan si una caja está ubicada en las vías de pintura y, por lo tanto, si ha comenzado el proceso.

Además, las cajas en blanco que se han fabricado se almacenan en distintos almacenes sin ningún control sobre su ubicación. Como resultado, los empleados que necesitan saber dónde están pierden parte de su jornada laboral tratando de localizarlas.

4.6. Conclusiones

El objetivo de este capítulo es adentrarnos en la planta para conocer de primera mano su funcionamiento. Para ello es fundamental desarrollar y comprender los procesos de producción de ambos talleres, con el fin de identificar los problemas y realizar un análisis detallado de los mismos.

En primer lugar, se ha llevado a cabo un Value Stream Mapping (VSM) para obtener una visión global del taller. Para ello, se ha determinado la familia de productos más representativa. Una vez definido el VSM y detectadas las operaciones que no aportan valor al cliente, se han identificado y expuesto los distintos problemas, cada uno de ellos analizado utilizando herramientas como el diagrama de Ishikawa, los 5 porqués y la tabla ES/No es.

En el próximo capítulo, se pretende plantear soluciones de mejora y analizar el margen de mejora tanto del taller como de la fábrica en su conjunto. Se buscará implementar las oportunidades de mejora identificadas para incrementar la eficiencia y reducir las incidencias en los procesos de producción.

5. SITUACIÓN DESEADA Y PLANTEAMIENTO DE OPORTUNIDADES

5.5. Introducción

En el capítulo anterior se han desarrollado y analizado las incidencias detectadas mediante la implementación de un Value Stream Mapping (VSM) del estado actual (AS-IS). Este análisis detallado ha permitido identificar áreas de oportunidad y problemas específicos dentro de los talleres de calderería y pintura, proporcionando una visión clara de los procesos que no añaden valor al cliente y las causas raíz de distintas incidencias.

El objetivo principal del presente capítulo es definir la situación deseada para la planta y plantear las oportunidades de mejora necesarias para alcanzar dicha situación. Se detallan los objetivos específicos que se buscan cumplir, siendo principalmente la reducción de los tiempos de espera.

La estructura de este capítulo se divide en varios subcapítulos. Primero, se presenta un VSM TO-BE que la empresa desea alcanzar. A continuación, se describen las oportunidades de mejora identificadas, agrupadas en diferentes dimensiones. Finalmente, se utiliza el método AHP para seleccionar las alternativas de mejora más adecuadas.

5.6. Situación deseada. Elaboración del Value Stream Mapping TO-BE

Tras haber representado en el capítulo anterior el VSM AS-IS, se procederá a realizar un VSM TO-BE, que representa la situación ideal que la empresa aspira a alcanzar. En la Ilustración 12, se muestra el VSM TO-BE del taller de pintura, donde se detallan los procesos optimizados y las mejoras proyectadas.

SITUACIÓN DESEADA Y PLANTEAMIENTO DE OPORTUNIDADES

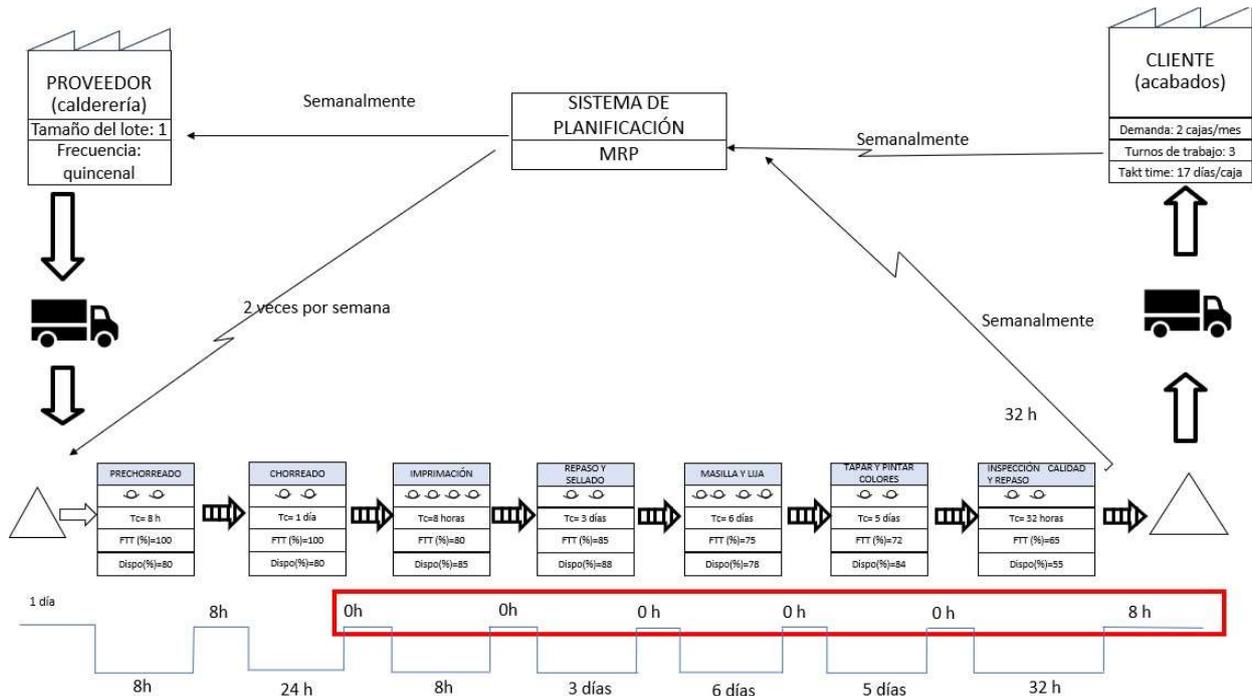


Ilustración 12: VSM TO-BE. Fuente: Elaboración propia.

Para mitigar los problemas y alcanzar la situación deseada en el taller, los objetivos que se buscan conseguir son los siguientes.

- 1. Reducir los tiempos de espera:** Se busca minimizar los tiempos que no aportan valor, como tiempos de almacenaje y tiempos de espera entre actividades. Para ello se busca un plan de programación de actividades y mejorar el flujo de trabajo. Con ello, se evitarán los cuellos de botella y se permitirá una transición más rápida y eficiente entre tareas, mejorando la productividad y reduciendo los costes relacionados al almacenamiento.
- 2. Definir trabajadores a tareas específicas:** En la situación deseada, cada trabajador tendrá asignadas funciones específicas y estandarizadas de forma que no variarán con el tiempo. Esto permitirá una mayor especialización y mayor productividad y eficiencia en la ejecución de las tareas, reduciendo los errores y mejorando la calidad del trabajo.
- 3. Controlar los movimientos automatizados:** La implantación de un sistema automatizado de control de movimientos busca integrar tecnologías avanzadas como RFID, sistemas de escaneo y software de gestión de inventarios. Con ello, se pretende obtener mejorar la trazabilidad de las cajas dentro de la factoría y de los almacenes externos. Este control automatizado reducirá los errores humanos, mejorará el uso del espacio de almacenamiento y mejorará la eficiencia operativa global.
- 4. Disminuir plazo a 2 meses entre proveedor y cliente:** Actualmente, el proceso desde la solicitud de materiales hasta la entrega del producto final al cliente puede extenderse

hasta cuatro meses y más si es tren prototipo (primera UT). El objetivo es reducir este plazo a 2 meses como máximo, dependiendo del proveedor.

- 5. Eliminar tiempo de inspección de calidad:** Se busca asignar personal de calidad dentro del taller de pintura y calderería para gestionar la inspección de calidad directamente en el lugar de producción, en lugar de depender de un departamento externo. Actualmente, este proceso externo genera tiempos de espera considerables, ya que el personal de calidad tiene otras funciones y no siempre está disponible para inspeccionar una caja de manera inmediata. Con la asignación de personal de calidad dentro del propio taller, se espera reducir significativamente los tiempos de espera para inspección, aumentar la eficiencia del proceso y asegurar una mejor integración del control de calidad en la producción diaria.

5.7. Descripción de las oportunidades de mejora

Tras presentar y desarrollar los objetivos a alcanzar en los talleres, se describen las oportunidades de mejora que permiten reducir las incidencias detalladas. Estas oportunidades se han agrupado en siete dimensiones, permitiendo observar que varias de las incidencias se repiten en múltiples de ellas. Cada dimensión contiene diversas oportunidades de mejora enfocadas en atacar el problema raíz detectado en el capítulo anterior sobre la situación inicial.

En el análisis de las incidencias, se observa que los problemas más recurrentes son la saturación de los almacenes y la interrupción de la producción. La Tabla 11 resume las oportunidades de mejora dentro de cada dimensión y las incidencias que abordan.

Dimensión	Oportunidad de mejora	Incidencia	Causa raíz
Mejora de Almacenes	Redistribuir del espacio	Almacenes saturados Interrupción de la producción	Falta de útil para apilar Distribución inadecuada
	Plantear la posibilidad de ampliar o abrir un nuevo almacén	Almacenes saturados Interrupción de la producción	Espacio insuficiente para almacenamiento
Proveedores	Afianzar mejor relación con los proveedores	Interrupción de la producción	Escasa comunicación
Gestión de calidad	Asignar control de calidad interno del departamento	Alto número de reprocesos	Ausencia de un control de calidad riguroso
Sistemas	Implantar un ERP	Interrupción de la producción	Mala gestión de la cadena de suministro
Distribución	Plantear una nueva distribución en planta del taller de pintura	Cantidad elevada de maniobras	Distribución ineficiente en planta
	Realizar un plan de mejora del movimiento de cajas y secuenciar las actividades	Cantidad elevada de maniobras	Falta de un plan óptimo de movimientos
Capacitación	Formar a la mano de obra	Alto número de reprocesos	Falta de habilidades adecuadas del personal
	Implantar ayudas visuales	Alto número de reprocesos	Escasas herramientas visuales para guiar
Localización	Localizar de forma automática las cajas	Control ubicación de las cajas en los almacenes	No hay tecnología para el seguimiento

Tabla 11: Oportunidades de mejora asociada a las incidencias. Fuente: Elaboración propia.

5.7.1. Opciones de mejora asociadas a la dimensión: mejora de almacenes

En primer lugar, se procede a detallar las opciones de mejora asociadas a la dimensión de Mejora de Almacenes.

En este caso, se han identificado dos opciones de mejora. La primera opción de mejora detectada es la Redistribución del espacio, detallada en la Tabla 12. La segunda opción de mejora es Plantear la posibilidad de ampliar o abrir un nuevo almacén, detallada en la Tabla 13. Ambas opciones están enfocadas en resolver las incidencias de almacenes saturados y la interrupción de la producción.

5.7.2. Opciones de mejora asociadas a la dimensión: proveedores

La siguiente dimensión es la de proveedores en la cual se ha identificado una opción de mejora.

La opción de mejora es afianzar mejor relación con los proveedores, detallada en la Tabla 14. Esta mejora está orientada a asegurar la entrega puntual de materiales para evitar la interrupción de la producción ya que es uno de los problemas raíz de la factoría.

5.7.3. Opciones de mejora asociadas a la dimensión: gestión de calidad

Continuando con la dimensión de gestión de calidad, se ha identificado una oportunidad de mejora. La opción es asignar control de calidad interno del departamento, detallada en la Tabla 15. Esta mejora busca reducir el alto número de reprocesos mediante un control de calidad más riguroso dentro del departamento de producción.

5.7.4. Opciones de mejora asociadas a la dimensión: sistemas

En la dimensión de sistemas, se procede a detallar la opción de mejora implantar un ERP, detallada en la Tabla 16. Esta mejora tiene como objetivo mejorar la gestión de la cadena de suministro y aumentar la eficiencia operativa, abordando así la incidencia de la interrupción de la producción.

5.7.5. Opciones de mejora asociadas a la dimensión: distribución

Para la dimensión de distribución, se han identificado dos opciones de mejora. La primera opción es plantear una nueva distribución en planta del taller de pintura, detallada en la Tabla 17. La segunda opción es Realizar un plan de mejora del movimiento de cajas y secuenciar las actividades, detallada en la Tabla 18. Ambas mejoras están enfocadas en reducir la cantidad elevada de maniobras necesarias para mover las cajas entre actividades.

5.7.6. Opciones de mejora asociadas a la dimensión: capacitación

La dimensión de capacitación incluye dos opciones de mejora. La primera opción es formación a la mano de obra, detallada en la Tabla 19. La segunda opción es ayudas visuales, detallada en la Tabla 20. Estas mejoras están destinadas a reducir el alto número de reprocesos mediante la mejora de las habilidades del personal y la introducción de herramientas visuales que faciliten la correcta ejecución de las tareas.

5.7.7. Opciones de mejora asociadas a la dimensión: localización

En último lugar, en la dimensión de localización, se ha identificado una opción de mejora. La opción de mejora es la localización automática de las cajas, detallada en la Tabla 21. Esta mejora está diseñada para mejorar el control de la ubicación de las cajas en los almacenes, reduciendo tiempos de búsqueda y mejorando la gestión del inventario.

5.8. Posibles oportunidades de mejora

5.8.1. Tablas de las opciones de mejora

En este apartado se describe detalladamente las opciones de mejora explicadas en el apartado anterior.

5.8.1.1. Oportunidad de mejora 1 asociada a la dimensión almacén:
Redistribución del espacio

Nombre de la Opción de Mejora: Redistribución del espacio	
Dimensión a la que pertenece: Almacenes	
Descripción de la opción: Reorganización del espacio dentro de los almacenes para optimizar el uso del área disponible mediante la apilación de bogíes en varias alturas.	
Incidencias abarcadas: Almacenes saturados, Control ubicación de las cajas en los almacenes.	
Coste estimado de ejecución: 20,000 - 50,000 EUR para la compra e instalación de estructuras de apilamiento.	
Duración estimada de ejecución: 15 días	
Personal implicado en la ejecución: Responsable de almacén Ingenieros de proceso Operarios del almacén Taller de útiles	
Conocimientos teóricos necesarios: Gestión de almacenes Ingeniería industrial Técnicas de apilamiento seguro Planificación y gestión de proyectos	
Ventajas: Mejor uso del espacio existente Reducción de costes al no requerir nueva construcción Mejora en el flujo de trabajo Implementación más rápida	Inconvenientes: Necesidad de estructuras especiales para la apilación Posible interrupción temporal durante la reorganización Inversión inicial en herramientas y estructuras de apilamiento
A quien va a afectar: Personal de almacén Equipo de mantenimiento Operarios de producción	
Críticas recibidas por los afectados: Posible resistencia al cambio debido a la interrupción temporal de las operaciones. Preocupación por la seguridad durante la fase inicial de implementación. Inquietud por la inversión inicial en las nuevas estructuras y herramientas necesarias.	

Tabla 12: Detalle de mejora 1 asociada a la dimensión almacén: Redistribución del espacio. Fuente: Elaboración propia.

5.8.1.2. Oportunidad de mejora 2 asociada a almacén: Plantear la posibilidad de ampliar o abrir un nuevo almacén

Nombre de la Opción de Mejora: Plantear la posibilidad de ampliar o abrir un nuevo almacén.	
Dimensión a la que pertenece: Almacenes	
Descripción de la opción: Construcción de un nuevo almacén o ampliación de los almacenes existentes para incrementar la capacidad de almacenamiento.	
Incidencias abarcadas: Almacenes saturados, Control ubicación de las cajas en los almacenes	
Coste estimado de ejecución: 100,000 - 500,000 EUR dependiendo del tamaño y localización del nuevo almacén.	
Duración estimada de ejecución: 6 a 12 meses	
Personal implicado en la ejecución: Ingenieros civiles y arquitectos Equipo de planificación y gestión de proyectos Contratistas de construcción Responsable de almacén Personal administrativo para gestionar permisos y aprobaciones	
Conocimientos teóricos necesarios: Ingeniería civil y construcción Gestión de proyectos Logística y gestión de almacenes Normativas y regulaciones de construcción	
Ventajas: Aumento de la capacidad de almacenamiento Solución a largo plazo Posibilidad de modernizar las instalaciones	Inconvenientes: Alto coste inicial Tiempo de construcción prolongado Dificultades logísticas durante la construcción Necesidad de permisos y aprobaciones
A quien va a afectar: Personal de almacén Equipo de mantenimiento Operarios de producción Personal administrativo y de gestión	
Críticas recibidas por los afectados: Preocupación por el alto coste inicial y la inversión necesaria Inquietud por el tiempo prolongado de construcción Resistencia al cambio debido a las dificultades logísticas y operacionales durante la construcción Preocupación por la necesidad de gestionar permisos y aprobaciones, lo que podría retrasar el proyecto	

Tabla 13: Detalle de mejora 2 asociada a la dimensión almacén: Ampliar o abrir un nuevo almacén. Fuente: Elaboración propia.

5.8.1.3. Oportunidad de mejora 3 asociada a Proveedor: Afianzar mejor relación con los proveedores

Nombre de la Opción de Mejora: Afianzar mejor relación con los proveedores	
Dimensión a la que pertenece: Proveedores	
Descripción de la opción: Establecer una relación más sólida y colaborativa con los proveedores para asegurar la entrega puntual de materiales y evitar interrupciones en la producción	
Incidencias abarcadas: Interrupción de la producción	
Coste estimado de ejecución: Bajo a medio (principalmente tiempo y recursos de gestión).	
Duración estimada de ejecución: 3 a 6 meses	
Personal implicado en la ejecución: Departamento de compras Planificación externa. Departamento de logística Personal de calidad.	
Conocimientos teóricos necesarios: Gestión de la cadena de suministro Negociación y relaciones comerciales Logística y gestión de inventarios Coordinación y comunicación empresarial	
Ventajas: Mayor fiabilidad en el suministro Reducción de retrasos Mejora en la calidad de los materiales	Inconvenientes: Requiere tiempo y esfuerzo para desarrollar relaciones Posible dependencia de proveedores específicos Necesidad de una buena comunicación y coordinación constante
A quien va a afectar: Personal de compras Departamento de producción Equipo de logística	
Críticas recibidas por los afectados: Resistencia al cambio debido al tiempo y esfuerzo adicional necesario para establecer relaciones sólidas Preocupación por la posible dependencia de ciertos proveedores Inquietud sobre la necesidad de mantener una comunicación y coordinación constante	

Tabla 14: Detalle de mejora 3 asociada a la dimensión proveedores: Afianzar mejor relación con los proveedores.
Fuente: Elaboración propia.

5.8.1.4. Oportunidad de mejora 4 asociada a Calidad: Asignar control de calidad interno del departamento

Nombre de la Opción de Mejora: Asignar control de calidad interno del departamento	
Dimensión a la que pertenece: Control de calidad	
Descripción de la opción: Implementar un control de calidad interno en el departamento de producción del taller de pintura y calderería para asegurar que los procesos cumplen con los estándares antes de continuar en la cadena de producción.	
Incidencias abarcadas: Alto número de reprocesos, Interrupción de la producción	
Coste estimado de ejecución: 10,000 - 30,000 EUR para formación y recursos.	
Duración estimada de ejecución: 2 meses	
Personal implicado en la ejecución: Responsable de calidad Ingenieros de calidad Operarios de producción Personal de formación	
Conocimientos teóricos necesarios: Gestión y control de calidad Normas y estándares de calidad Técnicas de inspección y prueba de calidad Metodologías de mejora continua	
Ventajas: Mejora de la calidad del producto Reducción de retrabajos y desperdicios Mayor satisfacción del cliente Detección temprana de problemas	Inconvenientes: Necesita formación y recursos adicionales Posible resistencia al cambio por parte del personal Incremento inicial de los costes operativos
A quien va a afectar: Personal de producción Departamento de calidad Operarios en la línea de producción	
Críticas recibidas por los afectados: Resistencia al cambio debido a la necesidad de formación adicional. Preocupación de invasión de otro departamento en el taller.	

Tabla 15: Detalle de mejora 4 asociada a la dimensión Calidad: Control calidad interno. Fuente: Elaboración propia.

5.8.1.5. Oportunidad de mejora 5 asociada a sistemas. Implantar un ERP

Nombre de la Opción de Mejora: Implantar un ERP	
Dimensión a la que pertenece: Sistemas.	
Descripción de la opción: Implementar un sistema de planificación de recursos empresariales (ERP) para gestionar y optimizar todos los procesos de producción, incluidas las relaciones con proveedores y el control de inventarios.	
Incidencias abarcadas: Interrupción de la producción, Control ubicación de las cajas en los almacenes, Cantidad elevada de maniobras	
Coste estimado de ejecución: 50,000 - 200,000 EUR dependiendo del tamaño y complejidad del sistema.	
Duración estimada de ejecución: 6 a 12 meses	
Personal implicado en la ejecución: Equipo de TI Gerente de proyectos Responsables de departamento (producción, compras, financiero) Consultores externos de ERP Personal de formación	
Conocimientos teóricos necesarios: Gestión de proyectos Gestión de la cadena de suministro Tecnologías de la información Conocimiento específico del software ERP Técnicas de planificación y control	
Ventajas: Integración de todos los procesos empresariales Mejor visibilidad y control de la cadena de suministro Mejora en la toma de decisiones Reducción de costes operativos a largo plazo	Inconvenientes: Alto coste inicial Tiempo de implementación prolongado Necesidad de formación intensiva Posible resistencia al cambio
A quien va a afectar: Todo el personal de la empresa, especialmente los departamentos de producción, compras y gestión de inventarios Equipo de TI Gerencia	
Críticas recibidas por los afectados: Resistencia al cambio debido a la complejidad del nuevo sistema Preocupación por el alto coste inicial y la inversión necesaria Inquietud por el tiempo prolongado de implementación y las posibles interrupciones en el flujo de trabajo Necesidad de formación intensiva y el tiempo que esto conlleva	

Tabla 16: Detalle de mejora 5 asociada a la dimensión Sistemas: Implantar un ERP. Fuente: Elaboración propia.

5.8.1.6. Oportunidad de mejora 6 asociada a distribución. Plantear una nueva distribución en planta del taller de pintura

Nombre de la Opción de Mejora: Plantear una nueva distribución en planta del taller de pintura	
Dimensión a la que pertenece: Distribución.	
Descripción de la opción: Rediseñar la distribución del taller de pintura para optimizar el flujo de trabajo y minimizar el número de maniobras necesarias para mover las cajas entre actividades.	
Incidencias abarcadas: Cantidad elevada de maniobras, Interrupción de la producción	
Coste estimado de ejecución: 50,000 - 100,000 EUR dependiendo del alcance de la redistribución.	
Duración estimada de ejecución: 4 a 6 meses	
Personal implicado en la ejecución: Ingenieros de procesos Supervisores del taller de pintura Personal de mantenimiento Operarios del taller de pintura	
Conocimientos teóricos necesarios: Ingeniería industrial Gestión de la producción Técnicas de layout y distribución en planta Optimización de flujos de trabajo Logística interna	
Ventajas: Mayor eficiencia operativa Reducción de tiempos de espera Disminución de los costes de movimiento de materiales Mejor utilización del espacio	Inconvenientes: Posible interrupción temporal de la producción durante la reestructuración Coste inicial de rediseño e implementación
A quien va a afectar: Operarios del taller de pintura Personal de mantenimiento Supervisores de producción	
Críticas recibidas por los afectados: Resistencia al cambio debido a la interrupción temporal de la producción Preocupación por el coste inicial de rediseño e implementación Inquietud por la posible reubicación de estaciones de trabajo y la adaptación a la nueva disposición	

Tabla 17: Detalle de mejora 6 asociada a la dimensión Distribución en planta: Nuevo layout del taller de pintura.
Fuente: Elaboración propia.

5.8.1.7. Oportunidad de mejora 7 asociada a distribución: Realizar un plan de mejora del movimiento de cajas y secuenciar las actividades.

Nombre de la Opción de Mejora: Realizar un plan de mejora del movimiento de cajas y secuenciar las actividades	
Dimensión a la que pertenece: Distribución.	
Descripción de la opción: Desarrollar e implementar un plan que optimice el movimiento de cajas y secuencie las actividades de manera eficiente para reducir las maniobras y el tiempo de tránsito.	
Incidencias abarcadas: Cantidad elevada de maniobras, Interrupción de la producción	
Coste estimado de ejecución: 20,000 - 50,000 EUR para análisis, planificación y formación.	
Duración estimada de ejecución: 2 meses	
Personal implicado en la ejecución: Ingenieros de optimización de procesos Supervisores de producción Responsable de maniobras Consultores externos de logística	
Conocimientos teóricos necesarios: Gestión de la cadena de suministro Logística interna Métodos de optimización de procesos Técnicas de secuenciación de actividades	
Ventajas: Reducción de tiempos de espera Mejora en la coordinación de actividades Menor movimiento de cajas Reducción de entrega a cliente	Inconvenientes: Posible resistencia al cambio Coste inicial de desarrollo e implementación del plan
A quien va a afectar: La brigada interna Supervisores de producción del taller Personal involucrado en la logística interna	
Críticas recibidas por los afectados: Resistencia al cambio debido a la necesidad de ajustar las rutinas de trabajo Preocupación por el coste inicial de desarrollo e implementación Inquietud por la adaptación a los nuevos procedimientos de transporte y secuenciación	

Tabla 18: Detalle de mejora 7 asociada a la dimensión Distribución: Plan de mejora de movimiento de cajas. Fuente: Elaboración propia.

5.8.1.8. Oportunidad de mejora 8 asociada a capacitación: Formación a la mano de obra

Nombre de la Opción de Mejora: Formación a la mano de obra	
Dimensión a la que pertenece: Capacitación.	
Descripción de la opción: Implementar programas de formación intensiva para el personal del taller de pintura, enfocados en técnicas y estándares de calidad.	
Incidencias abarcadas: Alto número de reprocesos	
Coste estimado de ejecución: 10,000 - 30,000 EUR dependiendo de la duración y la profundidad de la formación.	
Duración estimada de ejecución: 1 a 3 meses	
Personal implicado en la ejecución: Gerentes de recursos humanos Instructores de formación (internos o externos) Operarios del taller de pintura Supervisores de producción	
Conocimientos teóricos necesarios: Técnicas avanzadas de pintura Estándares de calidad en pintura Métodos de inspección y control de calidad Mejores prácticas en producción y operaciones	
Ventajas: Mejora en la calidad del trabajo Reducción de errores Incremento en la eficiencia operativa Mayor satisfacción del cliente	Inconvenientes: Tiempo y recursos necesarios para la formación Posible resistencia inicial del personal Interrupción temporal de las operaciones durante la formación
A quien va a afectar: Operarios del taller de pintura Supervisores de producción Gerencia de recursos humanos	
Críticas recibidas por los afectados: Resistencia al cambio debido a la necesidad de ajustar las rutinas de trabajo Preocupación por el tiempo y los recursos dedicados a la formación Inquietud por la interrupción temporal de las operaciones	

Tabla 19: Detalle de mejora 8 asociada a la dimensión Capacitación: Formación mano de obra. Fuente: Elaboración propia

5.8.1.9. Oportunidad de mejora 9 asociada a capacitación: Ayudas visuales

Nombre de la Opción de Mejora: Ayudas visuales	
Dimensión a la que pertenece: Capacitación.	
Descripción de la opción: Introducir ayudas visuales como manuales, diagramas, y señalizaciones en el taller de pintura para guiar a los operarios en la correcta ejecución de sus tareas	
Incidencias abarcadas: Alto número de reprocesos	
Coste estimado de ejecución: 5,000 - 15,000 EUR dependiendo del alcance y detalle de las ayudas visuales.	
Duración estimada de ejecución: 1 a 2 meses	
Personal implicado en la ejecución: Gerentes de calidad Diseñadores gráficos Supervisores de producción Operarios del taller de pintura	
Conocimientos teóricos necesarios: Diseño de ayudas visuales Estandarización de procesos Técnicas de comunicación visual Métodos de control de calidad	
Ventajas: Mejora en la precisión del trabajo Reducción de errores Estandarización de procesos Mayor rapidez en la capacitación de nuevos empleados	Inconvenientes: Necesidad de actualización periódica de las ayudas visuales Posible sobrecarga de información visual si no se gestiona adecuadamente
A quien va a afectar: Operarios del taller de pintura Supervisores de producción Personal de formación	
Críticas recibidas por los afectados: Preocupación por la posible sobrecarga de información Inquietud por el tiempo y esfuerzo necesarios para familiarizarse con las nuevas ayudas visuales	

Tabla 20: Detalle de mejora 9 asociada a la dimensión Capacitación: Ayudas visuales. Fuente: Elaboración propia

5.8.1.10. Oportunidad de mejora 10 asociada a localización: Localización automática de las cajas

Nombre de la Opción de Mejora: Localización automática de las cajas	
Dimensión a la que pertenece: Localización.	
Descripción de la opción: Implementar un sistema de localización automática de las cajas en los almacenes mediante tecnologías como RFID, GPS interno o códigos de barras con escaneo automático	
Incidencias abarcadas: Control de ubicación de las cajas en los almacenes	
Coste estimado de ejecución: 50,000 - 150,000 EUR dependiendo de la tecnología y el alcance del sistema.	
Duración estimada de ejecución: 3 a 6 meses	
Personal implicado en la ejecución: Equipo de TI Gerentes de almacén Operarios de almacén Proveedores de tecnología RFID/GPS/códigos de barras	
Conocimientos teóricos necesarios: Tecnologías de identificación automática (RFID, GPS, códigos de barras) Gestión de inventarios Integración de sistemas de información Capacitación en nuevas tecnologías	
Ventajas: Localización rápida y precisa Reducción de errores humanos Mejora en la gestión del inventario Ahorro de tiempo en la búsqueda de cajas Mayor eficiencia operativa	Inconvenientes: Alto coste inicial de implementación Necesidad de formación del personal Posible complejidad técnica en la integración con sistemas existentes Mantenimiento continuo
A quien va a afectar: Operarios de almacén Gerentes de almacén Personal de TI Proveedores y clientes (indirectamente)	
Críticas recibidas por los afectados: Resistencia al cambio debido a la adopción de nuevas tecnologías Preocupación por el alto coste inicial y los recursos necesarios Inquietud por el tiempo de formación y adaptación al nuevo sistema Temor a la complejidad técnica y posibles fallos durante la implementación	

Tabla 21: Detalle de mejora 10 asociada a la dimensión Localización: Localización automática de las cajas. Fuente: Elaboración propia

5.9. Agrupación y selección de medidas a implantar

En este capítulo, se agrupan y analizan diversas opciones de mejora consideradas convenientes para implementar en la empresa. Las propuestas abarcan distintas dimensiones operativas y estratégicas, buscando mejorar el rendimiento y la eficiencia en distintos ámbitos de la organización.

Las opciones de mejora se agrupan en:

- Redistribución del espacio.
- Plantear la posibilidad de ampliar o abrir un nuevo almacén.
- Afianzar mejor relación con los proveedores.
- Asignar control de calidad interno del departamento.
- Implantar un ERP.
- Plantear una nueva distribución en planta del taller de pintura.
- Realizar un plan de mejora del movimiento de cajas y secuenciar las actividades.
- Formación a la mano de obra.
- Ayudas visuales.
- Localización automática de las cajas.

5.9.1. Selección de medidas asociadas a la dimensión

5.9.1.1. Opciones de mejora asociadas a la dimensión: Mejora de Almacenes.

Para empezar, se han identificado dos oportunidades de mejora en relación con la mejora del espacio de los almacenes. Estas oportunidades no son excluyentes, por lo que pueden implementarse simultáneamente para lograr una mejora más significativa en la distribución de los almacenes. Se han seleccionado ambas propuestas y se han unificado bajo el concepto de mejora del almacén. Posteriormente, se utilizará el método AHP para seleccionar la opción más adecuada.

5.9.1.2. Opciones de mejora asociadas a la dimensión: Proveedores.

En este caso, se descarta la oportunidad de mejora relacionada con la dimensión de proveedores, ya que requeriría una inversión considerable de tiempo y esfuerzo para mejorar las relaciones con ellos. Además, esto podría generar una dependencia excesiva de los proveedores, lo que resultaría en una pérdida de la capacidad estratégica y competitiva de la empresa.

5.9.1.3. Opciones de mejora asociadas a la dimensión: Gestión de calidad.

En relación con la gestión de calidad, se ha identificado una oportunidad de mejora destinada a reducir los reprocesos en los talleres. Esta oportunidad se considera necesaria para mejorar una incidencia muy destacada en la factoría. Por lo tanto, se ha decidido implementar esta opción de mejora.

5.9.1.4. Opciones de mejora asociadas a la dimensión: Sistemas

En relación con la mejora del sistema de información de la empresa, se había decidido implantar un nuevo ERP para optimizar la comunicación tanto entre departamentos como con entidades externas. Sin embargo, tras una reunión con el jefe del departamento de planificación, se ha decidido descartar esta opción debido a la alta inversión inicial, la considerable incertidumbre y las numerosas horas de formación que requeriría para todos los empleados.

5.9.1.5. Opciones de mejora asociadas a la dimensión: Distribución.

Para mejorar la distribución en planta de los talleres, se han propuesto dos opciones para reducir la incidencia relacionada con las maniobras.

La primera opción es plantear una nueva distribución en el taller de pintura. Sin embargo, este cambio de layout es complejo y requeriría una inversión significativa. Tras una reunión con el responsable del taller de pintura, se ha decidido descartar esta opción.

En lugar de modificar el layout del taller, se ha optado por una alternativa más viable: implementar un plan de mejora para el movimiento de cajas y la secuenciación de actividades. Esta opción será evaluada mediante el método AHP en un análisis posterior.

5.9.1.6. Opciones de mejora asociadas a la dimensión: capacitación.

Para reducir significativamente los reprocesos mediante la capacitación, se propone implementar ambas opciones, ya que no son excluyentes. Por lo tanto, se presentan ambas para su posterior selección mediante el método AHP.

5.9.1.7. Opciones de mejora asociadas a la dimensión: Localización

Por último, se encuentra la mejora relacionada con la localización de las cajas, que es uno de los grandes problemas de la empresa y causa una considerable pérdida de tiempo para los empleados al identificarlas. Se ha decidido seleccionar la opción de "Localización automática de las cajas" y evaluarla junto con las demás opciones seleccionadas.

5.9.2. Elección de alternativas mediante el método AHP

Después de realizar una preselección y descartar las opciones con mayor dificultad de implementación, se procederá a elegir la mejor alternativa utilizando el método AHP. Este método permite estructurar y analizar decisiones complejas, teniendo en cuenta múltiples criterios.

Para llevar a cabo una evaluación exhaustiva y precisa, se han definido los siguientes criterios de elección:

1. **Coste:** el coste asociado con la implementación de cada opción de mejora. Esto incluye los costes como materiales, mano de obra, tecnología, y cualquier otro recurso necesario. El objetivo es minimizar los costes para asegurar una solución económica.
2. **Implementación:** Este criterio evalúa la facilidad o dificultad de poner en práctica cada opción. Se consideran factores como la disponibilidad de recursos, la necesidad de formación, y la complejidad del proceso de implementación. Se busca minimizar la dificultad de implementación para facilitar una transición más rápida.
3. **Duración de ejecución:** Mide el tiempo necesario para completar la implementación de cada alternativa. Se busca minimizar la duración de ejecución con el objetivo de obtener beneficios en un plazo más breve.
4. **Robustez:** Evalúa la fiabilidad y estabilidad de cada opción una vez implementada. Una solución robusta debe ser capaz de soportar variaciones en el entorno operativo y mantener su efectividad a lo largo del tiempo. Se busca maximizar la robustez para asegurar la sostenibilidad y durabilidad de la mejora implementada.

En la Figura 19 se ha representado la jerarquía del método AHP.

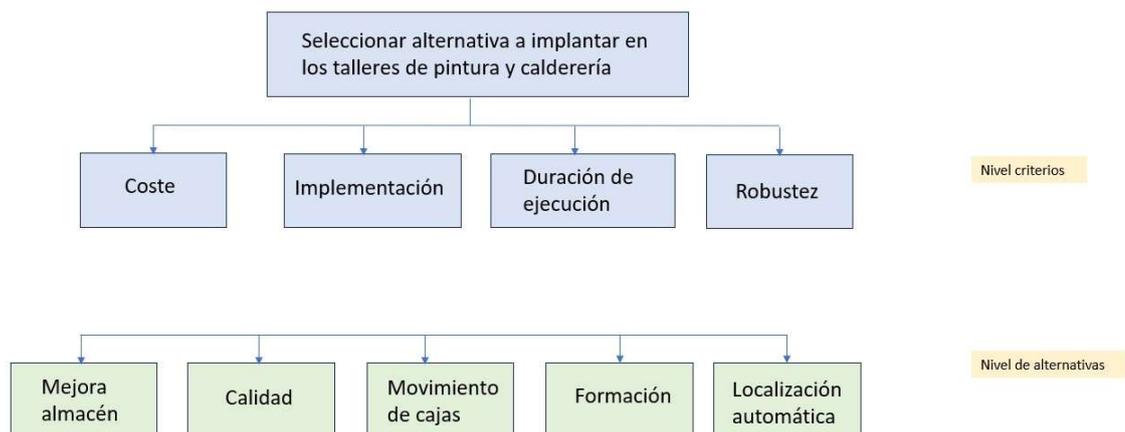


Figura 19: Jerarquía del Método AHP. Fuente: Elaboración propia.

Para obtener la tabla de prioridades se establecen los siguientes criterios.

- Implementación tiene una importancia moderada sobre coste.
- Coste tiene una importancia fuerte sobre Duración de ejecución.
- Robustez tiene una importancia moderada sobre Coste.
- Implementación tiene una importancia muy fuerte sobre Duración de ejecución.
- Implementación tiene entre una importancia fuerte y una importancia moderada sobre Robustez.
- Robustez tiene una importancia moderada sobre Duración de ejecución.

A continuación, se muestra la Tabla 22, con la comparación de los criterios.

	Coste	Implementación	Duración de ejecución	Robustez
Coste	1	0,33	5	0,33
Implementación	3	1	7	4
Duración de ejecución	0,2	0,14	1	0,33
Robustez	3	0,25	3	1

Tabla 22: Comparación pareada de criterios. Fuente: Elaboración propia.

En este primer caso, se evalúa el coste asociado a la implementación de cada una de las alternativas. Asignar a una persona del departamento de calidad a cada taller no supone un gran gasto, al igual que la formación del personal. Sin embargo, la implementación de la opción de localización automática de cajas, que requiere una inversión significativa en tecnología, es la opción más cara. Este análisis de costes permite priorizar las mejoras más económicas, como la mejora en la calidad y la formación del personal, mientras que la localización automática de cajas, a pesar de su alta inversión, puede ser justificada por los otros criterios que se están evaluando.

En la Tabla 23 representa la matriz comparación del criterio de coste.

Coste	Mejora almacén	Calidad	Mov cajas	Formación	Loc automática
Mejora almacén	1	0,25	0,33	0,33	3
Calidad	4	1	3	0,33	5
Mov cajas	3	0,33	1	0,25	5
Formación	3	3	4	1	7
Loc automática	0,33	0,20	0,20	0,14	1

Tabla 23: Matriz de comparación del criterio coste. Fuente: Elaboración propia.

En el siguiente caso, se evalúa el criterio de implementación, que supone la facilidad con la que se puede llevar a cabo cada alternativa.

La localización automática de cajas es la más fácil de implementar debido a su naturaleza tecnológica estandarizada y mínima interrupción de procesos existentes. La mejora en calidad también es relativamente fácil, ya que implica reasignar personal existente sin grandes cambios

estructurales. La formación del personal es sencilla de ejecutar, aunque requiere coordinación y planificación. La mejora del almacén es más compleja debido a la necesidad de reorganización física y logística. Por último, el movimiento de cajas es el más difícil de implementar, ya que requiere cambios significativos en los flujos de trabajo y posiblemente una reestructuración completa del espacio físico.

La Tabla 24 muestra la matriz comparación del criterio de implementación.

Implementación	Mejora almacén	Calidad	Mov cajas	Formación	Loc automática
Mejora almacén	1	0,20	3	3	0,17
Calidad	5	1	7	2	0,33
Mov cajas	0,33	0,14	1	0,5	0,14
Formación	0,33	0,5	2	1	0,20
Loc automática	6	3	7	5	1

Tabla 24: Matriz de comparación del criterio implementación. Fuente: Elaboración propia.

En el presente caso, se evalúa el criterio de duración de ejecución, que mide el tiempo requerido para implementar cada alternativa.

La mejora del almacén es la más rápida de ejecutar, ya que implica reorganización física que puede ser realizada en un corto plazo. La formación de personal también se lleva a cabo rápidamente, dado que se pueden programar sesiones de capacitación específicas y eficientes. La mejora en calidad y el movimiento de cajas tienen tiempos de ejecución similares, ya que ambos requieren ajustes en procesos existentes que pueden llevar algo más de tiempo. Finalmente, la localización automática de cajas es la opción que más tiempo requiere, debido a la necesidad de instalar y configurar nueva tecnología. La Tabla 25 muestra la comparación de todas las alternativas.

Duración de ejecución	Mejora almacén	Calidad	Mov cajas	Formación	Loc automática
Mejora almacén	1	5	5	3	6
Calidad	0,2	1	1	0,33	3
Mov cajas	0,2	1	1	0,33	3
Formación	0,33	3	3	1	5
Loc automática	0,17	0,33	0,33	0,2	1

Tabla 25: Matriz de comparación del criterio duración de ejecución. Fuente: Elaboración propia.

Para evaluar el criterio de robustez, que mide la capacidad de cada alternativa para resistir cambios y mantener su efectividad a lo largo del tiempo, se establece el siguiente orden de implementación. La localización automática de cajas es la más robusta, ya que la tecnología implementada proporciona una solución duradera y consistente. La mejora del almacén sigue en robustez, dado que una reorganización bien planificada puede ofrecer beneficios sostenibles. El movimiento de cajas ocupa el tercer lugar, ya que optimizar el flujo de trabajo puede mantenerse a largo plazo si se realiza correctamente. La mejora en calidad es menos robusta, debido a que los ajustes en los procesos pueden necesitar revisiones frecuentes.

Finalmente, la formación del personal es la menos robusta, ya que los conocimientos adquiridos pueden deteriorarse con el tiempo y requerir actualización constante.

A continuación, se muestra en la Tabla 26 la matriz de comparaciones del criterio de robustez.

Robustez	Mejora almacén	Calidad	Mov cajas	Formación	Loc automática
Mejora almacén	1	5	3	8	0,33
Calidad	0,2	1	0,25	3	0,17
Mov cajas	0,33	4	1	3	0,20
Formación	0,13	0,33	0,33	1	0,13
Loc automática	3	6	5	8	1

Tabla 26: Matriz de comparación del criterio robustez. Fuente: Elaboración propia

Después de calcular las matrices, se procede a determinar la ratio de consistencia. La consistencia se puede evaluar mediante el índice de consistencia (CI), que se calcula con la siguiente expresión [5].

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad [5]$$

Donde n representa la dimensión de la matriz, que en este caso es 5, y λ_{max} es calculado de acuerdo con lo indicado en ANEXO 1. Se obtiene el CI para cada una de las matrices. Por otro lado, la ratio de consistencia (CR) se determina utilizando la siguiente fórmula, la ecuación [6].

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad [6]$$

Aquí, RI (índice de consistencia aleatorio) se obtiene de la tabla especificada en el anexo.

Para que la matriz sea considerada consistente, el CR debe ser menor o igual a 0,1. Como se puede ver en la Tabla 27 a continuación, las matrices cumplen con este criterio y son consistentes.

Criterio	CI	CR
Coste	0,0940	0,0843
Implementación	0,1046	0,0938
Duración de ejecución	0,0395	0,0354
Robustez	0,0818	0,0734

Tabla 27: Consistencia de las matrices. Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenidas las cuatro matrices de comparación de alternativas, se procede a calcular el vector propio de cada matriz. Este vector propio es la media geométrica normalizada de cada una de las alternativas. Como resultado, se obtiene la siguiente tabla que muestra los pesos asignados a cada alternativa, así como los vectores propios derivados de las matrices correspondientes.

Tabla 28 permite una visión clara de la importancia relativa de cada alternativa en función de los diferentes criterios evaluados, proporcionando una correcta elección de las alternativas.

	Coste	Implementación	Duración de ejecución	Robustez
Pesos	0,159	0,558	0,058	0,226
Mejora almacén	0,090	0,109	0,493	0,278
Calidad	0,268	0,261	0,105	0,063
Mov cajas	0,154	0,045	0,105	0,127
Formación	0,446	0,081	0,250	0,037
Loc automática	0,042	0,504	0,047	0,495

Tabla 28: Matriz de prioridades globales. Fuente: Elaboración propia.



Figura 20: Resultados del Método AHP. Fuente: Elaboración propia

Después de que la alumna analice las alternativas utilizando el método AHP y evaluarlas según los criterios de coste, implementación, duración de ejecución y robustez, se determina que la localización automática de cajas es la mejor opción para implementar representado en la Figura 20. A pesar de ser la opción menos económica con mayor duración de ejecución, su robustez y facilidad de implementación justifican su elección ya que se busca una mejora a largo plazo. La localización automática de cajas aborda uno de los problemas más graves de la empresa: la pérdida de tiempo en la identificación y manejo de las cajas. Esta solución tecnológica permitirá optimizar el flujo de trabajo y aumentar la eficiencia en todos los talles de producción de la empresa.

Además, se implementarán las mejoras en calidad y en el almacén. La mejora en calidad, siendo la opción más económica y relativamente fácil de ejecutar, contribuirá a reducir los errores y reprocesos, mejorando así la eficiencia de los talleres. La mejora del almacén, aunque requiere una reorganización física, es rápida de ejecutar y proporcionará beneficios a corto medio plazo.

5.10. Conclusiones

El objetivo del capítulo 4 es definir la situación deseada en la planta de producción de Stadler Rail Valencia y plantear diversas oportunidades de mejora. Este capítulo se enfoca en identificar las mejoras necesarias para mejorar los procesos productivos, reducir las incidencias y seleccionar las mejores alternativas para su implementación.

En primer lugar, se presenta un VSM TO-BE, para definir la situación deseada del taller de pintura. A continuación, se establecen los objetivos a cumplir. Tras definirlos, se describen las oportunidades de mejora, relacionadas con las principales incidencias detectadas. Y al final del capítulo, se emplea el método AHP para seleccionar las alternativas de mejora más adecuadas, basándose en criterios predefinidos y en la prioridad de las necesidades de la planta.

El siguiente capítulo se dedicará al desarrollo detallado de las opciones de mejora seleccionadas. Se profundizará en la implementación práctica de estas mejoras, proporcionando un plan de acción claro y específico para cada alternativa.

6. DISEÑO DETALLADO E IMPLEMENTACION DE LA PRIMERA MEJORA: MEJORA DEL ALMACÉN INTERMEDIO

6.5. Introducción

En el capítulo anterior se ha definido la situación deseada con el objetivo de reducir las incidencias descritas en el sistema. Para ello, se ha planteado varias oportunidades y acciones de mejora, las cuales fueron posteriormente evaluadas mediante el método AHP, con el propósito de seleccionar las alternativas más adecuadas para abordar los problemas identificados.

El objetivo principal del presente capítulo es desarrollar la primera acción de mejora propuesta, la mejora del almacén intermedio.

La estructura del capítulo se organiza en varias secciones, comenzando por una descripción detallada del almacén intermedio y la distribución que posee en la actualidad. Seguidamente, se presentan dos fases principales de mejora y en cada una de ellas, se detallan las tareas necesarias, los participantes involucrados y el tiempo estimado para la implementación de las mejoras propuestas.

6.6. Almacén en situación actual

6.6.1. Introducción

Para una mejor comprensión del almacén donde se implementará la mejora, se ha elaborado un plano detallado por la alumna, quien visitó las instalaciones con el objetivo de identificar oportunidades de mejora y tomar las medidas oportunas.

A continuación, se presenta el plano del almacén Lannutti, ubicado en la avenida Séquia de l'Arrif, 25, en Sagunto, Valencia. Este almacén es uno de los dos intermedios con los que cuenta la fábrica. En él se suelen almacenar bogies, cajas de trenes de pasajeros en blanco (sin pintar) y pintados, siendo estos últimos los más frecuentes. Se ha seleccionado este almacén para la mejora debido a la complejidad de la nave, la gran capacidad de almacenamiento desaprovechada y la variabilidad de dimensiones de las cajas.

En la Figura 21 se muestra el plano de la nave industrial vacía.

El plano adjunto detalla dos naves industriales diseñadas específicamente para el almacenamiento de trenes de pasajeros. Ambas naves comparten una altura de 10 metros, lo que proporciona un amplio espacio vertical necesario para acomodar trenes de gran tamaño y permitir las maniobras internas con facilidad. Además, las naves están estructuradas con pórticos que se encuentran separados entre sí 10.5 metros, garantizando una estructura sólida.

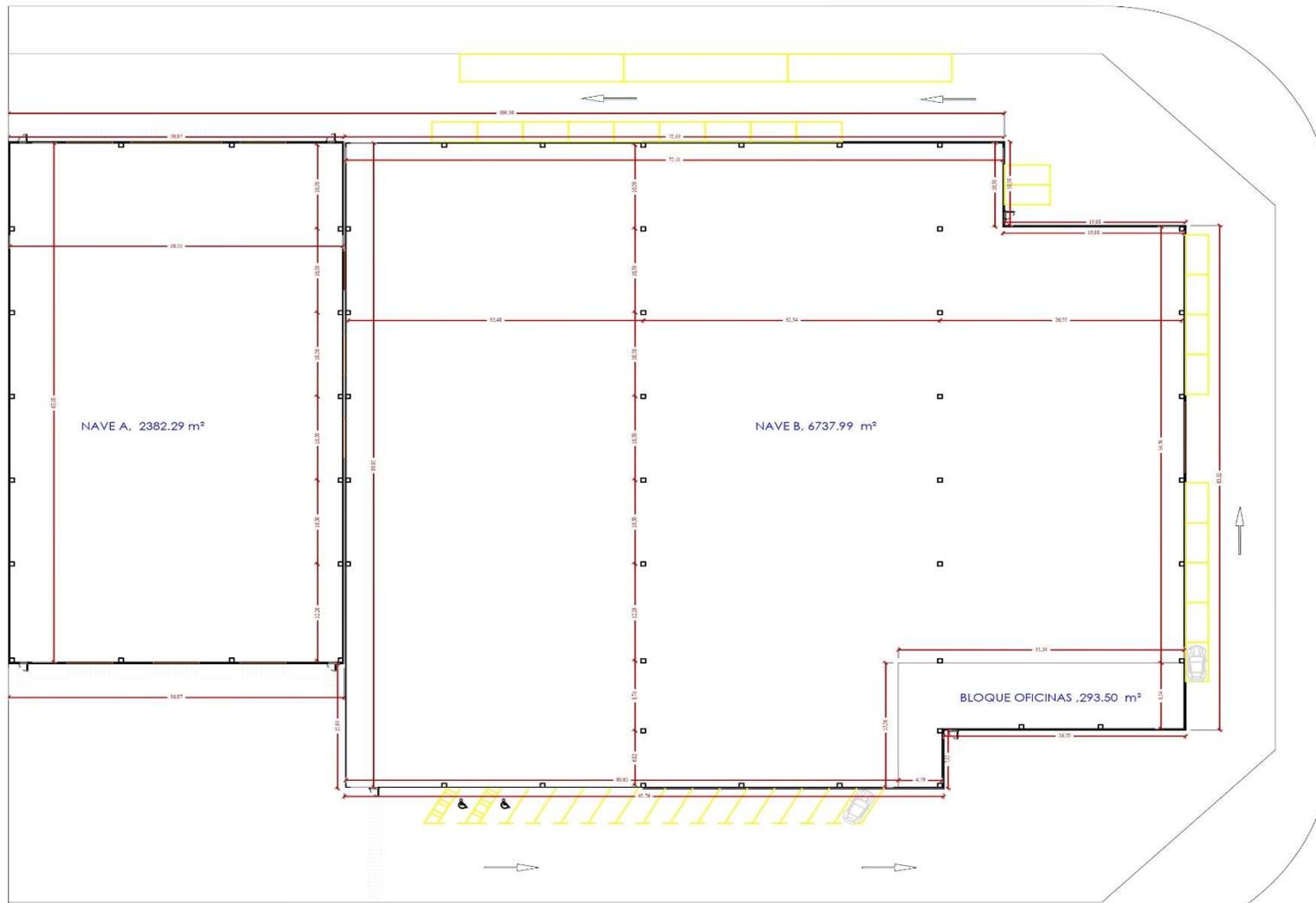


Figura 21: Plano del almacén Lannutti. Fuente: Elaboración propia.

La Nave A, que consta de 7 pórticos y una superficie de 2.382,29 m², está equipada con varias puertas de acceso para facilitar la entrada y salida de trenes. En la parte superior, dispone de tres puertas, de las cuales la central es significativamente más grande que las laterales, con una anchura de 9,5 metros y una altura de 6 metros. Esta puerta central permite el acceso de vehículos y materiales de mayor tamaño.

Las puertas laterales superiores tienen dimensiones de 5 metros y están destinadas a la entrada de cajas de menor tamaño. En la parte inferior de la Nave A, hay otras tres puertas de igual tamaño, también de 5 metros.

La Nave B, la más grande de las dos, consta de 9 pórticos separados a la misma distancia que en la Nave A, con una superficie total de 7.031,46 m². En esta nave se almacena la mayor parte de las cajas, y en la esquina inferior se encuentra un bloque de oficinas de dos pisos, más planta baja, con una superficie de 293,5 m².

La Nave B también está equipada con varias puertas de acceso. En el lateral derecho, hay una puerta de grandes dimensiones, de 9,5 metros de ancho por 6 metros de alto, diseñada para permitir la entrada y salida de trenes. En la pared interna que conecta la Nave A con la Nave B, hay tres puertas de igual tamaño, que facilitan el flujo de materiales y el tránsito de personal entre ambas naves, optimizando así las operaciones internas.

6.6.2. Dimensiones de las cajas

Cada proyecto de la empresa tiene dimensiones variables. Los trenes de pasajeros que se pintan internamente suelen estar compuestos por tres coches: dos motores o coches cabina y un remolque, aunque presentan ligeras variaciones en sus dimensiones, estas son mínimas.

Se han recopilado las dimensiones de todos los trenes de pasajeros que se pintan internamente para evaluar la ocupación de las cajas en la nave. Sin embargo, debido a la diversidad de medidas, con diferencias de decímetros en anchura y hasta medio metro en longitud, se decidió simplificar las dimensiones redondeándolas al alza para realizar la siguiente clasificación de tamaños. (Tabla 29)

Tipo	Longitud (m)	Ancho(m)
1	12	2,65
2	16	2,77
3	22	3,05
4	26	3,05

Tabla 29: Dimensión de las cajas. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta el plano de las naves con la situación actual, donde se pueden observar las cajas de los distintos tipos almacenadas de la Figura 22.

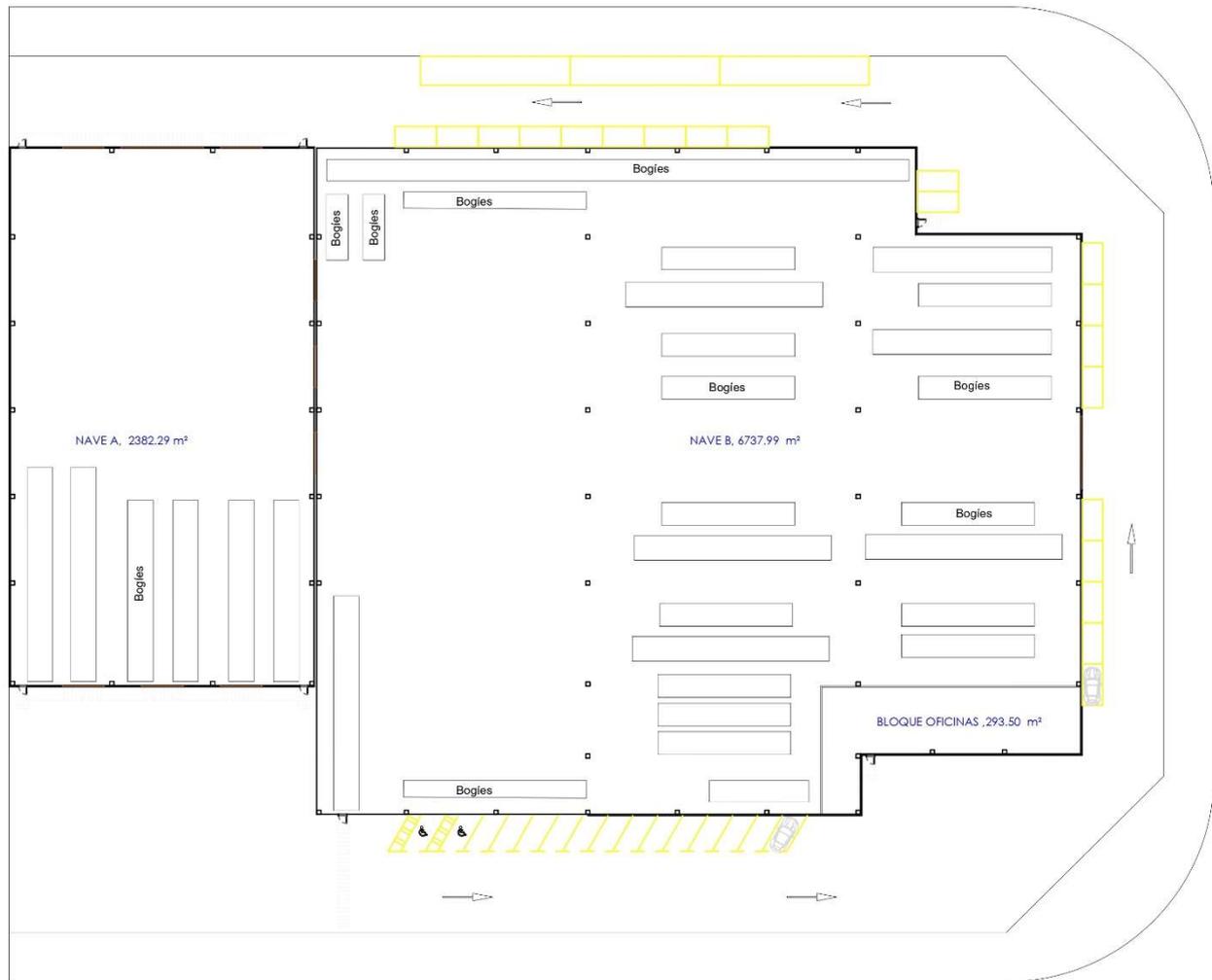


Figura 22: Plano del almacén Lannutti en situación actual. Fuente: Elaboración propia.

Actualmente, las cajas del tipo 4, aunque son las de mayor tamaño, son las menos numerosas, con solo 3 unidades almacenadas, ya que forman parte de un proyecto que aún se encuentra en las etapas iniciales de fabricación y que el arranque del proyecto se ha traspasado a años futuros.

Las cajas de los tipos 2 y 3 son las más numerosas, con 11 y 9 unidades almacenadas, respectivamente. Aunque no hay cajas del tipo 1 en este momento, es importante considerarlas, ya que varios proyectos futuros utilizarán cajas de estas dimensiones, por lo que se almacenarán en el futuro cercano.

Por último, se encuentran almacenados 48 bogies en una sola altura, ocupando gran parte del almacén. Esta situación ha sido uno de los principales problemas que ha afectado la gestión eficiente del espacio.

6.6.3. Entradas y salidas de camiones

Como se mencionó anteriormente, las naves cuentan con varias puertas de entrada y salida, siendo las principales la puerta 1 y la puerta 2, ambas de grandes dimensiones.

En el siguiente plano se ha simulado la entrada de un camión por la puerta 1 de la nave A, con destino a la nave B, pasando por la puerta 3. Esta trayectoria suele ser la entrada principal de los camiones.

Para esta simulación, se han tomado como referencia las dimensiones del cabezal del camión, con 2,45 metros de longitud y 2,55 metros de ancho. Se ha supuesto una longitud de carga del camión de 22 metros, correspondiente al tipo 3 de la Tabla 29. Además, se ha considerado un radio mínimo de giro de 7,5 metros y un radio máximo de 15 metros.

En la Figura 23 se muestra la trayectoria del camión descrita anteriormente.

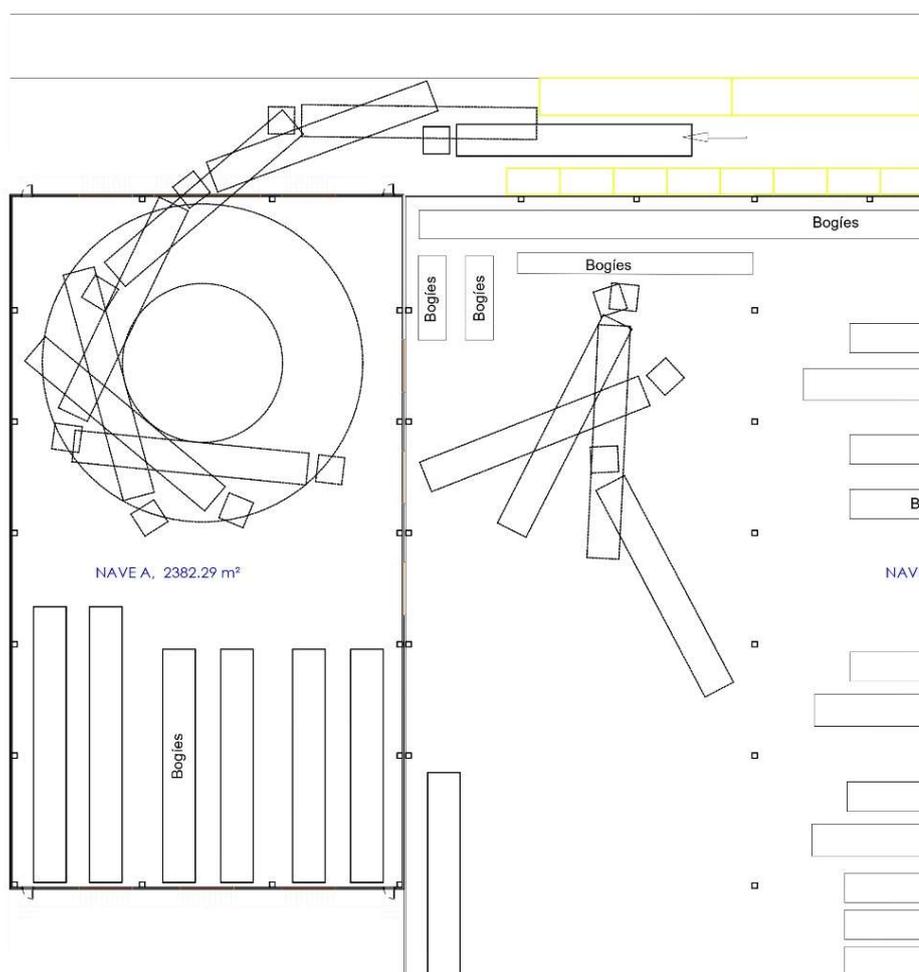


Figura 23: Trayectoria camión del almacén Lannutti en situación actual. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, debido a la gran cantidad de maniobras que el camión debe realizar para cargar y descargar una caja, el tiempo total desde que el camión entra por la puerta 1 hasta que finaliza la descarga de la caja es de 45 minutos.

6.7. Acción de mejora parte 1: Apilamiento de los bogies

6.7.1. Descripción de la acción

Esta acción de mejora consiste en la fabricación de un útil con el objetivo de poder apilar los bogies en 3 alturas. De tal forma se pretende generar espacio para poder almacenar las cajas de los trenes de pasajeros.

Para llevar a cabo esta acción de mejora, se necesita que el departamento de útiles estime y desarrolle la estructura de madera capaz de soportar el peso de los bogies en varias alturas.

6.7.2. Definición de responsables y participantes

En la Tabla 30 se detallan los principales responsables de la acción de mejora.

Responsable 1	Ingeniero de organización
Responsable 2	Ingeniero de producción
Participante 1	Ingeniero de diseño de útil
Participante 2	Responsable del almacén
Participante 3	Operario de carga y descarga

Tabla 30: Responsables de la primera fase de la primera acción de mejora. Fuente: Elaboración propia.

6.7.3. Detalle de las tareas

En este apartado se van a detallar las tareas para llevar a cabo la primera acción de mejora del almacén.

1. Evaluación del estado actual de los bogies

El almacén a evaluar consta de 23 cajas de trenes almacenadas y 48 cajas de bogies. Las 48 cajas de bogies almacenadas están ocupando el espacio de 10 cajas de trenes de pasajeros. Lo que es una ocupación del 30% del espacio útil en la situación actual de la nave. Se observa en la siguiente expresión [7].

$$\text{Ocupación de bogies} = \frac{10}{10 + 23} * 100 = 30,303\% \quad [7]$$

2. Diseño de la estrategia de apilamiento

El diseño y la fabricación del nuevo útil se encarga el departamento de útiles. Las tareas necesarias son:

- Determinar la capacidad de apilamiento de los bogies, considerando su tamaño, peso y estabilidad.
- Definir la disposición de los bogies apilados para facilitar el acceso y minimizar riesgos.

- Establecer las alturas de apilamiento seguras según las normativas de seguridad.

3. Preparación del área de apilamiento

Una vez ya se ha diseñado y fabricado el útil y estudiado cual será la altura optima de apilamiento, se procede a preparar el espacio en el almacén donde se apilarán los bogies.

Por tanto, se debe limpiar y despejar el área designada para el apilamiento. Asegurar que el suelo esté nivelado y en condiciones adecuadas para soportar el peso de los bogies apilados. Y por último señalar el área de apilamiento para evitar obstrucciones y garantizar la seguridad.

4. Ejecución del apilamiento de bogies

Una vez preparada la zona destinada para ubicar los bogies apilados, se procede con el apilamiento de los bogies según el plan establecido. El primer paso consiste en trasladar los bogies a la zona de apilamiento utilizando los equipos adecuados para su manejo. Una vez en la zona, se inicia el apilamiento siguiendo el diseño previamente definido, asegurando en cada nivel la estabilidad y seguridad de las pilas.

Durante todo el proceso, es fundamental verificar la estabilidad de cada pila de bogies, tanto durante como después del apilamiento, para garantizar que se mantengan en condiciones seguras.

Se ha limitado el apilamiento a tres alturas, reduciendo el número de huecos necesarios para los bogies de 48 a solo 16. Además, las cajas de bogies se han reubicado en una única zona de la nave, evitando así el bloqueo de las entradas, salidas y áreas de maniobra de los camiones. Junto con la siguiente mejora se representará una imagen de la ubicación de los bogies apilados.

6.7.4. Definición de los recursos asignados a las tareas

En la Tabla 31 representan los recursos asignados a las tareas correspondientes a la primera fase de la mejora.

ID tarea	Recurso humano	Recurso material
1	Inspector del almacén	Herramientas de inspección (calibrador, medidores de nivel) Tablet para registrar los datos de inspección
2	Ingeniero (departamento de útiles) Supervisor del almacén	Manual de seguridad Herramientas de diseño o CAD para planificar el layout
3	Equipo limpieza (2 operarios encargados de limpiar) Supervisor almacén	Equipo limpieza Equipo señalización
4	Operarios almacén Supervisor de seguridad	Carretillas elevadoras Equipo de protección personal Soporte de apilamiento

Tabla 31: Recursos de la primera fase de la primera acción de mejora. Fuente: Elaboración propia

6.7.5. Definición de los tiempos

Se ha estimado el tiempo requerido para las tareas en la primera fase de la mejora del almacén, lo cual se ha representado en la Figura 24 a través de un diagrama de Gantt.

Primera parte de mejora del almacén					SEMANA 23					SEMANA 24			
ID	Tarea	Fecha inicio	Fecha fin	Duración (Días)	L	M	X	J	V	L	M	X	J
					03/06/2024	04/06/2024	05/06/2024	06/06/2024	07/06/2024	10/06/2024	11/06/2024	12/06/2024	13/06/2024
1	Evaluación del estado actual de los bogies	03-jun	03-jun	1									
2	Diseño de la estrategia de apilamiento	04-jun	10-jun	4									
3	Preparación del área de apilamiento	11-jun	12-jun	2									
4	Ejecución del apilamiento de bogies	13-jun	14-jun	2									

Figura 24: Temporización de la primera fase de la primera acción de mejora. Fuente: Elaboración propia

6.7.6. Implementación

La presente acción de mejora es la primera de la mejora del almacén. Se han obtenido los siguientes resultados.

- Se ha reducido los huecos de cajas de bogies de 48 huecos ocupados a 16.
- Se ha reservado los huecos generados para cajas de trenes de pasajeros

La Figura 25 muestra una comparativa entre la temporización de las tareas planificadas y las realmente implementadas. Se puede observar que la tarea 2, referente al diseño de la estrategia de apilamiento, sufrió un retraso de un día, lo que a su vez provocó un retraso en la finalización de esta fase de la mejora.

Limpieza del almacén					SEMANA 23					SEMANA 24				
ID	Tarea	Fecha inicio	Fecha fin	Duración (Días)	L	M	X	J	V	L	M	X	J	V
					03/06/2024	04/06/2024	05/06/2024	06/06/2024	07/06/2024	10/06/2024	11/06/2024	12/06/2024	13/06/2024	14/06/2024
1	Evaluación del estado actual de los bogies	03-jun	03-jun	1										
2	Diseño de la estrategia de apilamiento	04-jun	10-jun	5										
3	Preparación del área de apilamiento	11-jun	12-jun	2										
4	Ejecución del apilamiento de bogies	13-jun	14-jun	2										

Figura 25: Comparación de temporización real de la primera fase de la primera acción de mejora. Fuente: Elaboración propia

6.8. Acción de mejora parte 2: cambio de layout del almacén

6.8.1. Descripción de la acción

La siguiente acción de mejora, denominada "cambio del layout del almacén" tiene como objetivo reorganizar la distribución de las cajas con el fin de reducir las numerosas incidencias descritas en el capítulo anterior. Esta mejora busca, de manera directa, aumentar la capacidad de

almacenamiento al liberar espacio y reducir los tiempos de maniobra durante las operaciones de carga y descarga. De manera indirecta, también se espera disminuir los parones en la producción de la fábrica.

Para implementar esta mejora, es necesario primero llevar a cabo la acción de mejora 1, descrita anteriormente. Una vez liberado el espacio ocupado por los bogies, se podrá proceder con la reorganización de la distribución de las cajas almacenadas.

Con el objetivo de mejorar la capacidad de almacenaje, y que la zona de maniobra del camión dentro de las naves sea prácticamente nula, se ha planteado instalar un puente grúa en la nave principal.

6.8.2. Definición de responsables y participantes

En la Tabla 32 se detallan los principales responsables de la acción de mejora.

Responsable 1	Ingeniero de organización
Responsable 2	Ingeniero de producción
Participante 1	Ingeniero de diseño de útil
Participante 2	Responsable del almacén
Participante 3	Operario de carga y descarga

Tabla 32: Responsables de la segunda fase de la primera acción de mejora. Fuente: Elaboración propia

6.8.3. Detalle de las tareas

1. Análisis del layout actual

Esta tarea se realiza paralelamente con el análisis previo en la acción de mejora 1. Para ello se realiza un estudio detallado de la disposición actual de las cajas y bogies en el almacén. En este análisis se estudia que el espacio disponible para que los camiones maniobren es demasiado elevado.

2. Análisis y valoración de instalación de puente grúa

Se realiza un análisis exhaustivo para evaluar la viabilidad de instalar un puente grúa en la nave. Para ello, es fundamental considerar dos factores clave: la altura libre y la luz de la nave.

La altura libre se refiere a la distancia vertical desde el suelo hasta la parte inferior de la estructura del techo, sin obstrucciones. En este caso, la altura de los pilares laterales es de 10 metros, mientras que la altura en la cumbrera, es decir, en la parte más alta de la nave, es de 12,5 metros.

La luz de la nave hace referencia a la distancia entre los dos pilares principales que sostienen la estructura del techo. En la nave A, la luz es de 36,55 metros, y en la zona de la nave B, donde se planea instalar el segundo puente grúa, la luz es de 32,40 metros. Estos datos son esenciales para seleccionar el tipo de puente grúa adecuado, que debe abarcar esta distancia sin comprometer la estabilidad estructural.

Para la instalación del puente grúa, se contemplan dos opciones:

- **Opción 1:** Análisis de la capacidad de la zapata de hormigón existente

La primera opción considera la posibilidad de utilizar los pilares existentes para soportar el puente grúa. Esto requeriría un análisis detallado de la capacidad de carga de las zapatas de hormigón que sostienen los pilares. Sin embargo, debido a la falta de datos precisos sobre el cálculo estructural de la nave, esta opción se descartó, ya que no se puede garantizar la seguridad sin una evaluación adecuada.

- **Opción 2:** Instalación de una estructura independiente

La segunda opción, y la más segura, consiste en instalar una estructura metálica independiente de la existente, diseñada específicamente para soportar el peso del puente grúa. De tal forma que elimina la incertidumbre sobre la capacidad de carga de la estructura actual.

Para proceder con esta opción, se deben realizar varias acciones previas:

- Descubrimiento de la cimentación existente:

Es necesario excavar para exponer la cimentación actual de los pilares de hormigón. La nave cuenta con una cimentación reforzada compuesta por una capa de zahorra y una solera de hormigón armado de 20 cm de espesor con una resistencia de 25 N/mm².

- Instalación de placas de anclaje:

Una vez expuesta la cimentación, se colocan placas de anclaje aseguradas con tacos metálicos. Estas placas proporcionarán un soporte sólido para la nueva estructura. Después de instalar las placas, se restablecen las capas de zahorra y solera para garantizar la estabilidad y durabilidad del anclaje.

- Montaje de la estructura metálica independiente:

Sobre las placas de anclaje, se erige la nueva estructura metálica independiente, compuesta por perfiles HEB240. Estos perfiles, con una dimensión de 24 cm, son lo suficientemente robustos para soportar el puente grúa y lo suficientemente compactos para minimizar la invasión del espacio en la nave (Ilustración 13).

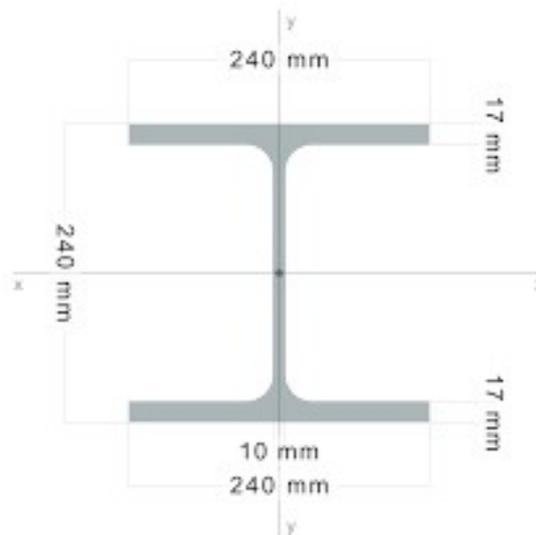


Ilustración 13: Perfil HEB. Fuente: Elaboración propia.

3. Diseño y planificación del nuevo layout

Para el diseño y la planificación del nuevo layout, el objetivo principal es maximizar la capacidad de almacenamiento de las naves y optimizar el flujo de trabajo. Se ha decidido colocar todas las cajas de los trenes de pasajeros en la misma dirección, evitando la obstrucción por las columnas que anteriormente limitaba el espacio disponible.

Uno de los objetivos clave de esta reorganización es eliminar la necesidad de que los camiones ingresen a las naves. Actualmente, el desplazamiento de los camiones dentro de las instalaciones reduce considerablemente el espacio disponible para almacenamiento. Para solucionar este problema y mejorar la eficiencia del flujo de trabajo, se instalarán nuevas puertas de gran tamaño que facilitarán el acceso y salida de los camiones sin comprometer el espacio interno.

Se ha decidido instalar tres puertas de grandes dimensiones, cada una de 9,5 metros de ancho por 6 metros de alto, para la entrada y salida de los camiones. Dos de estas puertas estarán ubicadas en la parte sur de la nave, y una en la parte norte. Se reservará un espacio de 9,5 metros de ancho por 26 metros de largo en ambas naves para que los camiones puedan maniobrar y cargar las cajas sin problemas.

La reorganización también incluye la asignación específica de espacios dentro de las naves según el tamaño de las cajas:

- Nave A y la parte izquierda de la Nave B (donde se instalarán los puentes grúa) estarán destinadas al almacenamiento de las cajas de grandes dimensiones, es decir, las de tipo 3 y 4. (ver imagen tal)
- La parte derecha de la Nave B, donde no se instalará un puente grúa, se destinará al almacenamiento de las cajas más pequeñas, de tipo 1 y 2, así como a los bogies.

La carga y descarga de las cajas de tipo 1 y 2 se realizará de manera similar a la situación actual, utilizando un camión de menores dimensiones y un montacargas. Para esta operación, se

requiere un espacio de 5,5 metros entre las cajas almacenadas, ya que se necesita acomodar el ancho del camión (2,5 metros) y el montacargas (2 metros).

Los bogies apilados se almacenarán en la parte derecha de la nave B, junto al cerramiento, para facilitar el acceso del camión a través de la puerta ubicada en el lateral derecho. Dado que los bogies son considerablemente más pequeños que las cajas de trenes de pasajeros, no habrá problemas de espacio para la maniobra del camión en esta zona.

La nueva distribución se representa en la Figura 26.

DISEÑO DETALLADO E IMPLEMENTACION DE LA PRIMERA MEJORA: MEJORA DEL ALMACÉN INTERMEDIO

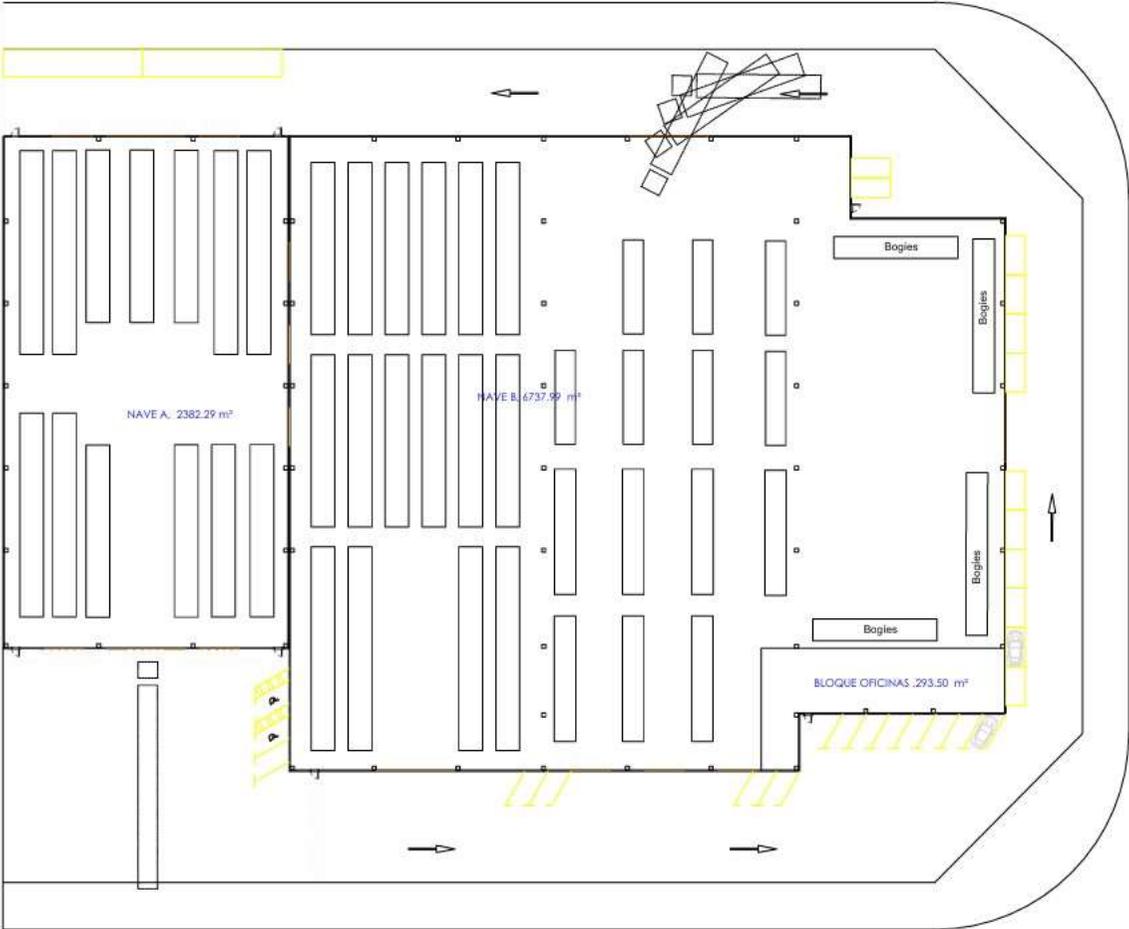


Figura 26: Plano de la nueva situación de la nave. Fuente: Elaboración propia.

A continuació, se mostra Figura 27 on es observa la estructura metèlica i els ponts grúes instal·lats.

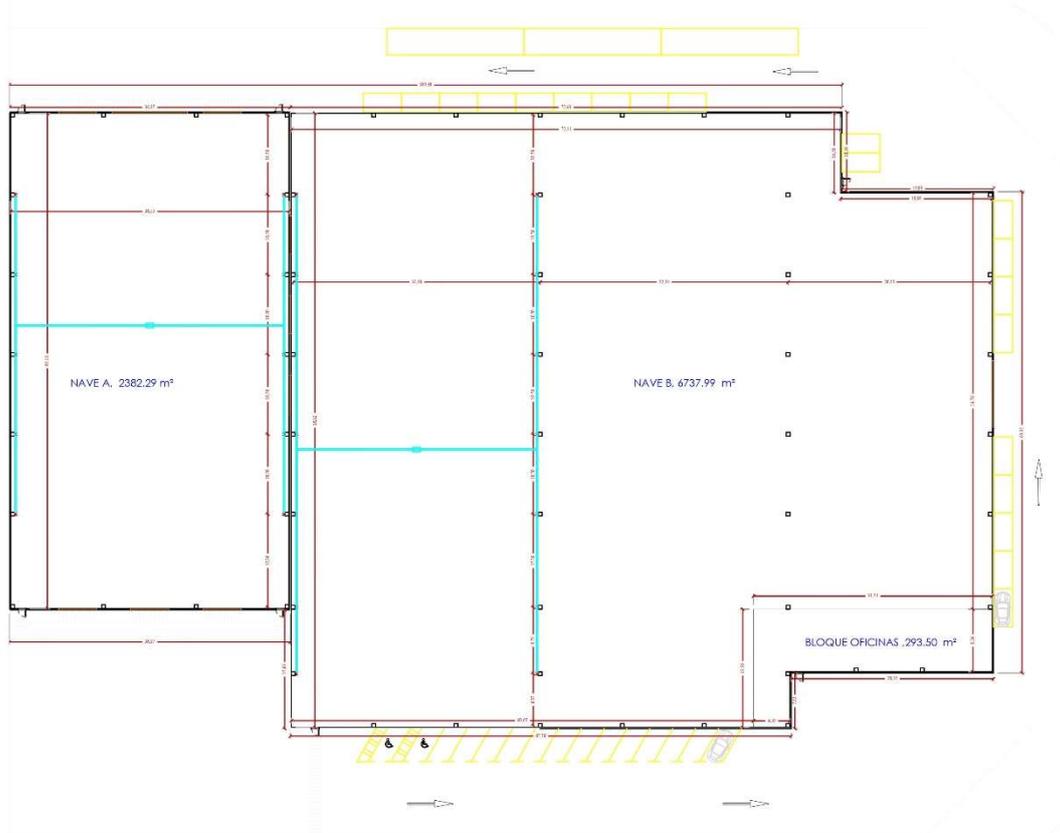


Figura 27: Ubicació de la estructura pont grúa. Fuente: Elaboración propia.

Para demostrar la efectividad de esta reorganización, se ha realizado una tabla comparativa que muestra la capacidad de almacenamiento antes y después de la implementación del nuevo layout representada en la Tabla 33.

Tipo	Situación inicial	Situación actual
1	0	8
2	11	7
3	9	17
4	3	10
Total	23	42

Tabla 33: Comparación de capacidad de almacenamiento. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, la capacidad de almacenaje se ha prácticamente duplicado, lo que representa una mejora significativa en la utilización del espacio disponible.

En resumen, los pasos a seguir para alcanzar estos objetivos son:

1. Derribar el cerramiento existente y colocar tres puertas de 9,5 x 6 metros.
2. Instalar dos puentes grúa, tal como se ha descrito previamente en el desarrollo del proyecto.

4. Selección e instalación de puente grúa.

Para la selección del puente grúa, es importante considerar factores como la luz de las naves y la capacidad de carga, dado que estas características determinarán la eficacia y seguridad del equipo instalado. En este caso, la Nave A tiene una luz de 36,55 metros y la Nave B, 32,40 metros. La caja más pesada que se manejará es la de tipo 4, con un peso de 12,5 toneladas, por lo que se requiere un puente grúa capaz de soportar al menos esta carga máxima.

Después de evaluar varias opciones, se seleccionaron puentes grúa monorraíl con una capacidad de 16 toneladas, adquiridos a través del catálogo "puentes_gruas_programa_abus.pdf" de Abusgrúas.es. La luz del puente grúa es ajustable, lo que permite adaptarlo perfectamente a las dimensiones de las naves: 36,00 metros en la Nave A y 32,00 metros en la Nave B. En la figura tal se muestra una imagen del modelo de puente grúa seleccionado, que se ajusta a los requisitos operativos y estructurales del almacén.

Además, se llevarán a cabo mejoras en las puertas de acceso para facilitar las operaciones de carga y descarga. En la Nave A, se reemplazará la puerta central en la parte sur con una puerta seccional de 9,50 x 6,00 metros (Ilustración 14), fabricada con panel sándwich de 40 mm de espesor, para permitir la entrada de vehículos en la zona de taller. Se instalarán dos puertas adicionales de las mismas dimensiones: una en la parte norte y otra en la parte sur, ubicadas según lo indicado en el plano correspondiente (ver Figura 26).



Ilustración 14: Puerta ejemplo. Fuente: Portessoley.

En la Nave B, donde se almacenarán las cajas de tipo 1 y 2, se instalarán tres puertas seccionales de 5,00 x 6,00 metros, que facilitarán el acceso y la movilidad dentro del área destinada a estas cajas.

5. Reorganización de las cajas

Tras la instalación de los dos puentes grúa, se procede a la reorganización de las cajas de trenes de pasajeros, siguiendo los pasos establecidos en la planificación. Esta fase es importante para optimizar el espacio y mejorar la eficiencia operativa dentro del almacén.

Antes de reorganizar las cajas, se realizó una acción previa ya descrita anteriormente con los bogies: estos fueron apilados hasta una altura de tres unidades y trasladados fuera de la nave temporalmente. Esta acción fue necesaria para liberar espacio y permitir la correcta reubicación de los bogies en su área designada, de acuerdo con el nuevo layout.

En la Nave A, las cajas ya se encuentran dispuestas verticalmente, lo que se ha considerado óptimo para maximizar el uso del espacio. Por lo tanto, no es necesario realizar ajustes en la disposición de estas cajas. Sin embargo, en la Nave B, la mayoría de las cajas requieren un cambio de orientación para alinearse con la nueva organización planificada.

Para llevar a cabo la reorganización en la Nave B de manera eficiente, es fundamental comenzar con la carga de las cajas ubicadas en el pórtico central utilizando un camión. Una vez que estas cajas han sido retiradas, el puente grúa se utilizará para reposicionarlas correctamente, asegurando que todas las unidades estén alineadas y accesibles de acuerdo con el nuevo layout.

6.8.4. Definición de los recursos asignados a las tareas

En la Tabla 34 representan los recursos asignados a las tareas correspondientes a la primera fase de la mejora.

ID tarea	Recurso humano	Recurso material
1	- Ingeniero industrial (1) - Técnico de almacén (1)	- Software CAD - Equipos de medición
2	- Ingeniero estructural (1) - Consultor de instalaciones (1)	- Planos estructurales de la nave - Herramientas de evaluación (software de simulación)
3	- Ingeniero de diseño (1) - Especialista en logística (1)	- Software de diseño (AutoCAD) - Planos actualizados de la nave
4	- Ingeniero de proyectos (1) - Equipo de instalación (3-5 operarios) - Supervisor de seguridad (1)	- Puente grúa seleccionado - Herramientas de instalación (soldadura, grúas auxiliares) - Materiales de anclaje (placas, tacos metálicos)
5	- Operadores de puente grúa (2) - Operadores de montacargas (2) - Supervisor de almacén (1)	- Puente grúa instalado - Montacargas - Equipos de protección personal (casco, guantes, chalecos)

Tabla 34: Recursos de la segunda fase de la primera acción de mejora. Fuente: Elaboración propia

6.8.5. Temporización

Se ha estimado el tiempo requerido para las tareas en la segunda fase de la mejora del almacén, lo cual se ha representado en la Tabla 35 a través de un diagrama de Gantt.

Cambio de layout					SEMANA 25			SEMANA 26			SEMANA 27			SEMANA 28			SEMANA 29			SEMANA 30			SEMANA 31														
ID	Tarea	Fecha inicio	Fecha fin	Duración (Días)	17/06/2024	18/06/2024	19/06/2024	20/06/2024	21/06/2024	25/06/2024	26/06/2024	27/06/2024	28/06/2024	01/07/2024	02/07/2024	03/07/2024	04/07/2024	05/07/2024	08/07/2024	09/07/2024	10/07/2024	11/07/2024	12/07/2024	15/07/2024	16/07/2024	18/07/2024	19/07/2024	22/07/2024	23/07/2024	24/07/2024	25/07/2024	26/07/2024	29/07/2024	30/07/2024	31/07/2024		
					L	M	X	J	V	M	X	J	V	L	M	X	J	V	L	M	X	J	V	L	M	X	J	V	L	M	X	J	V	L	M	X	J
1	Análisis del layout actual	17-jun	19-jun	3																																	
2	Análisis y valoración de instalación de puente grúa:	20-jun	27-jun	5																																	
3	Diseño y planificación del nuevo layout	28-jun	08-jul	7																																	
4	Selección e instalación de puente grúa.	09-jul	26-jul	14																																	
5	Reorganización de las cajas	29-jul	31-jul	3																																	

Tabla 35: Temporización de la segunda fase de la primera acción de mejora. Fuente: Elaboración propia

6.8.6. Implementación

La presente acción de mejora supone la segunda parte del proyecto de mejora del almacén. Se han obtenido los siguientes resultados:

- Se ha duplicado la capacidad de almacenaje
- Se ha disminuido el tiempo de maniobra de carga y descarga de las cajas.

Comparativa entre la planificación y la ejecución de la acción de mejora

En la Tabla 36 muestra una comparativa de la planificación. Se puede observar que la tarea 2 y 3 sufren ambas un retraso de un día, lo que a su vez provocó un retraso de total de dos días en la finalización de esta fase de la mejora.

7. DISEÑO DETALLADO E IMPLEMENTACION DE LA SEGUNDA ACCIÓN DE MEJORA: ASOCIADA A CONTROL AUTOMÁTICA DE LAS CAJAS

7.1 Introducción

El capítulo anterior se centró en la mejora del almacén, detallando y desarrollando la primera acción de mejora. Se desarrollo en dos partes para conseguir una mejora total del almacén y se reorganizo consiguiendo duplicar la capacidad de almacenaje.

El objetivo principal del capítulo actual es el desarrollo e implementación de la segunda acción de mejora. Esta acción se enfoca en el diseño e implementación de un sistema automatizado de control y ubicación de cajas, con el fin de mejorar la gestión de calidad en la planta.

Este capítulo está estructurado en varias secciones. Primero, se detalla una breve descripción y un contexto que justifica la necesidad de esta acción de mejora. A continuación, se detalla la selección de la mejor alternativa tecnológica utilizando el método AHP explicando todas las alternativas posibles, se especifican las tareas asociadas a la acción. Y se concluye el capítulo con unas conclusiones sobre la implementación del nuevo sistema.

7.2 Breve descripción Acción de Mejora 2: nuevo sistema de control y ubicación automática de las cajas

Esta acción de mejora tiene como objetivo diseñar e implementar un nuevo sistema de control y ubicación para las estructuras de las cajas en el proceso de fabricación, desde que las cajas están ensambladas y pintadas hasta sus posteriores estaciones de producción.

Para llevar a cabo la implementación del sistema, es necesario presentar las características de cada opción tecnológica y seleccionar la mejor alternativa utilizando el método AHP, comenzando por definir los criterios a evaluar.

7.2.1 Contexto

Como se ha detallado en los capítulos anteriores, la ubicación de las cajas en el taller de pintura y en los almacenes intermedios está significativamente desactualizada. Ningún empleado de la fábrica tiene un conocimiento preciso de la ubicación de las cajas en los talleres de calderería y pintura.

Si bien podrían inferir su ubicación a través de los planes de producción, esta información se actualiza mensualmente. Esto provoca que, hasta que los planes de producción se actualicen, nadie pueda saber con certeza si una caja está en las vías de pintura, en calderería o en los almacenes intermedios.

7.2.2 Objetivo

El objetivo principal de este proyecto es implementar un sistema automatizado para la localización precisa y en tiempo real de las cajas en los talleres de pintura, calderería y almacenes intermedios de Stadler Rail. Este sistema permitirá un seguimiento exacto y continuo de las cajas, mejorando significativamente la gestión de los materiales y la eficiencia operativa en la planta de producción.

De esta manera, se reduce considerablemente el tiempo de búsqueda de las cajas y, lo más importante, se asegura la localización de todas ellas, ya que actualmente en algunos almacenes hay cajas sin identificar.

7.2.3 Responsables y participantes

Los principales responsables de la acción de mejora se detallan en la Tabla 37.

Responsable 1	Jefe de proyecto
Responsable 2	Ingeniero de desarrollo
Participante 1	Técnico de compras
Participante 2	Responsable de calidad
Participante 3	Operario

Tabla 37: Responsables de la segunda acción de mejora. Fuente: Elaboración propia

7.3 Definición de requisitos del sistema

Para la primera tarea, se busca definir los criterios para la selección del nuevo sistema, teniendo en cuenta varios factores clave:

- **Capacidad de soportar la suciedad:** En el taller de calderería, se genera polvo debido al uso de soldadura, por lo que el sistema debe ser capaz de resistir ambientes sucios sin perder funcionalidad.
- **Facilidad de retirada:** En el taller de pintura, las cajas entran y salen frecuentemente de una cabina de pintura. Por tanto, es fundamental que el sistema de etiquetado sea fácil de retirar y no deba ingresar a la cabina.
- **Fijación segura y facilidad de manipulación:** Además de ser fácil de retirar, el sistema debe estar firmemente sujeto para evitar que se caiga, como ocurre actualmente con los carteles que se utilizan, los cuales a menudo se encuentran en el suelo, facilitando la pérdida de información.
- **Fiabilidad y robustez:** El sistema tecnológico debe ser altamente fiable, con una tasa mínima de errores en la identificación y localización de las cajas, y debe ser capaz de operar sin interrupciones en entornos exigentes.

- **Facilidad de uso:** El sistema debe ser fácil de usar para los operarios, con una interfaz intuitiva y procesos automatizados que minimicen la intervención humana.

7.4 Investigación y análisis de tecnologías disponibles

Para la siguiente tarea se debe de analizar las posibles tecnologías para el nuevo sistema de localización. Para ello se han planteado las siguientes opciones: código unidimensional, el código QR, RFID y RTLS.

Posibles alternativas:

Los códigos de barra unidimensionales son un conjunto único de líneas verticales de diferente grosor que están separadas por espacios de distinto tamaño. Estos códigos solo almacenan datos alfanuméricos.

Las ventajas son:

- **Bajo coste:** Son económicos de imprimir y los lectores son asequibles.
- **Facilidad de implementación:** Fáciles de integrar y usar en la mayoría de sistemas.
- **Rapidez en la lectura:** Permiten escaneo rápido, ideal para entornos de alto volumen.
- **Amplia Adopción:** Estándares globales que facilitan su uso en diversas industrias.

Las principales desventajas:

- **Capacidad limitada de datos:** Almacenan poca información, generalmente solo números o letras básicos.
- **Requiere línea de visión directa:** Necesitan ser escaneados directamente, lo que puede ser un problema si el código está oculto o dañado.
- **Susceptibles al daño:** Pueden volverse ilegibles si se rasgan o ensucian.
- **No actualizables dinámicamente:** Una vez impresos, no se puede cambiar la información sin reimprimir el código.

Los códigos QR son códigos bidimensionales que pueden almacenar más información que los códigos de barras tradicionales. Son escaneados utilizando cámaras o dispositivos de lectura específicos que decodifican la información almacenada.

Las ventajas son:

- **Bajo coste:** Los códigos QR son baratos de imprimir y no requieren tecnología avanzada para ser generados.
- **Fácil implementación:** La tecnología es fácil de implementar y no requiere infraestructura compleja.
- **Compatibilidad universal:** Se pueden leer con cualquier dispositivo que tenga una cámara, incluidos smartphones y tablets.

- Alta capacidad de información: Puede almacenar más información que un código de barras tradicional.

Las principales desventajas:

- Línea de visión directa necesaria: Los códigos QR requieren que el escáner tenga una línea de visión directa con el código, lo que puede ser una limitación en almacenes grandes o desordenados.
- Desgaste y daño: Los códigos QR impresos pueden desgastarse o dañarse fácilmente, lo que dificulta la lectura.
- No permite actualización dinámica: La información contenida en un QR no puede cambiarse sin reemplazar el código.

La tecnología RFID utiliza ondas de radio para identificar y rastrear objetos etiquetados con etiquetas RFID. Estas etiquetas pueden ser pasivas (sin batería) o activas (con batería), y se comunican con lectores RFID que capturan la información almacenada en las etiquetas.

Ventajas:

- No requiere línea de visión: Las etiquetas RFID pueden ser leídas a través de materiales y sin necesidad de una línea de visión directa.
- Lectura múltiple simultánea: Puede leer varias etiquetas al mismo tiempo, lo que agiliza el proceso de escaneo.
- Durabilidad: Las etiquetas RFID son más duraderas y resistentes a condiciones ambientales adversas en comparación con los códigos QR.
- Capacidad de actualización dinámica: La información en una etiqueta RFID puede ser actualizada sin necesidad de reemplazar la etiqueta.

Desventajas:

- Elevado coste: La inversión inicial de las etiquetas RFID y los lectores puede ser significativamente mayor que el de los códigos QR.
- Interferencia: Las señales de radio pueden ser bloqueadas o interferidas por ciertos materiales, como el metal o líquidos.

Los sistemas RTLS combinan varias tecnologías (como RFID activo, UWB, Bluetooth, Wi-Fi) para proporcionar una localización en tiempo real de objetos en un área determinada.

Ventajas:

- Precisión en Tiempo Real: Proporciona información precisa y en tiempo real sobre la ubicación de los objetos.
- Cobertura Amplia: Puede cubrir grandes áreas sin necesidad de múltiples lectores o infraestructura adicional.

- Versatilidad: Puede integrar múltiples tecnologías para diferentes niveles de precisión y escalabilidad.

Desventajas:

- Coste elevado: Involucra una inversión significativa tanto en hardware como en infraestructura.
- Complejidad Técnica: Requiere una planificación y configuración cuidadosa para garantizar una cobertura y precisión adecuada.

7.5 Evaluación de Alternativas Tecnológicas

Para la selección de la mejor alternativa se va a emplear el Método de AHP. Para ello se deben de definir los criterios de elección, nombrados en la primera tarea.

Los criterios para seleccionar la mejor tecnología son:

Coste: Se evaluará el coste de implementación y operación de cada tecnología.

Facilidad de manejo: Este criterio considera la simplicidad con la que el sistema puede ser operado y mantenido. Incluye aspectos como la facilidad para instalar y retirar las etiquetas o dispositivos.

Robustez e integridad: Se valora la capacidad de la tecnología para funcionar correctamente bajo diversas condiciones ambientales. Esto incluye la resistencia a altas temperaturas, humedad, polvo, impactos físicos y suciedad.

Capacidad de almacenamiento de Información: Este criterio mide la cantidad y tipo de datos que la tecnología puede almacenar y transmitir.

En la Figura 28 se ha representado la jerarquía del método AHP.

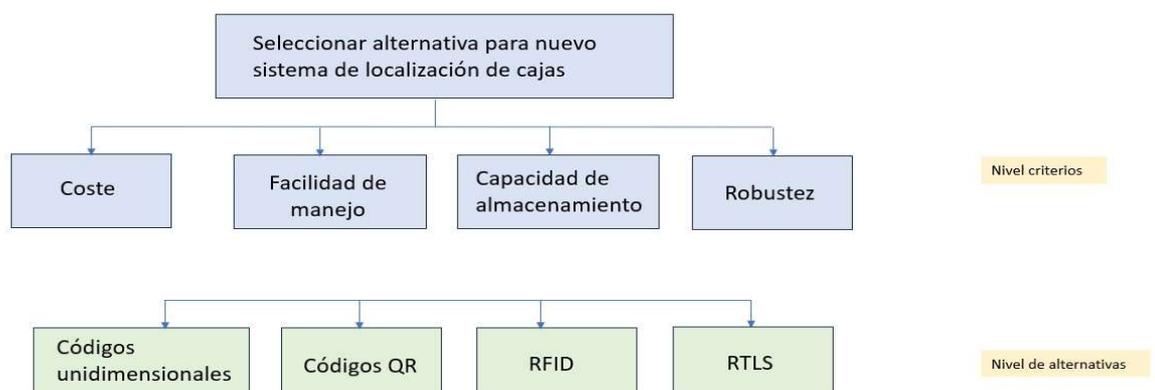


Figura 28: Jerarquía del Método AHP de la segunda acción de mejora. Fuente: Elaboración propia.

7.5.1 Selección de la tecnología óptima

Para obtener la tabla de prioridades se establecen los siguientes criterios.

- Robustez tiene una importancia moderada sobre coste.
- Robustez tiene entre una importancia moderada e igual importancia sobre fácil manejo.
- Robustez tiene entre una importancia fuerte e importancia muy fuerte sobre Capacidad de almacenaje.
- Fácil manejo tiene una importancia fuerte sobre Coste.
- Fácil manejo tiene una importancia muy fuerte sobre Capacidad de almacenaje.
- Coste tiene una entre importancia moderada e importancia fuerte sobre Capacidad de almacenaje

A continuación, se muestra la Tabla 38, con la comparación de los criterios.

	Coste	Fácil manejo	Robustez	Capacidad
Coste	1	0,20	0,33	4
Fácil manejo	5	1	0,50	7
Robustez	3	2	1	6
Capacidad	0,25	0,14	0,17	1

Tabla 38: Comparación pareada de criterios. Fuente: Elaboración propia

En este primer caso, se evalúa el coste asociado a la implementación de cada una de las alternativas. Los códigos de barras y los códigos QR son opciones bastante asequibles, ya que los lectores necesarios para su uso son económicos. Por otro lado, la tecnología RFID es algo más cara debido a los lectores y la infraestructura necesarios, en comparación con las tecnologías mencionadas anteriormente. Por último, el RTLS suele ser la opción menos económica, ya que requiere el uso de múltiples tecnologías y una infraestructura significativa para proporcionar localización en tiempo real.

En la Tabla 39 se presenta la matriz de comparación según el criterio de coste.

DISEÑO DETALLADO E IMPLEMENTACION DE LA SEGUNDA ACCIÓN DE MEJORA: ASOCIADA A CONTROL AUTOMÁTICA DE LAS CAJAS

Coste	Código unidimensional	Código QR	RFID	RTLS
Código unidimensional	1	2	5	7
Código QR	0,50	1	3	6
RFID	0,20	0,33	1	5
RTLS	0,14	0,17	0,20	1

Tabla 39: Matriz de comparación del criterio coste. Fuente: Elaboración propia

En el segundo caso, se evalúa el criterio de facilidad de manejo, que se refiere a la facilidad con la que los operarios pueden adaptarse a la tecnología. Este caso es similar al anterior, ya que los códigos de barras unidimensionales y los códigos QR son los más fáciles de manejar, pues solo requieren impresoras y escáneres básicos.

Los sistemas RFID también son relativamente fáciles de usar una vez instalados, ya que no necesitan una línea de visión directa para leer las etiquetas, aunque su instalación inicial es más compleja. Por otro lado, el RTLS es la opción más compleja, ya que su instalación requiere conocimientos técnicos especializados.

La Tabla 40 presenta la matriz de comparación según el criterio de facilidad de manejo.

Fácil de manejo	Código unidimensional	Código QR	RFID	RTLS
Código unidimensional	1	2	5	7
Código QR	0,50	1	3	6
RFID	0,20	0,33	1	5
RTLS	0,14	0,17	0,20	1

Tabla 40: Matriz de comparación del criterio fácil manejo. Fuente: Elaboración propia

El siguiente criterio evalúa la robustez del sistema frente a distintas temperaturas y condiciones de suciedad.

La alternativa más robusta es la tecnología RFID, que puede funcionar en condiciones ambientales adversas, como altas temperaturas y presencia de polvo. Le sigue la tecnología RTLS. A continuación, se encuentran los códigos QR, que pueden soportar cierto desgaste físico, como manchas y rayaduras. Por último, están los códigos de barras unidimensionales, que son muy sensibles a los daños físicos y pueden volverse ilegibles con facilidad.

A continuación, se presenta la Tabla 41 que muestra la matriz de comparación según el criterio de robustez.

Robustez	Código unidimensional	Código QR	RFID	RTLS
Código unidimensional	1	0,25	0,14	0,20
Código QR	4	1	0,20	0,33
RFID	7	5	1	2
RTLS	5	3	0,50	1

Tabla 41: Matriz de comparación del criterio robustez. Fuente: Elaboración propia

El último criterio a evaluar es la capacidad de almacenamiento de información. Los sistemas con mayor capacidad son los RTLS, ya que se utilizan para la localización en tiempo real e incluyen el historial de movimiento. Les siguen los sistemas RFID, que pueden almacenar más información que los códigos de barras.

A continuación, se presenta la Tabla 42 que muestra la matriz de comparación según el criterio de capacidad de almacenamiento

Capacidad de almacenaje	Código unidimensional	Código QR	RFID	RTLS
Código unidimensional	1	0,25	0,17	0,14
Código QR	4	1	0,50	0,20
RFID	6	2	1	0,33
RTLS	7	5	3	1

Tabla 42: Matriz de comparación del criterio capacidad de almacenamiento. Fuente: Elaboración propia

Después de calcular las matrices, se procede a determinar la ratio de consistencia. La consistencia se puede evaluar mediante el índice de consistencia (CI), que se calcula con la siguiente expresión [8].

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad [8]$$

DISEÑO DETALLADO E IMPLEMENTACION DE LA SEGUNDA ACCIÓN DE MEJORA: ASOCIADA A CONTROL AUTOMÁTICA DE LAS CAJAS

Donde n representa la dimensión de la matriz, que en este caso es 4, y λ_{max} es calculado de acuerdo con lo indicado en el ANEXO 1. Se obtiene el CI para cada una de las matrices. Por otro lado, la ratio de consistencia (CR) se determina utilizando la siguiente fórmula [9].

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad [9]$$

Aquí, RI (índice de consistencia aleatorio) se obtiene de la tabla especificada en el anexo.

Para que la matriz sea considerada consistente, el CR debe ser menor o igual a 0.08. Como se puede ver en la Tabla 43 a continuación, las matrices cumplen con este criterio y son consistentes.

Criterio	CI	CR
Coste	0,0588	0,0666
Fácil de manejo	0,0588	0,0666
Robustez	0,0427	0,0484
Capacidad	0,0444	0,0503

Tabla 43: Consistencia de las matrices. Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenidas las cuatro matrices de comparación de alternativas, se procede a calcular el vector propio de cada matriz. Este vector propio es la media geométrica normalizada de cada una de las alternativas. Como resultado, se obtiene la siguiente tabla que muestra los pesos asignados a cada alternativa, así como los vectores propios derivados de las matrices correspondientes.

La Tabla 44 recoge la información de los pesos de cada criterio y en función de cada alternativa.

	Coste	Fácil de manejo	Robustez	Capacidad
Pesos	0,131	0,372	0,446	0,051
Código unidimensional	0,512	0,512	0,052	0,049
Código QR	0,307	0,307	0,129	0,140
RFID	0,135	0,135	0,521	0,249
RTLS	0,047	0,047	0,298	0,563

Tabla 44: Matriz de comparaciones globales. Fuente: Elaboración propia

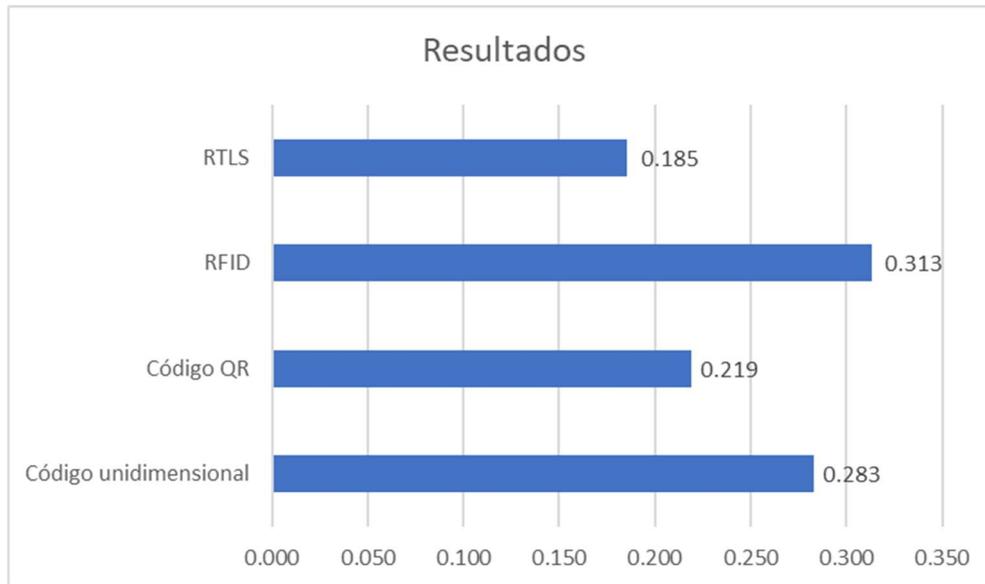


Figura 29: Resultados de las alternativas del método AHP. Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la Figura 29, el sistema RFID es la mejor opción debido a su alta robustez y capacidad de almacenamiento de información. En la empresa, se valora especialmente la robustez de los sistemas tecnológicos para que puedan soportar diversas condiciones climáticas, ya que estarán en funcionamiento de manera continua.

A pesar de no ser la opción más económica, el RFID ofrece un buen equilibrio entre facilidad de manejo y funcionalidad avanzada, superando significativamente a alternativas como los códigos unidimensionales y QR.

7.5.2 Diseño del Sistema Seleccionado

El sistema RFID consta de 4 componentes, la etiqueta RFID, el lector, una antena y la impresora.

La etiqueta RFID está formada por un transductor una antena y un chip. De tal forma que se transmite la información a través de ondas de radio a un lector RFID. La etiqueta ira incorporada en un imán con el fin de colocar y retirar cada vez que entre a una cabina de calor.

En la Ilustración 15 se muestra una imagen de un ejemplo de lector RFID fijo.



Ilustración 15: Lector fijo. Fuente: Zebra Technologies

DISEÑO DETALLADO E IMPLEMENTACION DE LA SEGUNDA ACCIÓN DE MEJORA: ASOCIADA A CONTROL AUTOMÁTICA DE LAS CAJAS

Otro componente es la impresora RFID, el cual permite la impresión de etiquetas RFID de manera eficiente. En la Ilustración 16 se muestra un ejemplo de impresora RFID.



Ilustración 16: Impresora RFID. Fuente: Zebra Technologies

Y por último las antenas, que se encargan de transmitir la señal de radiofrecuencia entre el lector y la etiqueta.

7.5.3 Elección del lugar donde ubicar los lectores

El lector RFID, el cual se va a escoger lector fijo y se van a colocar en sitios estratégicos, como la entrada del taller de calderería y el punto de salida, al igual que en el taller de pintura que se colocaran varios porque hay más vías de recepción de cajas mostrado en la Ilustración 17. Por otra parte, en los almacenes intermedios se colocan en la puerta de recepción de cajas (ver Ilustración 18).

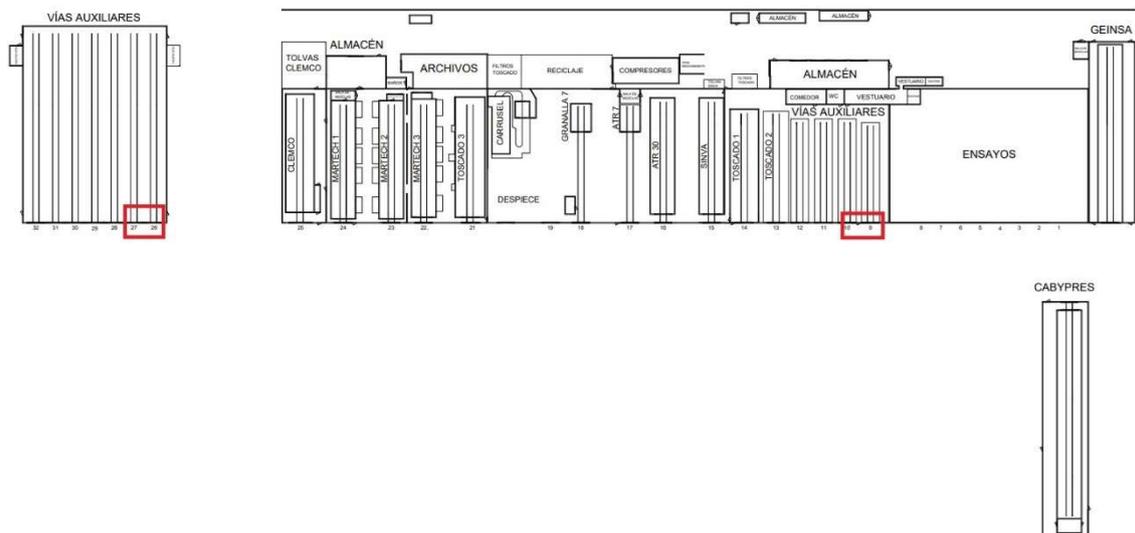


Ilustración 17: Ubicación del lector fijo en las vías de pinturas. Fuente: Elaboración propia.

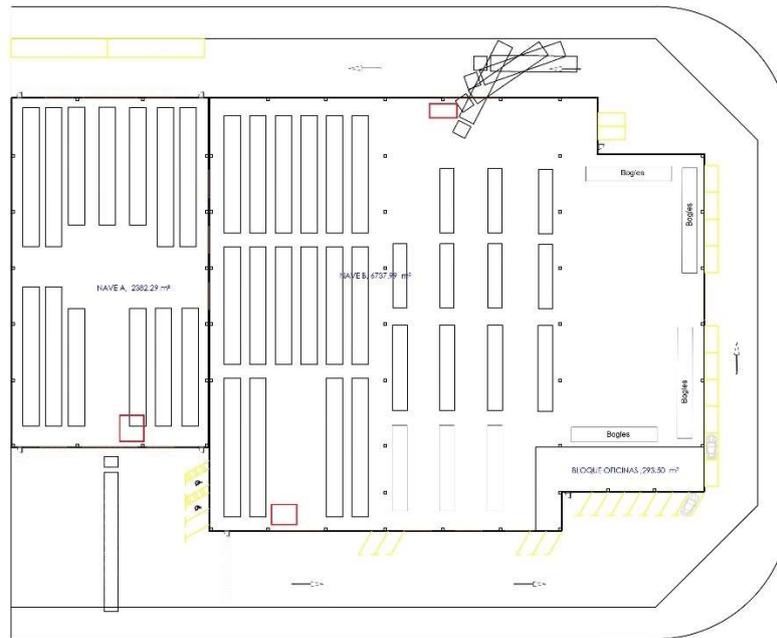


Ilustración 18: Ubicación de lector fijo en el almacén intermedio. Fuente: Elaboración propia.

7.5.4 Prueba piloto

La presente tarea consiste en evaluar el funcionamiento del modelo inicial del sistema de control y ubicación de cajas utilizando la tecnología seleccionada RFID. Durante esta fase se instala en unas cajas prototipo para simular las condiciones reales. Se realizan pruebas con el objetivo de identificar posibles problemas y realizar los ajustes necesarios antes de implantarlo en todas las cajas.

7.5.5 Implementación del Sistema

La última tarea consiste en implantar la etiqueta RFID para todos los proyectos de la fábrica y así cualquier empleado de la empresa sepa donde se ubica cada caja.

Después de colocar todas las etiquetas en los imanes correspondientes, las señales de ubicación se enviarán directamente al sistema de información de la empresa, que en este caso es SAP. Cada lector estará asociado con una ubicación específica de la nave y, al leer el código de una caja, indicará que dicha caja se encuentra en esa ubicación.

7.6 Definición de los recursos asignados a las tareas

Tabla 45 representan los recursos asignados a las tareas correspondientes a la primera fase de la mejora.

7.8 Conclusiones

El objetivo principal de esta segunda acción de mejora es implementar un sistema automatizado de control y ubicación de cajas para mejorar el sistema de información de la empresa y la eficiencia operativa en la planta de producción. Este nuevo sistema busca reducir significativamente el tiempo perdido en la búsqueda de cajas al proporcionar una localización precisa y en tiempo real de las mismas. Al automatizar el proceso de seguimiento de las cajas, se mejora el flujo de trabajo y se minimizan las interrupciones, permitiendo un uso más eficiente de los recursos y mejorando la productividad general de la planta.

En este capítulo, se ha detallado el proceso de selección y diseño del nuevo sistema de control y ubicación de cajas. Se identifican los requisitos del sistema, analizando varias tecnologías posibles como los códigos de barras, códigos QR, RFID y sistemas RTLS. A través del método de AHP, se evalúan las diferentes alternativas en función de criterios como el coste, la facilidad de manejo, la robustez y la capacidad de almacenamiento de información.

En el siguiente capítulo, se centrará en las futuras líneas de trabajo, enfocándose en la mejora continua y en la integración de nuevas tecnologías que puedan mejorar el resto de aspectos que se han analizado en los primeros capítulos. Además, se presentarán las conclusiones generales del proyecto.

8. CONCLUSIONES

8.1 Conclusiones de la memoria

En el presente capítulo se realiza un resumen del trabajo realizado y se presentan las conclusiones generales de cada capítulo sobre la empresa Stadler Rail Valencia.

El primer capítulo de la memoria tiene como objetivo principal comprender el entorno de la empresa. Se detalla la cultura y las estrategias de Stadler Rail Valencia, seguido de un análisis de los acontecimientos históricos más relevantes de su sede en Valencia. Además, se describen los productos fabricados, su clasificación y la disposición en planta de todos los procesos productivos.

Después de la descripción del entorno de la empresa, el segundo capítulo se centra en los conceptos teóricos necesarios para el estudio. Se incluyen los desperdicios fundamentales del Lean Manufacturing y las herramientas básicas para detectar problemas y determinar sus causas raíz.

Posteriormente, tras exponer el marco teórico y describir la empresa, se detalla la situación actual de los procesos de producción en los talleres de pintura y calderería. Se representa un Value Stream Mapping de uno de los proyectos más importantes en el taller de pintura, lo cual permite identificar procesos que no aportan valor y que pueden ser reducidos o eliminados.

Se utilizan herramientas clave para la detección de problemas, que ayudan a evaluar las incidencias detectadas en la empresa, valorar su impacto y plantear posibles oportunidades de mejora.

Tras identificar las principales incidencias, se describen las oportunidades de mejora asociadas a una dimensión específica. Estas se analizan mediante el método AHP y se seleccionan las que se desean implementar.

A continuación, en los capítulos cinco y seis, se detallan las acciones de mejora a implementar, describiendo brevemente cada mejora, los responsables y participantes involucrados, las tareas necesarias, los recursos asignados a dichas tareas y la planificación temporal de las mismas.

El primer proyecto de mejora está asociado a la mejora del almacén intermedio, dividiéndose en dos partes: la primera es una mejora parcial denominada "apilación de los bogies" y la segunda implica un cambio de layout, modificando así la organización del almacén. Una vez implementada la primera acción de mejora, se describen los resultados obtenidos, entre los que se incluyen una reducción en la ocupación de bogies, el duplicado de la capacidad de almacenaje pasando de 23 cajas de trenes a 42 y una disminución del tiempo de maniobra de los camiones en las operaciones de carga y descarga de 40 min previamente a 15 min.

El segundo proyecto se asocia a la introducción de una nueva tecnología para la localización automática de las cajas. Se describen las posibles alternativas para la localización de cajas y se selecciona la más adecuada mediante el método AHP. Con la futura implementación de este proyecto, se reduciría significativamente el tiempo de búsqueda de las cajas y todas estarían correctamente identificadas ahorrando los 30 min de búsqueda por trabajador al día. Además,

todos los empleados sabrían la ubicación exacta de las cajas sin necesidad de consultar repetidamente a otros compañeros.

Para ambas acciones de mejora se ha evaluado la viabilidad económica mediante el cálculo de tres indicadores clave: el VAN, la TIR y el período de retorno. A partir de estos resultados, se concluye que la propuesta es favorable, con una amortización estimada en un año y medio.

Los objetivos que se detallaron en el primer capítulo de la memoria consistían en: Describir detalladamente los talleres y los procesos productivos respectivos; identificar y analizar los problemas existentes en los talleres, desde retrasos en la producción hasta deficiencias en la distribución del espacio y los recursos; Plantear soluciones y mejoras que aborden los problemas identificados y por último proponer e implementar las mejoras más rentables y efectivas, realizando una evaluación económica detallada y justificando la inversión necesaria para llevar a cabo dichas mejoras.

Por ello se puede concluir que se han cumplido con los objetivos descritos inicialmente. Se ha demostrado que uno de los principales problemas es la saturación en los almacenes, lo que genera una saturación en la fábrica, pero este problema dejaría de ser un cuello de botella con la implementación de la primera acción de mejora. Otro de los problemas es la pérdida de tiempo de los empleados debido a la falta de localización de las cajas, siendo esta otra de las áreas abordadas en el proyecto de mejora.

8.2 Lecciones aprendidas

A lo largo del desarrollo de este proyecto, la alumna se ha enfrentado a numerosos desafíos que le han permitido crecer significativamente tanto como ingeniera como en su desarrollo personal. Uno de los mayores obstáculos fue detectar los problemas junto con los encargados y jefes, adoptando una nueva perspectiva sobre el funcionamiento de la factoría. Como muchos de ellos han desempeñado las mismas funciones durante años, suelen ser reacios al cambio y a aceptar propuestas externas, lo que hizo que fuera complicado introducir nuevas ideas y enfoques.

Otra dificultad importante fue la complejidad de coordinar los diferentes departamentos y lograr consenso en las decisiones tomadas. Esta experiencia le ha enseñado la importancia de la comunicación efectiva, la escucha y la colaboración con personas que tienen perspectivas y formas de trabajar muy diferentes.

Además, analizar una empresa del tamaño de Stadler Rail Valencia fue una experiencia muy enriquecedora, así como tener la oportunidad de bajar al taller siempre que lo necesitaba. Uno de los mayores logros ha sido poder identificar problemas utilizando las herramientas aprendidas en el máster y aplicar soluciones concretas. Este proyecto también me ha enseñado a gestionar el tiempo de manera eficiente, estableciendo prioridades y cumpliendo plazos estrictos.

8.3 Futuras líneas de trabajo

El presente trabajo se centra en la mejora continua de la empresa Stadler Rail Valencia centrándose en los talleres de pintura y calderería. Teniendo en cuenta la filosofía Lean, nunca nada es perfecto y siempre hay opción a mejorar. Por ello, las futuras líneas de trabajo se centrarán principalmente en la implementación de las acciones de mejora identificadas y en el seguimiento de su impacto.

CONCLUSIONES

La primera fase consistirá en la puesta en marcha de las mejoras propuestas en los talleres de calderería y pintura. Esto incluirá la reconfiguración del layout del almacén intermedio para mejorar la capacidad de almacenaje y reducir la interrupción en el flujo de producción, así como la introducción de un sistema automatizado para la localización de cajas, lo cual permitirá una reducción significativa en los tiempos de búsqueda.

Una parte fundamental del éxito de estas mejoras será la capacitación del personal en nuevas metodologías y tecnologías, debido a que gran parte de los operarios llevan trabajando muchos años y les cuesta adaptarse a numerosos cambios. Se planificarán sesiones de formación para familiarizar a los empleados con los nuevos sistemas y procesos, destacando la importancia de su participación activa y su adaptación a las nuevas prácticas operativas.

Otra línea de trabajo futura sería la expansión de las mejoras implementadas, especialmente la extensión del uso de la tecnología RFID a todas las naves y almacenes de la fábrica. Ampliar la implementación de esta tecnología permitirá una gestión más eficiente del inventario y de los materiales, facilitando el seguimiento en tiempo real y reduciendo significativamente el tiempo invertido en la búsqueda y localización de piezas. Además, la tecnología RFID contribuirá a mejorar la precisión en la gestión de stock y a minimizar errores humanos, lo que resultará en una operación más fluida y eficiente en toda la planta.

Por último, la asignación de personal de calidad dedicado en cada taller es otra línea estratégica para considerar para el futuro y que se ha propuesto como acción de mejora. Esta propuesta tiene como objetivo reducir significativamente los reprocesos y mejorar la calidad desde el inicio del proceso productivo sin tener que esperar o cuadrar con el personal del departamento de calidad que tiene otras muchas funciones. Al contar con inspectores de calidad en cada taller, se podrán identificar y corregir problemas en las primeras etapas de la producción, evitando que los defectos se propaguen a lo largo de la cadena productiva.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

García Sabater, J. P. (13 de Mayo de 2024). *El producto y el interfaz con su entorno*. Obtenido de Nota técnica:

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/137641/Producto%20y%20Estandarizaci%C3%B3n%20del%20interfaz.pdf>

Hernández, J. C., & Vizán, A. (2013). *Lean manufacturing. Conceptos, técnicas e implantación*. Madrid: Creative Commons.

Holweg, J., & Bicheno, M. (2009). *The Lean Toolbox: The Essential Guide to Lean Transformation*. Buckingham: PICSIE Books.

Ishikawa, K. (1990). *¿Qué es el control total de calidad?* Editorial Norma.

Liker, J. (2004). *The Toyota Way*. Nueva York: McGraw-Hill.

n.d. (20 de Julio de 2024). *ABUS sistemas de grúas*. Obtenido de ABUS : https://www.abusgruas.es/download/es/84/puentes_gruas_programa_abus.pdf

n.d. (12 de Mayo de 2024). Obtenido de Stadler Rail: <https://stadlerrail.com/es/productos/>

n.d. (28 de Mayo de 2024). *Stadler Rail AG*. Obtenido de Stadler Rail AG: <https://stadlerrail.com/es/sobre-nosotros/centros/stadler-signalling-suiza/442/>

Roos, J. P. (s.f.). *La máquina que cambio el mundo*.

Shook, M. R. (1999). *Learning to See: Value-Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda*. Massachusetts: Lean Enterprise Institute.

Signes, F., & Capilla, J. (2013). *El legado de la ingeniería valenciana. 115 años de los Devís a VOSSLOH (1897-2013)*. Valencia: Colegio Oficial de ingenieros industriales de la Comunitat Valenciana.

White, S., & Derek, P. (2009). *BPMN Guía de referencia y modelado*. Future Strategies Inc.

Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean Thinking*. Estados Unidos: Taylor y Francis.

PRESUPUESTO

PRESUPUESTO

1. CONSIDERACIONES PREVIAS

En el presente capítulo se detalla el presupuesto del proyecto “Análisis de la situación actual, propuestas de mejora e implementación en los procesos de producción de calderería y pintura de la empresa Stadler Rail Valencia”.

El presupuesto se divide en dos partes: en primer lugar, la consultoría, y en segundo lugar, la habilitación de obras para una de las mejoras. La sección de consultoría se desglosa en cinco capítulos que incluyen el estudio de la situación inicial, la identificación de oportunidades y la selección de soluciones, la planificación de la mejora y la implementación de dos de las mejoras. Se consideran los costes asociados a la mano de obra de los participantes del proyecto.

En la segunda sección, se detallan las acciones previas a la mejora, así como su implementación.

Para elaborar el presupuesto, se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones.

Coste indirecto: son aquellos gastos que no se pueden atribuir directamente a la producción de un bien. Se considera un 1% del presupuesto de ejecución de material.

Gastos generales: hacen referencia a los costes que una empresa incurre independientemente de los proyectos que este llevando a cabo. Representan el 13% del presupuesto de ejecución material. Se incluye:

- Alquiler de oficinas
- Material de oficinas
- Electricidad
- Licencia de software
- Equipos informáticos

Beneficio industrial: es la ganancia que la empresa contratista espera obtener como resultado de la ejecución del contrato. Se ha considerado el 6% del presupuesto de ejecución Material.

I.V.A: se ha considerado el 21% del presupuesto de Contrata.

Los costes de facturación de la mano de obra de los participantes del proyecto son:

Participantes	€/hr
Ingeniero industrial	50
Ingeniero industrial junior	40
Jefe de taller	45
Encargado de taller	30
Supervisor almacén	25
Operario almacén	25

2. PRESUPUESTOS PARCIALES

NÚM	COD	UD		CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPITULO 01: CONSULTORÍA						30.774,54 €
CAPITULO 1.1: ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL						9.070,00 €
1.1.1			Estudio del entorno de la empresa			
	MOII	h	Ingeniero industrial	16,00	50,00	800,00 €
	MOII-J	h	Ingeniero industrial Junior	38,00	40,00	1.520,00 €
			Total			2.320,00 €
1.1.2			Toma de datos para el VSM			
	MOET	h	Encargado de Taller	2,00	30,00	60,00 €
	MOII-J	h	Ingeniero industrial Junior	6,00	40,00	240,00 €
			Total			300,00 €
1.1.3			Representación para el VSM			
	MOII	h	Ingeniero industrial	1,00	50,00	50,00 €
	MOII-J	h	Ingeniero industrial Junior	18,00	40,00	720,00 €
			Total			770,00 €
1.1.4			Registro de incidencias y análisis de sus causas raíces			
	MOII	h	Ingeniero industrial	32,00	50,00	1.600,00 €
	MOII-J	h	Ingeniero industrial Junior	32,00	40,00	1.280,00 €
	MOJT	h	Jefe de taller	16,00	45,00	720,00 €
			Total			3.600,00 €

NÚM	COD	UD		CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
1.1.5			Planteamiento de oportunidades			
	MOII	h	Ingeniero industrial	16,00	50,00	800,00 €
	MOII-J	h	Ingeniero industrial Junior	32,00	40,00	1.280,00 €
			Total			2.080,00 €
CAPITULO 1.2: PROPUESTA DE OPORTUNIDADES Y SELECCIÓN DE SOLUCIONES						3.670,00 €
1.2.1			Identificación de las oportunidades de mejora			
	MOII	h	Ingeniero industrial	5,00	50,00	250,00 €
	MOII-J	h	Ingeniero industrial Junior	16,00	40,00	640,00 €
			Total			890,00 €
1.2.2			Análisis y selección de soluciones a desarrollar			
	MOII	h	Ingeniero industrial	5,00	50,00	250,00 €
	MOII-J	h	Ingeniero industrial Junior	16,00	40,00	640,00 €
			Total			890,00 €
1.2.3			Valoración de alternativas con el método AHP			
	MOII	h	Ingeniero industrial	4,00	50,00	200,00 €
	MOII-J	h	Ingeniero industrial Junior	8,00	40,00	320,00 €
	MOJT	h	Jefe de Taller	2,00	45,00	90,00 €
			Total			610,00 €
1.2.4			Redacción de la fase propuesta			
	MOII-J	h	Ingeniero industrial Junior	32,00	40,00	1.280,00 €
			Total			1.280,00 €

PRESUPUESTO

NÚM	COD	UD		CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPITULO 1.3: PLANIFICACIÓN DE LOS PROYECTOS DE MEJORA						2.040,00 €
1.3.1			Asignación de responsables, tareas y recursos necesarios			
	MOII	h	Ingeniero industrial	4,00	50,00	200,00 €
	MOII-J	h	Ingeniero industrial Junior	8,00	40,00	320,00 €
			Total			520,00 €
1.3.2			Redacción de la fase de las acciones de mejoras			
	MOII-J	h	Ingeniero industrial Junior	38,00	40,00	1.520,00 €
			Total			1.520,00 €
CAPITULO 1.4: DETALLE DE LA APILACIÓN DE BOGIES						4.600,00 €
1.4.1			Evaluación del estado actual de los bogies			
	MOSA		Supervisor almacén	8,00	25,00	200,00 €
	MOII		Ingeniero industrial	8,00	50,00	400,00 €
	MOII-J		Ingeniero industrial Junior	8,00	40,00	320,00 €
			Total			920,00 €
1.4.2			Diseño de utillaje para la apilación de bogies			
	MOSA	h	Supervisor almacén	16,00	25,00	400,00 €
	MOII	h	Ingeniero industrial	16,00	50,00	800,00 €
	MOII-J	h	Ingeniero industrial Junior	32,00	40,00	1.280,00 €
			Total			2.480,00 €

NÚM	COD	UD		CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
-----	-----	----	--	----------	--------	---------

1.4.3 h Implantación del sistema

MOSA	h	Supervisor almacén		16,00	25,00	400,00 €
MOII	h	Ingeniero industrial		8,00	50,00	400,00 €
MOOA	h	Operario almacén		16,00	25,00	400,00 €

Total 1.200,00 €

CAPITULO 1.5: DETALLE DEL SISTEMA DE LOCALIZACIÓN DE CAJAS

15.994,54 €

1.5.1 Estudio y análisis de las tecnologías disponibles

MOSA	h	Supervisor almacén		8,00	25,00	200,00 €
MOII	h	Ingeniero industrial		8,00	50,00	400,00 €
MOII-J	h	Ingeniero industrial Junior		24,00	40,00	960,00 €

Total 1.560,00 €

1.5.2 Selección de la tecnología mediante el método AHP

MOSA	h	Supervisor almacén		8,00	25,00	200,00 €
MOII	h	Ingeniero industrial		8,00	50,00	400,00 €
MOII-J	h	Ingeniero industrial Junior		16,00	40,00	640,00 €

Total 1.240,00 €

PRESUPUESTO

NÚM	COD	UD		CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
-----	-----	----	--	----------	--------	---------

1.5.3 Implantación del sistema

MOJT	h	Jefe de Taller		32,00	45,00	1.440,00 €
MOET	h	Encargado de Taller		56,00	30,00	1.680,00 €
MOII	h	Ingeniero industrial		16,00	50,00	800,00 €
MOII-J	h	Ingeniero industrial Junior		16,00	40,00	640,00 €
	ud	Lector RFID fijo		6,00	820,34	4.922,04 €
	ud	Impresora RFID		2,00	1740,00	3.480,00 €
	ud	Imán		150,00	1,55	232,50 €

Total 13.194,54 €

CAPITULO 02: HABILITACIÓN Y MEJORA

183.288,38 €

CAPITULO 2.1: TRABAJOS PREVIOS

12.492,00 €

2.1.1 Aperturas de huecos en puertas

		Apertura de hueco en panel de hormigón armado de 16 cm de espesor con medios mecánicos incluso retirada de escombros		405,00	28,00	11.340,00 €
--	--	--	--	--------	-------	-------------

2.1.2 Picado de solera para conectar con la cimentación existente

	ud	Picado con martillo eléctrico con medios manuales hasta llegar a la cimentación existente incluso retirada de escombros		24,00	48,00	1.152,00 €
--	----	---	--	-------	-------	------------

NÚM	COD	UD					CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
-----	-----	----	--	--	--	--	----------	--------	---------

CAPITULO 2.2: ALBAÑILERÍA

3.002,00 €

2.2.1 Suministro y colocación de placas de anclaje

Suministro y colocación de placa de anclaje de 400x400x20 con tacos químicos a la cimentación de la nave

24,00 98,00 2.352,00 €

2.2.1 Reposición de solera

Reposición de solera con hormigón de central pa HA-25 acabado fratasado

1,00 650,00 650,00 €

CAPITULO 2.3: ESTRUCTURA METÁLICA

82.984,00 €

2.3.1 Suministro y montaje de estructura para puente grúa

Estructura metálica electrosoldada de soportes de 7 metros de altura de perfil HEB 300 para soportar el puente grúa, ejecutada con acero elaborado S275JR. Las uniones serán soldadas, incluyendo piezas especiales, despuntes y una capa de imprimación antioxidante en taller, incluyendo repaso de soldaduras y defectos en obra una vez instalada, según SE-A del CT. Totalmente acabada.

21120,00 2,30 48.576,00 €

2.3.2 Viga carrilera

kg Perfil simple de IPE 400

14960,00 2,30 34.408,00 €

CAPITULO 2.4: PUENTE GRÚA

83.000,00 €

2.4.1 Puente grúa

Puente grúa monorraíl de elevación de 16 toneladas, dos velocidades y de longitud

2,00 41500,00 83.000,00 €

PRESUPUESTO

NÚM	COD	UD					CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPITULO 2.5: CARPINTERÍA METÁLICA									39.150,00 €

2.5.1 Puerta seccional de 9500x6000 mm

Puerta seccional industrial thermo 45 de dimensiones 9500x6000(h) mm. Guías laterales, ventanilla ovalada de dos láminas de vidrio acrílico aprox 610x290 mm. Motor trifásico, tensión control 24 V.

3,00 8550,00 25.650,00 €

2.5.2 Puerta seccional de 5000x6000 mm

Puerta seccional industrial thermo 45 de dimensiones 5000x6000(h) mm. Guías laterales, ventanilla ovalada de dos láminas de vidrio acrílico aprox 610x290 mm. Motor trifásico, tensión control 24 V.

3,00 4500,00 13.500,00 €

CAPITULO 2.6: GESTIÓN DE RESIDUOS									1.810,38 €
--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------------

2.6.1 Gestión de residuos

Transporte con camión de mezcla sin clasificar de residuos inertes producidos en obras de construcción y/o demolición, a vertedero específico, instalación de tratamiento de residuos de construcción y demolición externa a la obra o centro de valorización o eliminación de residuos, situado a 20 km de distancia.

Criterio de valoración económica: El precio incluye el tiempo de espera en obra durante las operaciones de carga, el viaje de ida, la descarga y el viaje de vuelta, pero no incluye la carga en obra.

Criterio de medición de proyecto: Volumen teórico, estimado a partir del peso y la densidad aparente de los diferentes materiales que componen los residuos, según documentación gráfica de Proyecto.

Criterio de medición de obra: Se medirá, incluyendo el esponjamiento, el volumen de residuos realmente transportado según m2 especificaciones de Proyecto.

429,00 4,22 1.810,38 €

3. RESUMEN DEL PRESUPUESTO

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	
CAPÍTULO 01: CONSULTORÍA	30.774,54 €
CAPÍTULO 1.1: Análisis de la situación inicial	9.070,00 €
CAPÍTULO 1.2: Propuesta de oportunidades y selección de soluciones	3.670,00 €
CAPÍTULO 1.3: Planificación de los proyectos de mejora	2.040,00 €
CAPÍTULO 1.4: Detalle de la aplicación de bogies	4.600,00 €
CAPÍTULO 1.5: Detalle del sistema de localización de cajas	15.994,54 €
CAPÍTULO 02: HABILITACIÓN Y MEJORA	183.288,38 €
CAPÍTULO 2.1: Trabajos previos	12.492,00 €
CAPÍTULO 2.2: Albañilería	3.002,00 €
CAPÍTULO 2.3: Estructura metálica	82.984,00 €
CAPÍTULO 2.4: Puente grúa	83.000,00 €
CAPÍTULO 2.5: Carpintería metálica	39.150,00 €
CAPÍTULO 2.6: Gestión de residuos	1810,38
Presupuesto de ejecución Materia (PEM)	214062,92
Gastos generales	6% 12843,78
Beneficio industrial	13% 27828,18
Presupuesto de Contrata	254734,87
IVA	21% 53494,32
Presupuesto Total	308229,20
TRESCIENTOS OCHO MIL DOSCIENTOS VEINTINUEVE EUROS CON VEINTE CÉNTIMOS	

4. VIABILIDAD ECONÓMICA

Para evaluar la viabilidad económica del proyecto, es necesario calcular el ahorro que se generaría al implementar las mejoras propuestas. Tal como se mencionó en el capítulo de ANÁLISIS DETALLADO DE LA SITUACIÓN ACTUAL, actualmente no hay empleados asignados al control de las cajas en las naves de pintura, calderería y almacenes intermedios. Se ha estimado un ahorro de media hora diaria por empleado en la fábrica, considerando un salario simulado de 18 euros por hora y afectando a una parte de la plantilla, debido a que muchos trabajadores están dedicados al diseño y no trabajan directamente en el taller.

Calculado con la siguiente expresión.

$$Ahorro_{búsqueda} = 0.5 \frac{hr}{día} * \frac{5 \text{ días}}{1 \text{ sem}} * 44 \frac{sem}{año} * 18 \frac{€}{hr} * 50 \text{ empleados} = 99.000 \text{ €/año} \quad [10]$$

En relación con la primera acción de mejora, los trenes en las vías de pintura tienen capacidad para albergar 27 cajas de trenes. Como se ha mencionado en capítulos anteriores, si un tren no puede salir de las vías de pintura debido a la saturación de los almacenes, esto impide la entrada

PRESUPUESTO

de nuevos trenes desde la nave de calderería. Este bloqueo en el flujo de producción provoca un tiempo de inactividad que se traduce directamente en horas perdidas para los operarios.

El tiempo de inactividad será cuantificado en horas perdidas, considerando que la plantilla de operarios del taller de pintura es de 150 personas y la de calderería es de 170. A continuación, se calcularán las horas perdidas utilizando la siguiente fórmula. Simulando que la saturación en los almacenes es la mitad de semanas del año.

- Taller de pintura:

$$\text{Operarios} = 0,5 \frac{\text{hr}}{\text{día}} * 5 \frac{\text{días}}{\text{Sem}} * 20 \frac{\text{sem}}{\text{año}} * 25 \frac{\text{euros}}{\text{hr}} * 150 \text{ operarios} = 187.500 \frac{\text{euros}}{\text{año}} \quad [11]$$

- Taller de calderería

$$\text{Operarios} = 0,5 \frac{\text{hr}}{\text{día}} * 5 \frac{\text{días}}{\text{Sem}} * 20 \frac{\text{sem}}{\text{año}} * 25 \frac{\text{euros}}{\text{hr}} * 170 \text{ operarios} = 212.500 \frac{\text{euros}}{\text{año}} \quad [12]$$

El total de horas perdidas en ambos talleres es de 400.000 euros al año.

Con la implementación de la mejora en la localización de cajas, se estima un ahorro anual de 499.000 euros.

A continuación, se procederá a calcular el valor actual neto (VAN) para un período de 5 años, considerando una tasa de rentabilidad del 5% y un ahorro del 20% sobre los 499.000 euros durante el primer año.

El valor neto actualizado calculado con la siguiente expresión:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{\text{Flujo de caja}_t}{(1+r)^t} - \text{Inversión inicial} \quad [13]$$

Siendo t el periodo de tiempo, r la tasa de rentabilidad, el flujo de caja los ingresos netos generados en cada periodo.

Año	Ingresos	Gastos	Rendimiento	Valor actualizado neto
0	0	0	0	0
1	99800,00	308229,20	-208429,20	-198504,00
2	499000,00	0	499000,00	452607,71
3	499000,00	0	499000,00	431054,96
4	499000,00	0	499000,00	410528,53
5	499000,00	0	499000,00	390979,56
Total	2095800,00	308229,20	1787570,80	1486666,76

La TIR calculado igualando el VAN a 0 y despejando la tasa de rentabilidad.

$$TIR = 40,84\%$$

Periodo de retorno = 1 año y 5 meses

ANEXOS

ANEXO 1

CÁLCULO DEL VECTOR PROPIO DE LOS CRITERIOS DEL MÉTODO AHP.

En primer lugar, se obtiene la matriz de comparación pareada de criterios teniendo en cuenta los siguientes factores.

La escala numérica de ponderación ponderada es la siguiente representada en la Tabla 47.

Escala numérica	Escala verbal
1	Igual importancia
3	Importancia moderada sobre otro elemento
5	Importancia fuerte sobre otro elemento
7	Importancia muy fuerte sobre otro elemento
9	Extrema importancia de un elemento sobre otro
2, 4, 6, 8	Valores intermedios en incrementos

Tabla 47: Escala fundamental de comparación pareada. Fuente: Elaboración propia.

La matriz de comparación pareada de criterios se presenta de la siguiente manera. Las entradas diagonales están formadas por el valor 1, y la matriz es recíproca. Es decir, si el criterio 1 es "x" veces más importante que el criterio 2, entonces el criterio 2 será "1/x" respecto al criterio 1. Así se construyen las matrices de comparación pareada.

A continuación, se muestra la Tabla 48 correspondiente.

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4
Criterio 1	R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_{14}
Criterio 2	R_{21}	R_{22}	R_{23}	R_{24}
Criterio 3	R_{31}	R_{32}	R_{33}	R_{34}
Criterio 4	R_{41}	R_{42}	R_{43}	R_{44}

Tabla 48: Matriz de comparación pareada de criterio general. Fuente: Elaboración propia.

Se utilizará el criterio de coste como ejemplo para el desarrollo del anexo, aplicándose de manera similar a cada uno de los criterios. Por lo tanto, se emplea la escala numérica correspondiente y se crea la matriz de comparación pareada para el criterio de coste.(ver Tabla 49)

	Coste	Implementación	Duración de ejecución	Robustez
Coste	1	0,33	5	0,33
Implementación	3	1	7	4
Duración de ejecución	0,2	0,14	1	0,33
Robustez	3,00	0,25	3	1

Tabla 49: Matriz de comparación pareada de los criterios. Fuente: Elaboración propia

ANEXOS

En segundo lugar, se obtiene el vector propio de la matriz "A", calculado mediante la media geométrica utilizando la siguiente expresión, donde "n" representa la dimensión de la matriz, que en este caso es 4.

$$V_1 = \sqrt[n]{(R_{11})^2 + (R_{12})^2 + (R_{13})^2 + (R_{14})^2}$$

$$V = \begin{pmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{pmatrix} \text{ representado por los valores numericos; } V = \begin{pmatrix} 0,863 \\ 3,027 \\ 0,312 \\ 1,225 \end{pmatrix}$$

A continuación, es necesario normalizar el vector propio (V) de la matriz (A). Para ello, se suman los componentes del vector y se divide cada valor de V entre la suma total. En este caso, la suma del vector V es 5,428, y de esta manera se obtiene la matriz normalizada (N).

$$N = \begin{pmatrix} 0,863/5,428 \\ 3,027/5,428 \\ 0,312/5,428 \\ 1,225/5,428 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,159 \\ 0,558 \\ 0,058 \\ 0,226 \end{pmatrix}$$

Para el cálculo de la consistencia, se va a implementar en el criterio de coste de la matriz B (ver Tabla 50)

Coste	Mejora almacén	Calidad	Mov cajas	Formación	Loc automatica
Mejora almacén	1	0.25	0.33	0.33	3
Calidad	4	1	3	0.33	5
Mov cajas	3	0.33	1	0.25	5
Formación	3	3	4	1	7
Loc automatica	0.33	0.20	0.20	0.14	1

Tabla 50: Matriz de comparación pareada de criterio coste. Fuente: Elaboración propia

El vector V y la matriz N se obtienen de la misma manera que lo explicado previamente.

$$\text{El vector V de la matriz: } V = \begin{pmatrix} 0.608 \\ 1.821 \\ 1.046 \\ 3.022 \\ 0.286 \end{pmatrix} \text{ y la matriz normalizada es } N = \begin{pmatrix} 0.090 \\ 0.268 \\ 0.154 \\ 0.446 \\ 0.042 \end{pmatrix}$$

La matriz B se presenta en formato matricial.

$$B = \begin{pmatrix} 1 & 0,25 & 0,33 & 0,33 & 3 \\ 4 & 1 & 3 & 0,33 & 5 \\ 3 & 0,33 & 1 & 0,25 & 5 \\ 3 & 3 & 4 & 1 & 7 \\ 0,33 & 0,2 & 0,2 & 0,14 & 1 \end{pmatrix}$$

El vector se obtiene como resultado de la multiplicación de la matriz B por la matriz N.

$$\begin{pmatrix} 1 & 0,25 & 0,33 & 0,33 & 3 \\ 4 & 1 & 3 & 0,33 & 5 \\ 3 & 0,33 & 1 & 0,25 & 5 \\ 3 & 3 & 4 & 1 & 7 \\ 0,33 & 0,2 & 0,2 & 0,14 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 0,090 \\ 0,268 \\ 0,154 \\ 0,446 \\ 0,042 \end{pmatrix} = Y \begin{pmatrix} 0,483 \\ 1,449 \\ 0,835 \\ 2,432 \\ 0,220 \end{pmatrix}$$

Para obtener el valor de λ_{max} , se realiza la división de las dos matrices componente a componente y, posteriormente, se calcula la media de los resultados normalizados.

$$Y \div N = \begin{pmatrix} 0,483 \\ 1,449 \\ 0,835 \\ 2,432 \\ 0,220 \end{pmatrix} \div \begin{pmatrix} 0,090 \\ 0,268 \\ 0,154 \\ 0,446 \\ 0,042 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5,386 \\ 5,398 \\ 5,415 \\ 5,457 \\ 5,227 \end{pmatrix}$$

$$\lambda_{max} = 5,375$$

La consistencia de la matriz se evalúa mediante el índice de consistencia (CI), que se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{5,375 - 5}{5 - 1} = 0,094$$

Donde "n" representa la dimensión de la matriz, que en el caso del ejemplo es 5.

La razón de consistencia (CR) se calcula dividiendo el índice de consistencia (CI) entre el índice de consistencia aleatorio (RI).

El índice de consistencia aleatorio se obtiene de la Tabla 51Tabla 47 en función del valor de "n", que es la dimensión de la matriz.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0,525	0,882	1,115	1,252	1,341	1,404	1,452

Tabla 51:Índice de consistencia aleatorio (RI) en función de la dimensión de la matriz (n)

De forma que la ratio de consistencia es.

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,094}{1,115} = 0,084$$

Con una dimensión de matriz de 5, el CR debe ser menor al 10% para confirmar la consistencia de la matriz. Por lo tanto, se puede afirmar que la matriz de costes es consistente.

Este proceso se repite para cada criterio, evaluando la consistencia de cada una de las matrices.

ANEXO 2. RELACIÓN DE LOS CONTENIDOS DEL TFM CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA AGENDA 2030

La ONU aprobó la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, una iniciativa que brinda a los países la oportunidad de impulsar el crecimiento económico mientras abordan diversas necesidades sociales, como la educación y la salud. Esta agenda consta de 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que buscan promover la prosperidad para todos, erradicar la pobreza y el hambre, y combatir el cambio climático.

En este sentido, se analizará la relación entre los ODS de la Agenda 2030 y las mejoras propuestas en el presente documento. A continuación, se presenta la Tabla 52 en la que se enumeran los 17 objetivos, junto con una valoración (alto, medio, bajo o no aplicable) que identifica el grado de relación de cada objetivo con el trabajo de final de máster.

Objetivos de Desarrollo Sostenibles	Alto	Medio	Bajo	No Procede
ODS 1. Fin de la pobreza.				X
ODS 2. Hambre cero.				X
ODS 3. Salud y bienestar.				X
ODS 4. Educación de calidad.				X
ODS 5. Igualdad de género.				X
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.				X
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.				X
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.		X		
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.	X			
ODS 10. Reducción de las desigualdades.				X
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.				X
ODS 12. Producción y consumo responsables.				X
ODS 13. Acción por el clima.				X
ODS 14. Vida submarina.				X
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.				X
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.				X
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.				X

Tabla 52: Relación de los ODS con el proyecto. Fuente: elaboración propia.

Tras un primer análisis, se puede afirmar que el TFM está muy relacionado con *ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico* y con *ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras*. Con los 15 objetivos restantes se puede asegurar que no tiene relación.

Metas del ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.	Alto	Medio	Bajo	No Procede
8.1 Mantener el crecimiento económico per cápita de conformidad con las circunstancias nacionales y, en particular, un crecimiento del producto interno bruto de al menos el 7% anual en los países menos adelantados			X	
8.2 Lograr niveles más elevados de productividad económica mediante la diversificación, la modernización tecnológica y la innovación, entre otras cosas centrándose en los sectores con gran valor añadido y un uso intensivo de la mano de obra	X			
8.3 Promover políticas orientadas al desarrollo que apoyen las actividades productivas, la creación de puestos de trabajo decentes, el emprendimiento, la creatividad y la innovación, y fomentar la formalización y el crecimiento de las microempresas y las pequeñas y medianas empresas, incluso mediante el acceso a servicios financieros				X
8.4 Mejorar progresivamente, de aquí a 2030, la producción y el consumo eficientes de los recursos mundiales y procurar desvincular el crecimiento económico de la degradación del medio ambiente, conforme al Marco Decenal de Programas sobre Modalidades de Consumo y Producción Sostenibles, empezando por los países desarrollados				X
8.5 De aquí a 2030, lograr el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todas las mujeres y los hombres, incluidos los jóvenes y las personas con discapacidad, así como la igualdad de remuneración por trabajo de igual valor				X
8.6 De aquí a 2020, reducir considerablemente la proporción de jóvenes que no están empleados y no cursan estudios ni reciben capacitación				X
8.7 Adoptar medidas inmediatas y eficaces para erradicar el trabajo forzoso, poner fin a las formas contemporáneas de esclavitud y la trata de personas y asegurar la prohibición y eliminación de las peores formas de trabajo infantil, incluidos el reclutamiento y la utilización de niños soldados, y, de aquí a 2025, poner fin al trabajo infantil en todas sus formas				X
8.8 Proteger los derechos laborales y promover un entorno de trabajo seguro y sin riesgos para todos los trabajadores, incluidos los trabajadores migrantes, en particular las mujeres migrantes y las personas con empleos precarios			X	
8.9 De aquí a 2030, elaborar y poner en práctica políticas encaminadas a promover un turismo sostenible que cree puestos de trabajo y promueva la cultura y los productos locales				X
8.10 Fortalecer la capacidad de las instituciones financieras nacionales para fomentar y ampliar el acceso a los servicios bancarios, financieros y de seguros para todos				X
8.a Aumentar el apoyo a la iniciativa de ayuda para el comercio en los países en desarrollo, en particular los países menos adelantados, incluso mediante el Marco Integrado Mejorado para la Asistencia Técnica a los Países Menos Adelantados en Materia de Comercio				X
8.b De aquí a 2020, desarrollar y poner en marcha una estrategia mundial para el empleo de los jóvenes y aplicar el Pacto Mundial para el Empleo de la Organización Internacional del Trabajo				X

Tabla 53: Relación de las metas del ODS 8 con respecto al proyecto. Fuente: Elaboración propia.

ANEXOS

La principal meta del "ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico" que se alinea con los contenidos de este documento es la meta 8.2, dado que una de las principales mejoras propuestas es la implementación de una nueva tecnología para optimizar el tiempo en la localización de las cajas.

De la misma forma, se cumplen con un grado más bajo el 8.1 y el 8.8 ya que Stadler es una de las empresas que se enfoca en mejorar la productividad y eficiencia, lo cual contribuye al crecimiento económico al igual que al ser una empresa tan grande protege los derechos laborales y promueve un entorno de trabajo seguro.

Metas del ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras	Alto	Medio	Bajo	No Procede
9.1 Desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad, incluidas infraestructuras regionales y transfronterizas, para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano, haciendo especial hincapié en el acceso asequible y equitativo para todos			X	
9.2 Promover una industrialización inclusiva y sostenible y, de aquí a 2030, aumentar significativamente la contribución de la industria al empleo y al producto interno bruto, de acuerdo con las circunstancias nacionales, y duplicar esa contribución en los países menos adelantados		X		
9.3 Aumentar el acceso de las pequeñas industrias y otras empresas, particularmente en los países en desarrollo, a los servicios financieros, incluidos créditos asequibles, y su integración en las cadenas de valor y los mercados				X
9.4 De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países tomen medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas.	X			
9.5 Aumentar la investigación científica y mejorar la capacidad tecnológica de los sectores industriales de todos los países, en particular los países en desarrollo, entre otras cosas fomentando la innovación y aumentando considerablemente, de aquí a 2030, el número de personas que trabajan en investigación y desarrollo por millón de habitantes y los gastos de los sectores público y privado en investigación y desarrollo		X		
9.a Facilitar el desarrollo de infraestructuras sostenibles y resilientes en los países en desarrollo mediante un mayor apoyo financiero, tecnológico y técnico a los países africanos, los países menos adelantados, los países en desarrollo sin litoral y los pequeños Estados insulares en desarrollo				X
9.b Apoyar el desarrollo de tecnologías, la investigación y la innovación nacionales en los países en desarrollo, incluso garantizando un entorno normativo propicio a la diversificación industrial y la adición de valor a los productos básicos, entre otras cosas				X
9.c Aumentar significativamente el acceso a la tecnología de la información y las comunicaciones y esforzarse por proporcionar acceso universal y asequible a Internet en los países menos adelantados de aquí a 2030				X

Tabla 54: Relación de las metas del ODS 9 con respecto al proyecto. Fuente: Elaboración propia.

En relación con las metas del "ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras", la meta 9.4 tiene un grado alto de cumplimiento, ya que está vinculada con la modernización de la infraestructura y la promoción de la adopción de nuevas tecnologías. Esta valoración se debe a que el proyecto se basa en la mejora continua de los talleres de pintura y calderería, implementando mejoras en el almacén intermedio mediante la instalación de nueva infraestructura.

En cuanto al 9.1 y 9.2 contribuye en grado bajo y medio respectivamente ya que la empresa promueve a la industria del empleo buscando siempre personas cualificadas y jóvenes.

Por último, la meta 9.5 ha sido identificada con un grado medio, ya que, aunque el proyecto no se centra directamente en la investigación científica, sí promueve la mejora de la capacidad tecnológica.