



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

TRABAJO FIN DE MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

ANÁLISIS DE SITUACIÓN Y PROPUESTAS DE MEJORA EN LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DEL TALLER ELÉCTRICO DE STADLER RAÍL.

AUTOR: JAVIER GÁZQUEZ RIQUELME

TUTOR: JULIEN MAHEUT

COTUTORA: PILAR ISABEL VIDAL CARRERAS

Curso Académico: 2019-20

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradecer a la empresa Stadler Raíl S.A.U. por su colaboración en el proyecto. En especial me gustaría agradecer al departamento de producción externa - taller eléctrico, que me han acogido desde el primer día como uno más en la empresa. Es más fácil aprender en un lugar donde cada persona está dispuesta a colaborar y enseñarte todo lo que pueda. Un agradecimiento especial a Ana Blasco y Alberto Naixes por su profesionalidad y compañerismo, ha sido un verdadero placer trabajar con ellos.

Gracias a la Universidad Politécnica de Valencia y a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales por estos dos años de estudios. Es muy destacable cuando una universidad resalta por su nivel de enseñanza, y consigue un número de estudiantes egresados tan alto que se enorgullece de ello. Un especial agradecimiento a cada uno de mis profesores de la intensificación de Organización Industrial. Muchas gracias a los profesores de Lean Manufacturing, Ampliación de Dirección de Operaciones y Métodos Cuantitativos para la Organización Industrial, y del resto de asignaturas. Gracias por transmitirme vuestra pasión, y hacerme disfrutar aprendiendo en cada una de vuestras clases. He descubierto en las operaciones un campo de conocimiento muy bello, hasta ahora desconocido. A pesar de todo, creo firmemente que si Julien, Josepe, Julio y demás profesores impartiesen cualquier otra especialidad, me seguiría gustando sin duda alguna. Ha merecido la pena estudiar seis años para encontrar unos profesionales que son a la vez unos verdaderos profesores. Un agradecimiento especial a Julien Maheut, que a pesar de las extrañas circunstancias, ha estado siempre que lo he necesitado y me ha ayudado a mejorar y ser más exigente. Me hubiera gustado poder trabajar mucho más con él.

Gracias a mi familia. Gracias a mi padre por ser el ingeniero al que aspiro convertirme algún día. Gracias a mi madre por ser el ejemplo de lo que significa sacrificio y esfuerzo, no existe persona más profesional. Gracias por vuestra educación y ayudarme a superar cada obstáculo de estos seis duros años, habéis sido mi trampolín y mi cinturón de seguridad.

Por último muchas gracias Cris, gracias por todo, por acompañarme en más de cinco años que al principio parecía que nunca acabarían. El camino lo has hecho mucho más fácil y divertido.

RESUMEN

Con sus más de cien años de historia, la planta valenciana Stadler Raíl S.A.U es un referente en la fabricación ferroviaria. Actualmente forma parte del grupo suizo Stadler Rail AG, del que lleva formando parte desde el 31 de diciembre de 2015. Localizada en Albuixech, fue adquirida por el grupo suizo cuando era conocida como Vossloh y en la actualidad presenta un amplio catálogo de productos como tranvías, metros, trenes interurbanos o de alta velocidad entre otros.

El objeto de trabajo se centra en la producción localizada en el taller eléctrico de la planta. Un taller que fabrica armarios eléctricos equipados en locomotoras, pupitres de cabina y demás equipamiento eléctrico. El proyecto se centrará en comprender el funcionamiento real del taller, de lo que derivará un análisis y simulación de la situación actual. Se detectarán los problemas que afecten negativamente a la producción y se encontrarán sus respectivas causas, para centrar el foco de atención en el origen de las limitaciones del sistema. Finalmente se propondrá una serie de alternativas de mejora, evaluando el impacto de cada una, con el fin de conocer los beneficios que reportan a la planta estudio.

Palabras clave: Lean Manufacturing, mejora continua, simulación, estandarización, VSM.

ABSTRACT

Stadler Raíl S.A.U, with more than a hundred years of history, is one of the biggest railway manufacturers in the world. Nowadays the valencian plant belongs to Stadler Raíl AG since December 2015. It is located in Albuixech and previously, it was known as Vossloh. It currently presents a wide catalog of products such as trams, subways, intercity or high-speed trains, among others.

The electrical workshop production system is the work object of the project. It produces electric cabinets for locomotives, driver desks to pilot the vehicle and several electric equipment. The document will focus on understanding the real operation of the workshop, from which an analysis and simulation of the current situation will be derived. Significant problems that negatively affect production will be detected, and their respective causes will be investigated to focus attention on the origin of the system's limitations. Finally, a series of improvement alternatives will be proposed, evaluating the impact of each one, in order to know the benefits they bring to the plant.

Key words: Lean Manufacturing, continuous improvement, simulation, standaritation, VSM.

RESUM

Amb els seus més de cent anys d'història, la planta valenciana Stadler Rail S.A.U és un referent en la fabricació ferroviària. Actualment forma part del grup suís Stadler Rail AG, del que porta formant part des del 31 de desembre de 2015. Localitzada a Albuixech, va ser adquirida pel grup suís quan era coneguda com Vossloh i en l'actualitat presenta un ampli catàleg de productes com a tramvies, metres, trens interurbans o d'alta velocitat entre altres.

L'objecte de treball se centra en la producció localitzada en el taller elèctric de la planta. Un taller que fabrica armaris elèctrics equipats en locomotores, pupitres de cabina i la resta d'equipament elèctric. El projecte se centrarà en comprendre el funcionament real del taller, de la qual cosa derivarà una anàlisi i simulació de la situació actual. Es detectaran els problemes que afecten negativament a la producció i es trobaran les seues respectives causes, per a centrar el focus d'atenció en l'origen de les limitacions del sistema. Finalment es proposarà una sèrie d'alternatives de millora, avaluant l'impacte de cada una, a fi de conèixer els beneficis que reporten a la planta estudi.

Paraules clau: Lean Manufacturing, millora contínua, simulació, estandardització, VSM.

Índice del proyecto

- Memoria
- Presupuesto
- Anexos

Índice de la memoria

1. Introducción	1
1.1. Objeto de trabajo	1
1.2. Motivación	1
1.3. Objetivos del trabajo	1
1.4. Estructura del documento	2
2. Descripción del entorno	3
2.1. Introducción	3
2.2. Introducción a la empresa	3
2.2.1. Misión, visión y valores	4
2.2.2. Historia	5
2.2.3. Emplazamiento y distribución en planta	6
2.2.4. Organigrama	7
2.2.5. Proceso productivo	8
2.2.6. Sistema de información de la empresa	9
2.3. Productos y servicios de la empresa	10
2.4. Clientes y proveedores de la empresa	12
2.4.1. Clientes	12
2.4.2. Proveedores y cadena de suministro	13
2.4.3. Evolución de ventas	14
2.5. La organización interna	15
2.6. Contexto del estudio, el objeto y los objetivos	16
2.7. Conclusiones	18

3. Marco teórico	19
3.1. Introducción	19
3.2. Lean Manufacturing	19
3.2.1. Filosofía Lean	19
3.2.2. Los siete desperdicios	20
3.3. Value Stream Mapping	20
3.3.1. Metodología VSM	20
3.3.2. Indicadores	21
3.4. Técnicas de identificación de la causa raíz y resolución de problemas	22
3.4.1. Diagrama causa-efecto (Ishikawa)	22
3.4.2. Cinco por qué	23
3.5. Estandarización de operaciones	23
3.6. Arquitectura de cuatro capas	23
3.7. Conclusión	24
4. Análisis detallado de la situación actual	25
4.1. Introducción	25
4.2. Representación actual del taller. Value Stream Mapping AS-IS	25
4.2.1. Selección de la familia de productos	25
4.2.2. Trazado del VSM AS-IS	29
4.2.3. Detección de problemas	33
4.3. Análisis y evaluación de impacto de los problemas detectados	34
4.3.1. Problema 1. Control manual de producción	35
4.3.2. Problema 2. Almacén sobresaturado	36
4.3.3. Problema 3. Pedidos con excesiva antelación	38
4.3.4. Problema 4. Tamaño de lotes incontrolado	40
4.3.5. Problema 5. Interrupciones de producción	42
4.3.6. Problema 6. Los trabajadores no tienen un puesto de trabajo fijo	44
4.4. Conclusión	45
5. Identificación de soluciones potenciales	46
5.1. Introducción	46
5.2. Situación deseada. Elaboración del Value Stream Mapping TO-BE	46
5.3. Posibles oportunidades de mejora	48
5.3.1. Posibles oportunidades de mejora para la incidencia del control manual de producción	48
5.3.2. Posibles oportunidades de mejora para la incidencia del almacén sobresa- turado	50

5.3.3.	Posibles oportunidades de mejora para la incidencia de la excesiva antelación de los pedidos a proveedores	52
5.3.4.	Posibles oportunidades de mejora para la incidencia del tamaño incontrolado de los lotes	54
5.3.5.	Posibles oportunidades de mejora para la incidencia de las interrupciones de producción	55
5.3.6.	Posibles oportunidades de mejora para la incidencia en la que los trabajadores no tienen un puesto de trabajo fijo	57
5.4.	Agrupación y selección de medidas a implantar.	58
5.5.	Conclusión	60
6.	Construcción de la simulación y validación del modelo	61
6.1.	Introducción	61
6.2.	Construcción de la herramienta en SIMIO	61
6.2.1.	Planificación del desarrollo	62
6.2.2.	Diseño de la infraestructura (Network)	63
6.2.3.	Programación de la lógica de simulación (Logic)	65
6.2.4.	Construcción de la Base de Datos del modelo (Database)	69
6.2.5.	Diseño de la capa visual (Visual Reality)	73
6.3.	Validación del modelo	75
6.3.1.	Planificación del análisis de sensibilidad	75
6.3.2.	Análisis modular del almacén	76
6.3.3.	Análisis modular del ensamblaje de armarios y pupitres	78
6.3.4.	Análisis general del modelo	81
6.4.	Conclusión	87
7.	Diseño y desarrollo de investigaciones	88
7.1.	Introducción	88
7.2.	Propuesta de hipótesis de estudio	88
7.3.	Estudio 1. Estudio de la capacidad real de la planta y comportamiento ante escenarios futuros.	89
7.3.1.	Descripción del estudio	89
7.3.2.	Análisis de los resultados	92
7.3.3.	Conclusiones del estudio	99
7.4.	Estudio 2. Fabricación en lotes frente a fabricación en flujo continuo	100
7.4.1.	Descripción del estudio	100
7.4.2.	Análisis de los resultados	102
7.4.3.	Conclusiones del estudio	105

7.5.	Estudio 3. Mejora del almacén. Redistribución y oportunidades	107
7.5.1.	Descripción del estudio	107
7.5.2.	Análisis de los resultados	110
7.5.3.	Conclusiones del estudio	116
7.6.	Estudio 4. Control de calidad a la entrada del almacén	117
7.6.1.	Descripción del estudio	117
7.6.2.	Análisis de los resultados	119
7.6.3.	Conclusiones del estudio	121
7.7.	Conclusión	122
8.	Conclusiones	124
8.1.	Conclusiones de la memoria	124
8.2.	Lecciones aprendidas	126
8.3.	Futuras líneas de trabajo	126
	Bibliografía	127

Índice del presupuesto

1.	Consideraciones generales	1
2.	Presupuestos parciales	2
3.	Resumen del presupuesto	5
4.	Retorno de inversión	6

Índice del anexo

1.	Anexo 1. VSM TO-BE	1
2.	Anexo 2. Hojas de control de calidad estándar.	3

Índice de figuras

2.1.	Imagen aérea de la planta de Valencia. Fuente: Stadler Raíl.	4
2.2.	Frisa histórica. Fuente: Elaboración propia.	5
2.3.	Localización Stadler Raíl SAU. Fuente: Google Maps.	6
2.4.	Distribución en planta de Stadler Raíl SAU. Fuente: Google Maps.	7
2.5.	Organigrama de Stadler Raíl SAU. Fuente: Elaboración propia.	8
2.6.	Esquema de Sistema de Información. Fuente: Elaboración propia.	9
2.7.	Vehículos de larga distancia, FLIRT200(Izquierda) y SMILE(Derecha). Fuente: Stadler Raíl.	10
2.8.	Vehículos de media distancia, GTW(Izquierda) y WINK(Derecha). Fuente: Stadler Raíl.	11
2.9.	Vehículos urbanos, TRAMLINK(Izquierda) y Metro(Derecha). Fuente: Stadler Raíl.	11
2.10.	Locomotora EURODUAL(Izquierda) y tren cremallera(Derecha). Fuente: Stadler Raíl.	12
2.11.	Proyectos de trenes urbanos de Stadler Raíl. Fuente: Elaboración propia.	12
2.12.	Esquema de la cadena de suministro de Stadler Raíl. Fuente: Elaboración propia.	14
2.13.	Evolución de las unidades vendidas de 2015-2018. Fuente: Elaboración propia.	14
2.14.	Evolución de las toneladas vendidas de 2015-2018. Fuente: Elaboración propia.	15
2.15.	Ubicación del taller eléctrico. Fuente: Google Maps.	16
3.1.	Modelo de simulación mediante la arquitectura de cuatro capas. Fuente: Data-driven simulation methodology using DES 4-layer architecture, 2018 [7]	24
4.1.	Análisis Producto-Cantidad del taller eléctrico. Fuente: Elaboración propia.	26
4.2.	Ejemplo de armario 114 (Izquierda) y armario BT (Derecha). Fuente: Stadler Raíl	27
4.3.	Análisis reducido Producto-Cantidad del taller eléctrico. Fuente: Elaboración propia.	28
4.4.	Pupitres cabina equipados. Fuente: Stadler Raíl.	28
4.5.	VSM AS-IS del montaje de armarios eléctricos. Fuente: Elaboración propia.	29
4.6.	VSM AS-IS del montaje de pupitres cabina. Fuente: Elaboración propia.	31
4.7.	Incidencias detectadas en el VSM AS-IS de los armarios eléctricos. Fuente: Elaboración propia.	33

4.8. Incidencias detectadas en el VSM AS-IS de los pupitres cabina. Fuente: Elaboración propia.	33
4.9. Diagrama cinco por qué del problema 1. Fuente: Elaboración propia.	35
4.10. Diagrama Ishikawa del problema 2. Fuente: Elaboración propia.	37
4.11. Diagrama cinco por qué del problema 2. Fuente: Elaboración propia.	37
4.12. Diagrama cinco por qué del problema 3. Fuente: Elaboración propia.	39
4.13. Diagrama Ishikawa del problema 4. Fuente: Elaboración propia.	40
4.14. Diagrama cinco por qué del problema 4. Fuente: Elaboración propia.	41
4.15. Diagrama Ishikawa del problema 5. Fuente: Elaboración propia.	42
4.16. Diagrama cinco por qué del problema 5. Fuente: Elaboración propia.	43
4.17. Diagrama cinco por qué del problema 6. Fuente: Elaboración propia.	44
5.1. VSM TO-BE del montaje de pupitre cabina. Fuente: Elaboración propia.	47
5.2. VSM TO-BE del montaje de armarios eléctricos. Fuente: Elaboración propia.	47
5.3. Oportunidades que abarca la simulación. Fuente: Elaboración propia.	59
6.1. Esquema de la planificación de la construcción del modelo. Fuente: Elaboración propia.	62
6.2. Esquema del layout del taller eléctrico. Fuente: Elaboración propia.	63
6.3. Esquema del layout del almacén. Fuente: Elaboración propia.	65
6.4. Flujograma general de la planta. Fuente: Elaboración propia.	66
6.5. Flujograma general de la planta dividido en bloques. Fuente: Elaboración propia.	66
6.6. Diagrama de flujo de la programación de la carretilla de transporte. Fuente: Elaboración propia.	68
6.7. Diagrama relacional de la base de datos utilizada. Fuente: Elaboración propia.	74
6.8. Panel gráfico para análisis de resultados. Fuente: Elaboración propia.	74
6.9. Etapas a realizar con el modelo. Fuente: Elaboración propia.	75
6.10. Perspectiva del almacén modelado. Fuente: Elaboración propia.	76
6.11. Comparación del número de entradas y salidas al almacén respecto a los productos que entran a sistema en los experimentos de 120, 240 y 480 horas. Fuente: Elaboración propia.	77
6.12. Comparación de la ocupación de los huecos disponibles en almacén en los experimentos de 120, 240 y 480 horas. Fuente: Elaboración propia.	77
6.13. Perspectiva del taller eléctrico modelado. Fuente: Elaboración propia.	79
6.14. Comparación del número de entradas y salidas a las estaciones de trabajo respecto a los productos que entran a sistema en los experimentos de 120, 240 y 480 horas. Fuente: Elaboración propia.	79

6.15. Utilización de las estaciones de trabajo en los experimentos de tiempo de simulación 120h(izquierda), 240h(centro) y 480h(derecha). Fuente: Elaboración propia.	80
6.16. Gráfico de cajas y bigotes del Dock to Dock según los productos en los experimentos realizados. Fuente: Elaboración propia.	82
6.17. Comparación del número de entradas y salidas al modelo según el tipo de producto a fabricar en los experimentos realizados. Fuente: Elaboración propia.	83
6.18. Nivel de ocupación del almacén en los ensayos de baja demanda (izquierda), demanda estándar (centro) y alta demanda (derecha). Fuente: Elaboración propia.	84
6.19. Grado de utilización de las estaciones de ensamblaje en los tres ensayos variando la demanda realizados. Fuente: Elaboración propia.	85
6.20. Nivel de ocupación del almacén en los ensayos de huecos de almacén estándar (Izquierda)y un hueco de almacén menos (derecha). Fuente: Elaboración propia.	86
6.21. Grado de utilización de las estaciones de ensamblaje en los ensayos variando el número de estaciones. Fuente: Elaboración propia.	87
7.1. Diagrama de la metodología de experimentos a seguir en el estudio de la capacidad de producción máxima. Fuente: Elaboración propia.	91
7.2. Dock to Dock de cada producto acabado durante el primer experimento. Fuente: Elaboración propia.	92
7.3. Histograma de la frecuencia del Dock to Dock de los productos "Armarios" de los escenarios 1 (azul), 2 (amarillo) y 3 (verde). Fuente: Elaboración propia.	93
7.4. Grado de utilización de las estaciones de ensamblaje en los tres escenarios de la batería de experimentos 1. Fuente: Elaboración propia.	94
7.5. Búsqueda de la producción máxima de la planta . Fuente: Elaboración propia.	95
7.6. Evolución de los productos ensamblados durante el escenario 6 de la batería de experimentos 2. Fuente: Elaboración propia.	96
7.7. Nivel de utilización de las estaciones de ensamblaje en el ensayo a máxima producción. Fuente: Elaboración propia.	97
7.8. Utilización del almacén durante el escenario número 7 de la segunda batería de experimentos. Fuente: Elaboración propia.	97
7.9. Reparto de productos según estación de ensamblaje en los escenarios 2 (izquierda) y 3 (derecha) de la batería de experimentos número 3. Fuente: Elaboración propia.	98
7.10. Dock to Dock de cada pupitre fabricado en los ensayos 1 y 2. Fuente: Elaboración propia.	102
7.11. Nivel de utilización de las estaciones de ensamblaje de pupitres en los escenarios 1 y 2. Fuente: Elaboración propia.	103
7.12. Evolución de la producción en la planta durante los escenarios 3 y 4. Fuente: Elaboración propia.	104

7.13. Evolución de la cola de productos a la entrada de la planta durante los escenarios 3 y 4 respecto a la demanda (en amarillo). Fuente: Elaboración propia.	104
7.14. Distribución actual del almacén con ejemplos de flujo de manutención. Fuente: Elaboración propia.	107
7.15. Espacio destinado a localizar una referencia. Fuente: Elaboración propia.	108
7.16. Nueva distribución del almacén del taller eléctrico. Fuente: Elaboración propia. . .	108
7.17. Comparación nivel de ocupación del almacén durante los escenarios 1 (azul) y 2 (naranja) de la batería de experimentos 1. Fuente: Elaboración propia.	110
7.18. Evolución de la cola de productos a la entrada de la planta durante los escenarios 1 y 2 de la batería de experimentos 1. Fuente: Elaboración propia.	111
7.19. Extracto de la evolución de la producción durante los escenarios 1 y 2 de la batería de experimentos 1. Fuente: Elaboración propia.	112
7.20. Resultados de la batería de experimentos 2. Fuente: Elaboración propia.	113
7.21. Evolución de la producción en el escenario 7 de la batería de experimentos 3. Fuente: Elaboración propia.	114
7.22. Nivel de ocupación y evolución del almacén durante el ensayo a capacidad máxima. Fuente: Elaboración propia.	115
7.23. Tiempo no productivo de cada producto acabado del ensayo a capacidad máxima. Fuente: Elaboración propia.	115
7.24. Porcentaje de utilización de las estaciones de ensamblaje del ensayo a capacidad máxima. Fuente: Elaboración propia.	116
7.25. Hojas estándar guías de control de calidad. Fuente: Elaboración propia.	118
7.26. Tiempo transcurrido en almacén de cada producto. Fuente: Elaboración propia. .	119
7.27. Grado de utilización de las estaciones de ensamblaje durante los escenarios 3 y 4. Fuente: Elaboración propia.	120

Índice de tablas

2.1.	Catálogo Stadler Raíl . Fuente: Stadler Raíl.	10
2.2.	Pesos estimados . Fuente: Stadler Raíl.	14
3.1.	Siete desperdicios del lean manufacturing. Fuente: Elaboración propia.	20
3.2.	Indicadores de tiempo utilizados. Fuente: Elaboración propia.	22
4.1.	Productos fabricados en 2018. Fuente: Elaboración propia.	26
4.2.	Ejemplo de plantilla de registro de incidencia. Fuente: Elaboración propia.	34
4.3.	Registro de incidencia número 1. Fuente: Elaboración propia.	35
4.4.	Registro de incidencia número 2. Fuente: Elaboración propia.	36
4.5.	Registro de incidencia número 3. Fuente: Elaboración propia.	38
4.6.	Registro de incidencia número 4. Fuente: Elaboración propia.	40
4.7.	Registro de incidencia número 5. Fuente: Elaboración propia.	42
4.8.	Registro de incidencia número 6. Fuente: Elaboración propia.	44
5.1.	Descripción de la opción del estudio de la capacidad de producción y posibles escenarios mediante simulación . Fuente: Elaboración propia	49
5.2.	Descripción de la opción de . Fuente: Elaboración propia	50
5.3.	Descripción de la opción de implantar las 5S. Fuente: Elaboración propia	51
5.4.	Descripción de la opción de redistribuir los espacios. Fuente: Elaboración propia	51
5.5.	Descripción de la opción de asignación de responsabilidades. Fuente: Elaboración propia	53
5.6.	Descripción de la opción de estudiar las operaciones desde la compra hasta el montaje final. Fuente: Elaboración propia	53
5.7.	Descripción de la opción de estandarizar lotes. Fuente: Elaboración propia	54
5.8.	Descripción de la opción de eliminar lotes para crear flujo de una pieza. Fuente: Elaboración propia	55
5.9.	Descripción de la opción de implantación de un SMED. Fuente: Elaboración propia	56
5.10.	Descripción de la opción de crear una inspección de calidad. Fuente: Elaboración propia	57
5.11.	Descripción de la opción de elaborar estándares. Fuente: Elaboración propia	58

6.1.	Tasa de llegada de productos. Fuente: Elaboración propia.	67
6.2.	Parámetros relacionados con cada producto a fabricar. Fuente: Elaboración propia.	70
6.3.	Parámetros relacionados con el taller y su almacén. Fuente: Elaboración propia. .	70
6.4.	Parámetros relacionados con el vehículo de manutención. Fuente: Elaboración propia.	71
6.5.	Variables relacionadas con cada producto a fabricar. Fuente: Elaboración propia. .	71
6.6.	Variables relacionadas con el transporte de productos . Fuente: Elaboración propia.	72
6.7.	Tiempo transcurrido en almacén de los productos en los experimentos de 120, 240 y 480 horas. Fuente: Elaboración propia.	78
6.8.	Tiempo transcurrido en las estaciones de ensamblaje de los productos en los ex- perimentos de 120, 240 y 480 horas. Fuente: Elaboración propia.	81
6.9.	Batería de ensayos para el análisis de sensibilidad a la demanda. Fuente: Elabora- ción propia.	84
6.10.	Batería de ensayos para el análisis de sensibilidad ante cambios de huecos de al- macén y número de estaciones de trabajo. Fuente: Elaboración propia.	85
6.11.	Nivel de inventario medio en los ensayos realizados. Fuente: Elaboración propia. .	86
7.1.	Batería de experimentos para observar el comportamiento del modelo ante los cambios en la forma de la demanda. Fuente: Elaboración propia.	90
7.2.	Batería de experimentos para observar el comportamiento del modelo ante la re- ducción en la demanda. Fuente: Elaboración propia.	91
7.3.	Dock to Dock de la primera batería de experimentos del estudio de la demanda. Fuente: Elaboración propia.	93
7.4.	Dock to Dock ajustado de la primera batería de experimentos del estudio de la demanda. Fuente: Elaboración propia.	94
7.5.	Batería de experimentos para obtener la capacidad de producción máxima de la planta. Fuente: Elaboración propia.	95
7.6.	Máxima capacidad de producción del taller. Fuente: Elaboración propia.	96
7.7.	Nivel de ocupación medio de la batería de experimentos número 3. Fuente: Elabo- ración propia.	99
7.8.	Conclusiones del primer estudio del capítulo. Fuente: Elaboración propia.	100
7.9.	Batería de experimentos para comparar los sistemas de producción en flujo con- tinuo y en lotes. Fuente: Elaboración propia.	101
7.10.	Conclusiones del segundo estudio del capítulo. Fuente: Elaboración propia.	106
7.11.	Batería de experimentos para comparar las distribuciones en planta del almacén. Fuente: Elaboración propia.	109
7.12.	Batería de experimentos para comparar las distribuciones en planta del almacén. Fuente: Elaboración propia.	109

7.13. Comparativa entre la distribución actual del almacén y la propuesta. Fuente: Elaboración propia.	110
7.14. Nivel de inventario medio de la batería de experimentos número 1. Fuente: Elaboración propia.	111
7.15. Número de productos elaborados en los escenarios 1 y 2 de la batería de experimentos 1. Fuente: Elaboración propia.	111
7.16. Batería de experimentos para obtener la capacidad de producción máxima de la planta introducidas las mejoras en el almacén. Fuente: Elaboración propia.	114
7.17. Máxima capacidad de producción del taller con las mejoras en almacén añadidas. Fuente: Elaboración propia.	114
7.18. Conclusiones del tercer estudio del capítulo. Fuente: Elaboración propia.	117
7.19. Batería de experimentos para evaluar la introducción de un control de calidad previo. Fuente: Elaboración propia.	118
7.20. Nivel de utilización medio de las estaciones de trabajo en los escenarios 3 y 4. Fuente: Elaboración propia.	120
7.21. Nivel de ocupación medio del almacén en los escenarios 3 y 4. Fuente: Elaboración propia.	121
7.22. Promedio y desviación estándar del Dock to Dock en los escenarios 3 y 4. Fuente: Elaboración propia.	121
7.23. Conclusiones del cuarto estudio del capítulo. Fuente: Elaboración propia.	122

Capítulo 1

Introducción

1.1. Objeto de trabajo

El presente Trabajo Final de Máster tiene el objeto de analizar la situación actual de la planta eléctrica de Stadler Raíl en Valencia, empresa dedicada a la fabricación de vehículos ferroviarios. Seguidamente se propondrán una serie de oportunidades que permitirán mejorar el sistema productivo de este taller eléctrico.

1.2. Motivación

La motivación de la realización de este trabajo académico se basa principalmente en conseguir finalizar el Máster Universitario de Ingeniería Industrial y con ello, concluir la etapa académica universitaria iniciada seis años atrás.

Respecto al ámbito profesional, este proyecto es la oportunidad de poner en práctica los conocimientos adquiridos en la especialidad de Organización Industrial, en relación con la mejora de las operaciones de un sistema productivo. Además, permite al autor mostrar su capacidad de resolución de problemas a la empresa donde está trabajando en calidad de prácticas.

1.3. Objetivos del trabajo

Los objetivos del proyecto giran entorno a la detección de los problemas en el sistema productivo, y la búsqueda de oportunidades que permitan explotar estas deficiencias hasta conseguir eliminarlas o reducirlas para mejorar el funcionamiento de la planta. Todo ello sigue la línea del objetivo de Lean Manufacturing: eliminación del desperdicio y mejora continua.

1.4. Estructura del documento

El la memoria consta de un total de once capítulos. En el **capítulo 2** se desarrolla la descripción del entorno de la empresa donde se lleva a cabo el proyecto. El **capítulo 3** constituye el marco teórico donde se expone la base teórica en la que se sustenta el trabajo académico.

El **capítulo 4** expone el análisis detallado de la situación actual. En él se estudia el funcionamiento de la planta objeto mediante la metodología "Value Stream Mapping", mediante la cuál se examinará la cadena de valor de los productos de la empresa. En este capítulo se localizarán los problemas y se identificará su causa raíz. Siguiendo la línea del cuarto capítulo, en el **capítulo 5** se identifican las potenciales soluciones que pueden solventar los problemas detectados en el capítulo anterior. Una vez se enumeren las posibles opciones, el capítulo concluirá con la selección de las soluciones que se implementarán.

En el **capítulo 6** se construirá un modelo de simulación. Se utilizará esta herramienta para ayudar a estudiar el sistema de producción del taller eléctrico, y servir de base para futuras investigaciones. Para que los resultados de este modelo sean confiables, en el capítulo se realizará la validación de él.

Una vez se disponga de un modelo de simulación validado, el **capítulo 7** tiene el objetivo de, mediante una serie de hipótesis de estudio, estudiar el comportamiento del taller eléctrico y encontrar mejoras del sistema. En este capítulo se desarrollan diferentes estudios usando la herramienta de simulación.

Finalmente, los **capítulos 8, 9 y 10** completan el proyecto aportando las conclusiones de este, los trabajos futuros que siguen la línea del trabajo, y exponiendo la bibliografía respectivamente.

Capítulo 2

Descripción del entorno

2.1. Introducción

Este capítulo constituye el punto de partida de la memoria y primera toma de contacto con el trabajo académico. En él se contextualizará el proyecto a través de la descripción del entorno donde se desarrolla. A la hora de entender mejor todo lo que engloba el objeto del trabajo, es preciso entender el funcionamiento general de la empresa donde se lleva a cabo, junto con los productos o servicios que esta provee. Todo ello justifica la elaboración de este capítulo, donde se pretende presentar a la empresa, conocer las relaciones tanto internas como externas que posee, para acabar focalizando la atención en el objeto de trabajo.

En primer lugar se introducirá a la empresa y se describirá la gama de productos y servicios que ofrece. Tras esto, se centrará la atención sobre las relaciones que esta compañía establece con sus proveedores y clientes, y por otro lado la estructura interna con la que se organiza a todos los niveles de la planta. El capítulo finalizará exponiendo el objeto del proyecto junto con los objetivos que se pretenden conseguir con la realización de este.

2.2. Introducción a la empresa

La planta valenciana Stadler Raíl SAU forma parte del grupo suizo Stadler Rail AG que, con un total de 29 divisiones repartidas por todo el mundo, es un referente a nivel internacional en la fabricación de vehículos ferroviarios.

La compañía suiza cuenta con más de 10.500 empleados a nivel internacional repartidos entre sus plantas de Suiza, Alemania, España, Polonia, Hungría, República Checa, Italia, Austria, Países Bajos, Bielorrusia, Argelia, Australia y Estados Unidos. La sede principal se localiza en Bussnang, un pequeño municipio al este de Suiza.

2.2.1. Misión, visión y valores

La misión de Stadler se centra en construir vehículos ferroviarios que aporten valor añadido al cliente, y se adaptan de la mejor forma posible a sus necesidades. Resaltan la fiabilidad y seguridad que estos trenes ofrecen junto con el máximo confort a los pasajeros. Con esto pretenden facilitar la competitividad de los diferentes operadores, mejorando continuamente el rendimiento y rentabilidad de los productos. No solo se limitan a la producción, puesto que ofrecen un amplio catálogo de servicios que añaden valor al producto y contribuyen a su excelente reputación a nivel mundial. [3]



Figura 2.1: Imagen aérea de la planta de Valencia. Fuente: Stadler Rail.

Siguiendo la misma línea que la misión, Stadler tiene como visión consolidar su liderazgo del sector de proveedores ferroviarios. Garantiza la mayor calidad, y con una filosofía de desarrollo sostenible extendida en todas sus sedes contribuyendo al éxito de sus clientes. [11]

La empresa establece una serie de valores que permiten guiar y orientar las decisiones y conductas de sus trabajadores. Los principios más importantes que se pueden extraer de Stadler son que se listan a continuación:

- **Colaboración:** Para Stadler, sus clientes son un socio clave durante todo el proceso de producción y el posterior servicio post venta. Es por ello que apuesta por una buena colaboración con ellos entre la propia organización.
- **Rentabilidad:** Gracias a la alta disponibilidad, eficiencia energética y unos costes bajos, Stadler es símbolo de rentabilidad.
- **Tecnología de vanguardia:** La mejora continua es un aspecto fundamental de la empresa, siempre busca incorporar la última tecnología a sus productos.
- **Responsabilidad:** Stadler conoce la responsabilidad que ha de tener frente a la sociedad y al medio ambiente, es por ello que armonizan sus acciones en consecuencia a dicha responsabilidad.
- **Fiabilidad:** Para Stadler fiabilidad significa ser un socio competente, cumplir plazos y con-

Capítulo 2. Descripción del entorno

diciones acordadas, y todo ello entregando la máxima calidad posible.

- **Flexibilidad:** El deseo del cliente es, ante todo, alcanzable. Por ello vuelca sus esfuerzos en adaptar cada diseño a las expectativas del cliente.

2.2.2. Historia

La planta de Valencia, se ha impregnado desde el primer momento de la filosofía de trabajo de la empresa suiza. La historia de esta planta no siempre ha estado conectada a Stadler, ya que no fue hasta el año 2015 cuando la multinacional suiza centrara su atención en la fábrica de Albuixech. En diciembre de dicho año, Stadler adquirió la planta cuando operaba bajo el nombre de Vossloh España y desde entonces, la factoría opera como una más de las numerosas sedes que vertebran el tejido empresarial de Stadler Raíl AG. En la Figura 2.2 se ha realizado la frisa histórica que representa los hitos más importantes de Stadler y la planta valenciana en paralelo. En ella se observa como en 2015 unen sus caminos y pasan a formar una única línea temporal.

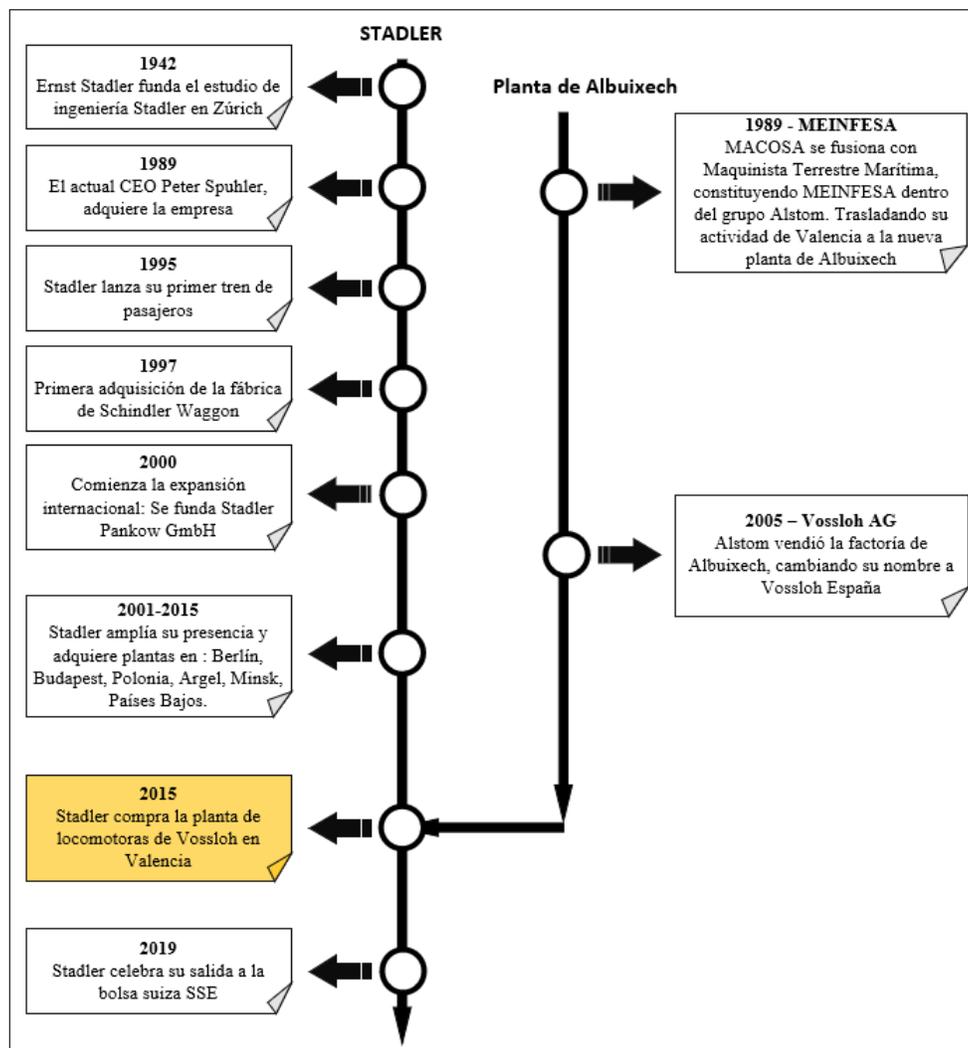


Figura 2.2: Frisa histórica. Fuente: Elaboración propia.

2.2.3. Emplazamiento y distribución en planta

Stadler Raíl SAU se emplaza en Albuixech, se ubica frente a la autovía V-21 junto a la costa valenciana. La localización facilita las comunicaciones de la empresa gracias a la presencia de la autovía, y la proximidad del Puerto de Sagunto situado a 18 kilómetros más al Norte.

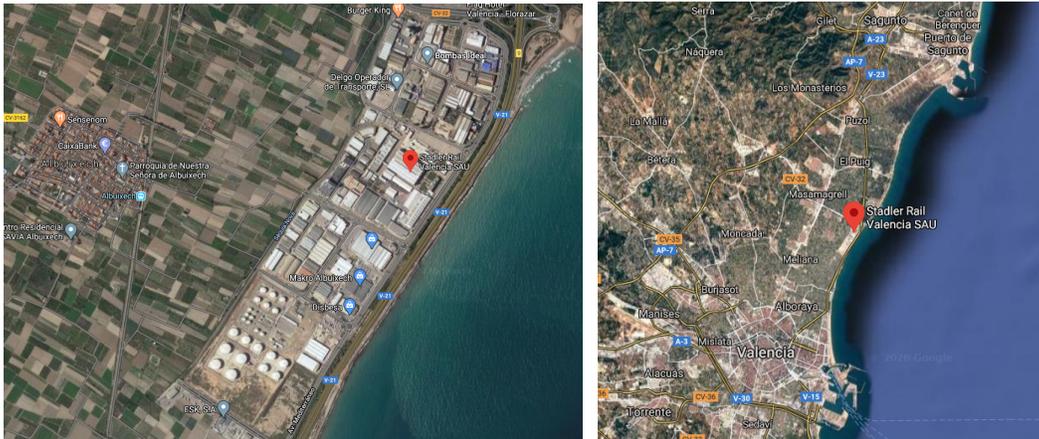


Figura 2.3: Localización Stadler Raíl SAU. Fuente: Google Maps.

La planta valenciana se compone de diferentes naves industriales y edificios de oficinas. Cada uno de ellos dedicado o bien a un proceso operativo en concreto, o bien a una función auxiliar o estratégica. A continuación se listarán las zonas más características de la planta en base a la fotografía aérea del complejo industrial de la Figura 2.4.

1. **Calderería, acabados y cajas:** Cinco naves adosadas con distintas funciones cada una. La nave de cajas monta la estructura del vehículo ferroviario. La zona de calderería donde se realiza la fabricación de diferentes útiles y piezas. Y finalmente dos naves de acabados donde se ensambla el vehículo al completo a lo largo de sus estaciones de trabajo.
2. **Nave de bogies:** En esta zona se fabrica el conjunto bogie que constituye el punto de apoyo del tren con el raíl. El bogie incluye ruedas, suspensión y ejes.
3. **Zona de pintura:** Aquí es donde se pintan las piezas fabricadas por Stadler, generalmente es la zona dedicada a la pintura de las cajas.
4. **Almacenes provisionales:** Se tratan de varias carpas destinadas como almacenes provisionales. Actualmente existen cinco almacenes intermedios de este formato donde se localizan todo tipo de materiales.
5. **Almacén principal:** Los almacenes principales de la planta se localizan en esta posición. Desde aquí se abastecen el resto de funciones y se reciben las entregas.
6. **Oficinas:** El edificio de oficinas alberga el departamento de ingeniería al completo. Además en la zona superior se encuentra la dirección de la planta.
7. **Edificios multiuso:** Junto al comedor se localiza un edificio destinado a varios usos. En este edificio se localiza el departamento de Recursos Humanos de la empresa entre otras

funciones.

8. **Naves de nueva construcción:** Naves destinadas a acabados y ensayos.
9. **Taller Eléctrico:** Constituye el objeto del proyecto. Es el taller donde se ensamblan conjuntos y armarios eléctricos y se montan los diferentes maniqués de cableado.

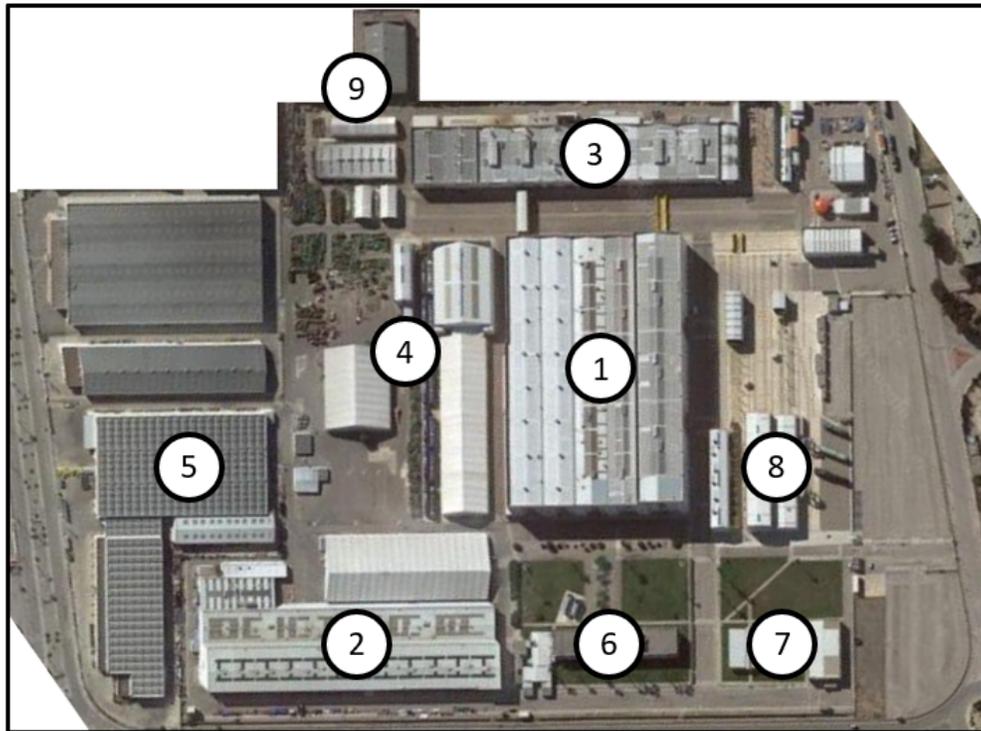


Figura 2.4: Distribución en planta de Stadler Raíl SAU. Fuente: Google Maps.

La distribución tal y como se ve reflejada en el esquema anterior, es principalmente funcional. Existe un lugar independiente para cada función específica. Al margen del edificio dedicado exclusivamente a oficinas, cada zona industrial posee un anexo donde se realiza la operativa más cercana a la actividad ya sea en la propia nave industrial o en sus alrededores.

2.2.4. Organigrama

Una vez enunciada la estructura física de la empresa, se explicará a grandes rasgos la estructura organizativa a nivel del personal. El organigrama de la empresa tiene un marcado carácter vertical. Esta verticalidad se ve reflejada en la altura de la pirámide que forma su organización. En primer lugar, el responsable de la planta es el Vicepresidente Ejecutivo (EVP) Íñigo Parra, constituye el mando de mayor grado de la planta valenciana y por encima suyo únicamente está la dirección del grupo suizo Stadler Rail AG. A partir de él, se encuentran los responsables de los grandes departamentos que vertebran la planta: Recursos Humanos, Márketing, Compras y Calidad constituyen los departamentos auxiliares mientras que Dirección Industrial, Ingeniería, Operaciones y el departamento Financiero constituyen los principales ejes de la compañía. Cada departamento

está encabezado por un responsable, y a su vez, se subdivide en diferentes áreas encabezadas por un encargado de área o jefe de departamento. Los encargados de área por su parte, pueden tener grupos reducidos de trabajo a su cargo, o bien nuevamente seguir ramificándose en departamentos más pequeños. Los operarios de las plantas siguen la misma estructura, grupos reducidos de trabajo con alta ramificación vertical en peón, especialista, oficial de tercera, segunda y primera, encargados y jefes de equipo. En la figura 2.5 se muestra el esquema básico del organigrama.

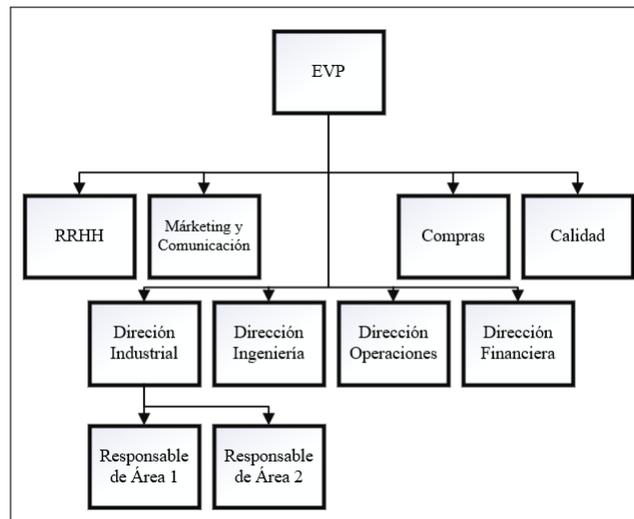


Figura 2.5: Organigrama de Stadler Raíl SAU. Fuente: Elaboración propia.

2.2.5. Proceso productivo

Según la propia empresa en su declaración ambiental de 2018 [11], el proceso productivo se puede englobar en ocho etapas principales.

1. **Diseño:** Se elaboran los planos de todo el producto en base a las necesidades y requerimientos del cliente. Si la pieza la elabora una empresa externa, se encarga el departamento de compras y si la fabricación es interna continúa el proceso natural.
2. **Mecanizado:** En este proceso se realizan las transformaciones mecánicas como mecanizado, plegado, granallado, y montaje de subconjuntos.
3. **Calderería:** Realmente apoya al proceso anterior y está presente en el siguiente. Se basa en la fabricación de depósitos y demás equipos para el almacenaje o transporte de piezas.
4. **Montaje de cajas:** En este proceso se fabrican los largueros, traviesas, cabeceras y demás para posteriormente ensamblarlos creando la estructura principal del vehículo ferroviario.
5. **Pintura:** La caja se pinta así como las piezas que lo requieran y se procede a la etapa de secado.
6. **Adhesivado:** Este proceso consiste en aplicar el adhesivado sobre la locomotora o vagón correspondiente y protegerlo hasta la etapa final
7. **Acabado:** Constituye el ensamblaje al completo. En él se realizan en varias estaciones el

montaje de tuberías, precableado, montaje eléctrico, interiorismo entre otros. Su última etapa consiste en unir la caja con el bogie para finalizar con el ensayado.

8. **Ensayado:** Se realizan pruebas de estanqueidad, eléctricas, mecánicas, dinámicas y térmicas con el objetivo de testear al completo el producto que al finalizar esta etapa, estará listo para su envío a cliente.

2.2.6. Sistema de información de la empresa

La naturaleza del Sistema de Información de la empresa no dista de la estructura organizativa que ésta posee. La marcada perspectiva funcional del complejo industrial, junto con el carácter vertical de su organigrama derivan en un Sistema de Información adaptado a esta situación. Se trata de un Sistema de Información Automatizado, el cuál utiliza como software de soporte SAP. Este sistema cubre todas las necesidades de la compañía, y está estructurado para que todo el personal con acceso a un ordenador pueda trabajar con él. Como refleja la Figura 2.6, SAP es utilizado para las transacciones a más bajo nivel como son procesar compras de pedidos, soporte de clientes del departamento de márketing, o bien gestionar el estado de las tareas de producción, seguir un procedimiento de montaje por parte del departamento de producción. Subiendo de nivel, y con permisos de un cargo más elevado, con SAP se pueden gestionar recursos, controlar y vigilar recursos financieros, analizar campañas o supervisar el trabajo de determinadas personas. Por parte de la dirección estratégica y la alta dirección de la empresa, SAP apoya para establecer y conocer objetivos a largo plazo, valorar inversiones en tecnología o conocer la capacidad de producción de la empresa.

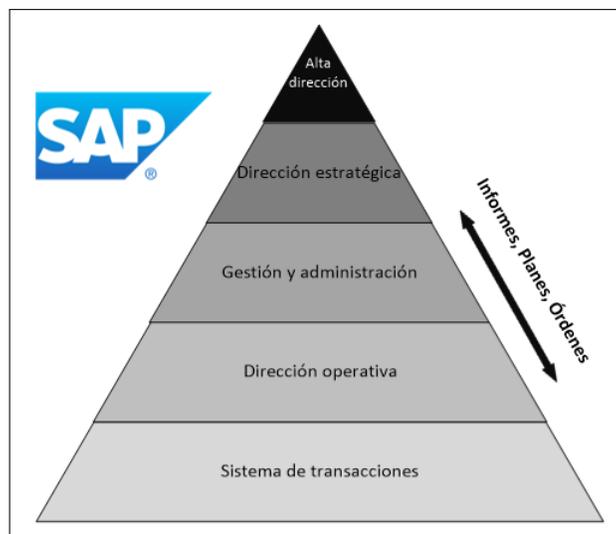


Figura 2.6: Esquema de Sistema de Información. Fuente: Elaboración propia.

Como Bases de Datos ajenas a SAP, se emplea iDoc para los planos 2D y TeamCenter para los modelos 3D. Con ello se facilita la visualización de dicha información en todos los departamentos.

2.3. Productos y servicios de la empresa

Como se ha mencionado en la misión de la empresa, Stadler Raíl centra su actividad en la fabricación de vehículos ferroviarios de todo tipo. Cada uno de sus productos evoluciona continuamente adaptándose a las necesidades del mercado actual. En la tabla 2.1 se recoge el catálogo de los productos que Stadler Raíl ofrece a sus clientes, siempre haciendo énfasis en la personalización de cada uno de ellos para cada pedido.

Productos Stadler Raíl	Modelos en oferta
Vehículos larga distancia	FLIRT200, KISS200, SMILE
Vehículos media distancia	FLIRT160, KISS160, WINK, GTW
Vehículos urbanos	TANGO, TRAMLINK, VARIOBAHN, METELITSA, CITYLINK, Metro
Locomotoras	EURO3000/4000, EUROLIGHT, EURODUAL, De maniobras
Módulos a medida	Cremalleras, Trenes automotor, Coches personalizados

Tabla 2.1: Catálogo Stadler Raíl . Fuente: Stadler Raíl.

Respecto a la oferta en el apartado de larga distancia, Stadler se centra con los modelos FLIRT200 y KISS200 en satisfacer los requisitos de los operadores más exigentes. Caracterizados por un mantenimiento reducido y emisiones controladas, son vehículos con larga historia en la empresa suiza. Por otra parte, en contraposición se pueden encontrar modelos como el SMILE destinado a la alta velocidad, y uno de los buque insignia de la compañía que apuesta por la innovación en este tipo de tecnologías. En la figura 2.7 se muestra un ejemplo de estos vehículos.



Figura 2.7: Vehículos de larga distancia, FLIRT200(Izquierda) y SMILE(Derecha). Fuente: Stadler Raíl.

En media distancia los modelos FLIRT y KISS mantienen su presencia en el catálogo con sus versiones 160. Junto a ellos se encuentra el GTW, el tren regional tradicional que Stadler fabrica desde 1995. La plataforma es más baja, la unidad motriz se encuentra entre coches, y alcanzan una velocidad máxima de 140 km/h. Siguiendo la línea del GTW, aparece en 2017 el WINK. La ventaja de este modelo estriba en su gran flexibilidad del sistema de tracción: Ofrece versiones con diésel, hidrobiodiésel, híbrido y eléctrico con baterías o pila de hidrógeno.



Figura 2.8: Vehículos de media distancia, GTW(Izquierda) y WINK(Derecha). Fuente: Stadler Rail.

A la hora de ofrecer soluciones urbanas, Stadler amplía su oferta respecto a las anteriores finalidades. El mercado en este nicho demanda mucha más versatilidad y soluciones diferentes según cada destino, por lo que Stadler se adapta a esta necesidad ensanchando su oferta de modelos. Como ejemplo de tranvía se muestra la opción de TRAMLINK, de hasta 7 módulos con soluciones unidireccionales o bidireccionales. Con un diseño flexible, modular y de estructura ligera, TRAMLINK y su diseño modular admite multitud de configuraciones tanto en el exterior e interior. En contraposición también encontramos soluciones para el Metro con varios proyectos realizados internacionalmente entre los que destaca, por cercanía, el metro para la Generalitat Valenciana. Ofrece una flexibilidad total para adaptarse a la personalización del cliente. En la figura 2.9 se muestra un ejemplo de estos vehículos TRAMLINK y Metro.



Figura 2.9: Vehículos urbanos, TRAMLINK(Izquierda) y Metro(Derecha). Fuente: Stadler Rail.

En el apartado de locomotoras, el fabricante suizo oferta un catálogo donde destaca nuevamente la variedad en el sistema motriz. Un ejemplo de ello se puede observar en las locomotoras EURODUAL que ofrece dos soluciones en 1: Puede ser utilizada en líneas de mercancías o de pasajeros y puede funcionar en líneas con catenaria y sin catenaria. Esta característica le permite circular sin electrificación ofreciendo en ambos casos una potencia elevada.

Al margen de lo anterior, Stadler también ofrece vehículos especiales. Son vehículos para aplicaciones particulares que su diseño depende casi exclusivamente del cliente que los demanda. En este apartado encontramos los trenes cremallera, donde Stadler se posiciona como el primer fabricante mundial de este tipo de soluciones. Este tipo de trenes se emplean para superar orografías muy accidentadas con pendientes elevadas.



Figura 2.10: Locomotora EURODUAL(Izquierda) y tren cremallera(Derecha). Fuente: Stadler Rail.

La compañía ofrece varios paquetes de servicios de la mano de estos productos. El paquete Full Service garantiza la atención integral y disponibilidad de los vehículos. En él se incluye el mantenimiento preventivo y correctivo en caso de avería. Stadler realiza revisiones periódicas de los sistemas más críticos como son los acoplamientos, los bogies o sistemas de aire acondicionado y compresores. También se puede contratar la modernización de los vehículos en los que el fabricante se encarga de actualizar el producto con la tecnología más novedosa. Todos estos paquetes pueden ser adquiridos individualmente. Existen numerosos proyectos donde se ha instalado una sede Stadler cerca del cliente, desde donde se han realizado las operaciones de mantenimiento

2.4. Clientes y proveedores de la empresa

2.4.1. Clientes

El nicho de clientes de Stadler comenzó en Suiza y Alemania, regiones próximas a su primera sede. En la actualidad, los clientes de Stadler son en su mayoría europeos aunque a lo largo de los años ha desarrollado proyectos por todo el mundo. A modo de ejemplo se ha recopilado todos los proyectos de trenes urbanos que Stadler ha realizado a nivel internacional. Sin contar con los que están en marcha, la Figura 2.11 recoge estos proyectos finalizados. El resto de vehículos siguen el mismo patrón, salvo proyectos individuales en Estados Unidos o en regiones de Asia.

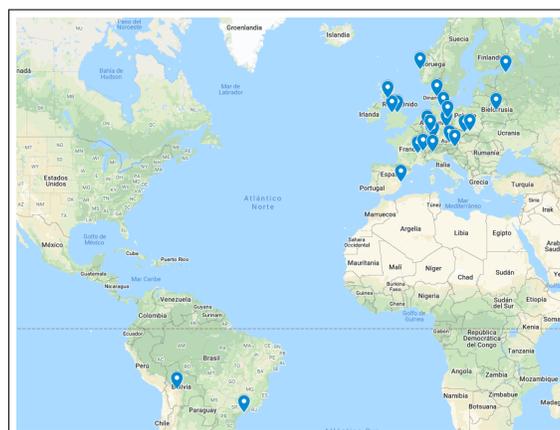


Figura 2.11: Proyectos de trenes urbanos de Stadler Rail. Fuente: Elaboración propia.

Los proyectos de la empresa surgen desde dos fuentes primarias: Por pedido directo del cliente, donde el cliente directamente contacta con Stadler para proponer el proyecto y especificar los detalles. O bien por concurso, donde Stadler junto a otras empresas del sector compiten por conseguir la adjudicación del proyecto. Para estos proyectos se postula directamente una sede de Stadler, el grupo suizo permite que cada planta compita por sus propios concursos. En ocasiones determinadas la propia multinacional reparte proyectos o parte de ellos entre sus sedes, aunque este suceso no es habitual.

Focalizando en la planta valenciana, Stadler Raíl SAU está compitiendo actualmente junto con Alstom, CAF y Talgo por un contrato de Renfe valorado en 2.700 millones de euros. Con este proyecto, Renfe renovará la flota de cercanías de España y de conseguirlo, el proyecto abarcará un total de 211 unidades de trenes con opción a ampliación. [4]

2.4.2. Proveedores y cadena de suministro

El sistema de proveedores funciona de forma similar que el de clientes. Existen proveedores que son comunes a más de una sede sin embargo, lo habitual es que cada sede tenga una bolsa de proveedores que trabaje únicamente para ellos.

La propia empresa enuncia que la extensa cadena de suministro de Stadler cubre un número de proveedores inmenso por todo el mundo. Los proveedores aportan materiales, componentes específicos, IT, equipos de comunicación y servicios; servicios de limpieza, de mantenimiento, transporte, mensajería; equipamiento de oficina; y servicios profesionales como auditorías, asesoría legal, bancos, aseguradoras y agencias de reclutamiento. [2]

El listado de proveedores particular de Stadler Raíl SAU es muy amplio. Cuenta con una elevada cantidad de proveedores nacionales junto con proveedores internacionales de diferentes países como Polonia o Israel.

En este apartado se resumirán las características más relevantes de la **cadena de suministro** de la sede valenciana. El objetivo principal de los diferentes departamentos de compras es reducir el coste del objeto de compra, es habitual que se realicen peticiones de oferta a diferentes proveedores y se escoja al más económico, siempre que cumpla unos plazos de entrega razonables. Los vehículos que se venden suelen tener un precio acordado con anterioridad, es por ello que la política de reducción de costes es para mantener el margen de beneficio. La empresa no se preocupa por reducir el "Lead Time" (Tiempo que transcurre entre que se lanza el pedido y se recibe), con que esté en la fecha acordada es suficiente. El inventario para la compañía es un problema, prefiere alargar plazos de entrega antes que reducirlos con el objetivo de tener la pieza en el almacén el menor tiempo posible.

En resumen, una cadena que valora más la reducción de costes frente a la capacidad de producción y una cadena donde la incertidumbre es muy reducida por sus proyectos de larga duración, se clasifica como una **Cadena Eficiente**. [10]

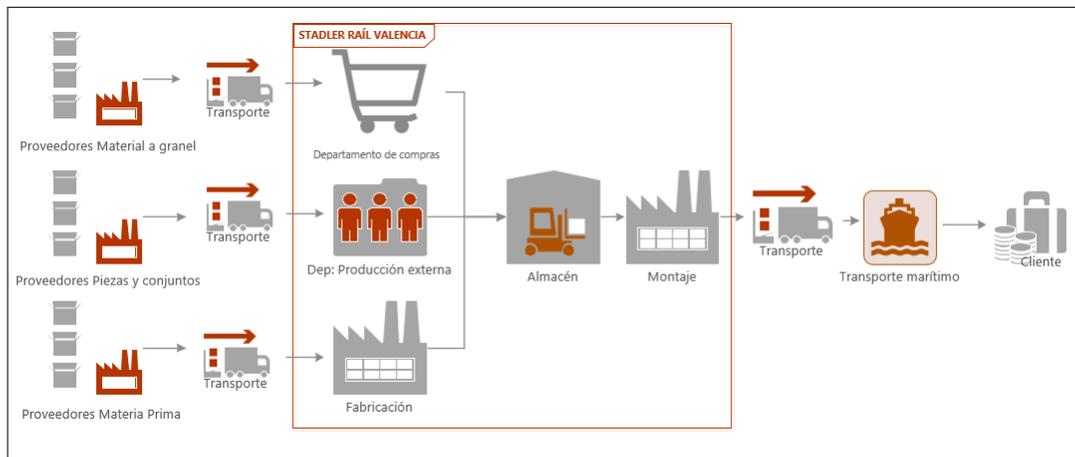


Figura 2.12: Esquema de la cadena de suministro de Stadler Raíl. Fuente: Elaboración propia.

2.4.3. Evolución de ventas

El último dato oficial de la compañía es el resultado de 2018 (Figura 2.13). Tal y como se observa, la venta de bogies aumenta considerablemente en 2017 y 2018. En contraposición la producción de locomotoras ha tenido un parón en 2018 muy destacable. Pasajeros por su parte mantiene una tendencia estable con niveles del año 2016.

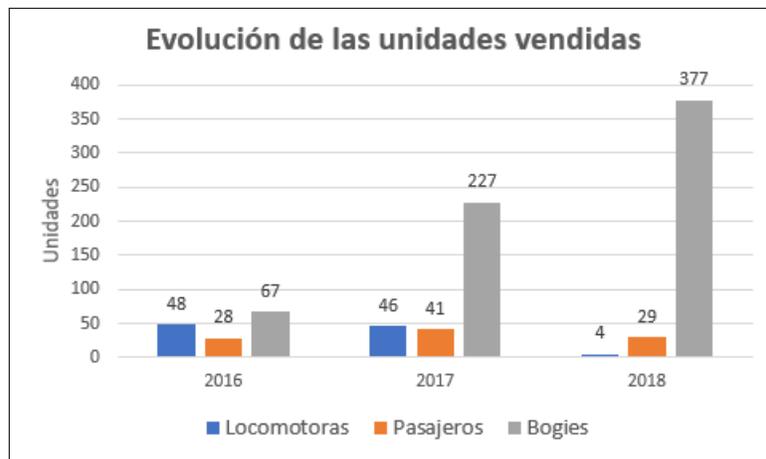


Figura 2.13: Evolución de las unidades vendidas de 2015-2018. Fuente: Elaboración propia.

Para una representación más fiable a la realidad, y debido a que por tipología cada unidad de fabricación no es la misma, se analizarán las unidades vendidas en base a las toneladas fabricadas. Para el análisis se valoran como pesos medios los de la tabla 2.2

Locomotoras	Pasajeros	Bogies
105	64	12,5

Tabla 2.2: Pesos estimados . Fuente: Stadler Raíl.

El resultado es el que se muestra en la Figura 2.14



Figura 2.14: Evolución de las toneladas vendidas de 2015-2018. Fuente: Elaboración propia.

Aunque se observe que en 2018 las ventas cayeron la propia empresa no califica el año como un periodo negativo, de hecho, la facturación aumentó un 2% y su cartera de pedidos ascendió a los 711 millones de euros (un 41% más que en el ejercicio anterior). Además se prevee que el resultado de 2019 mejore considerablemente el de 2018 lo que refuerza la posición de la planta valenciana en el mercado. Ahondando en las previsiones de 2020, y con la carga de trabajo actual, se esperaba que continuase mejorando. Sin embargo debido al parón durante la crisis del coronavirus, este crecimiento se verá mermado como consecuencia del parón de producción.

2.5. La organización interna

La organización de una empresa tiene la finalidad de diseñar una estructura, en la queden totalmente concretadas y delimitadas las tareas, la responsabilidad y la autoridad de todos los empleados de la compañía. También definir los procesos de control que permitan verificar la consecución de los objetivos propuestos.

Como se ha expuesto en el organigrama, la empresa tiene una marcada organización departamental. Agrupa las actividades según las distintas áreas funcionales que existen. Las políticas, procedimientos y reglas están marcadas y son conocidas por toda la empresa como puede ser el "CoC" o Código de Conducta que establece los siguientes principios:[1]

1. **Integridad y legalidad:** Se reconoce y se compromete a cumplir la legislación vigente.
2. **Comportamiento ético:** Valorar al resto de trabajadores como individuos y respetarlos
3. **Sentido de la responsabilidad:** Se es consciente de la responsabilidad de las obligaciones que cada uno tiene.

La organización funciona en base a proyectos. Sus objetivos son el cumplimiento de estos proyectos y sus respectivos plazos. Existe incluso una remuneración en las nóminas de los traba-

jadadores en función del cumplimiento de dichos objetivos a nivel general o departamental (Prima por objetivos).

La comunicación de la empresa tiene dos direcciones: Vertical y Horizontal. La vertical es muy reducida en cuanto a número de individuos implicados, puesto que únicamente se reduce a la comunicación con el superior inmediato y si se tiene, a un grupo reducido de subordinados. En contraposición, la horizontal suele tener más amplitud. Está presente entre el mismo departamento y entre departamentos por ejemplo: un departamento de compras tiene asignado un grupo de personas del departamento de Métodos para comunicarse entre sí. El medio habitual de comunicación es el correo electrónico, aunque también se realizan reuniones periódicas y llamadas telefónicas.

2.6. Contexto del estudio, el objeto y los objetivos

Es el momento de centrar la atención en el objeto de estudio. Tras describir de forma genérica la empresa y el entorno que la rodea, se procede a contextualizar el estudio en cuestión. En la parte oeste de la planta de Valencia se localiza el taller eléctrico. Este taller se ubica junto a su almacén asociado tal y como se muestra en la Figura 2.15:

1. Taller eléctrico.
2. Almacén del taller eléctrico.

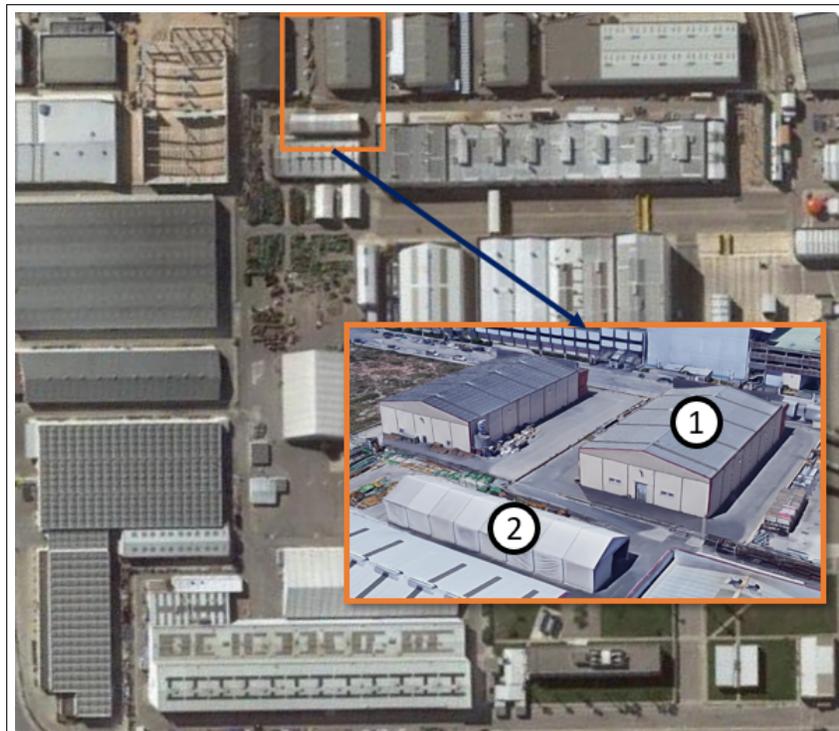


Figura 2.15: Ubicación del taller eléctrico. Fuente: Google Maps.

En este taller se desarrollan diversas actividades del ámbito eléctrico. En primer lugar existe una zona destinada al montaje de grandes conjuntos como pueden ser los armarios eléctricos o los pupitres consola que se instalan en la cabina del conductor. Por otro lado está la zona del montaje de maniqués de cableado donde se organizan y montan los grandes circuitos de cableado correctamente etiquetados. Y finalmente las zonas restantes serían las destinadas para actividades especiales, montajes específicos que no suelen ser repetitivos o almacenamiento intermedio.

El objeto del proyecto se centra en este taller eléctrico, en concreto en su distribución en planta y operativa habitual. Sobre este objeto se van a plantear una serie de retos u objetivos que se pretenden conseguir tras la realización de este trabajo. Estos objetivos serán contrastados al final de esta memoria académica para comprobar si se han conseguido cumplir.

Objetivos

1. **Describir el taller eléctrico:** Para cumplir con este objetivo se pretende realizar un estudio exhaustivo del funcionamiento actual del taller eléctrico. Se analizará la distribución de espacios en la nave junto con cada una de las operaciones que se llevan a cabo. Además para facilitar el estudio, se realizará una simulación que permita comprender mejor el comportamiento del taller. Todo ello se realizará con el fin de tener una idea realista de la realidad del objeto del trabajo.
2. **Diagnosticar problemas:** A partir del estudio del taller, el siguiente objetivo será detectar los principales problemas que se den en la planta. De este objetivo se pretende obtener una lista de puntos a mejorar del funcionamiento o de la distribución del taller. A través de la propia simulación se podrá observar con mayor claridad este tipo de problemas.
3. **Predecir el comportamiento del taller ante posibles escenarios futuros:** Plantear una lista de escenarios probables de demanda y utilizar la simulación para observar cómo se comporta la planta. Analizar alternativas de mejora de los problemas diagnosticados y evaluar su impacto al ponerlas en práctica. Aplicar la teoría de decisión, para clasificar y priorizar las soluciones que sean viables para su posible implantación.
4. **Proponer la implantación de soluciones rentables:** Evaluar la rentabilidad de los cambios propuestos; Todo cambio requiere una evaluación económica previa que justifique la inversión. Se estudiará si realmente es rentable para la empresa emprender algún proyecto que se proponga.

2.7. Conclusiones

Este capítulo parte con el objetivo de contextualizar el proyecto y ofrecer al lector una idea general acerca de Stadler Raíl y su sede en Albuixech. Con ello se pretende dar a conocer la estructura básica de la organización y conocer la realidad de la compañía. Una vez definido el entorno, es más sencillo introducir del objeto del trabajo y enunciar los objetivos del proyecto.

Como se ha podido observar en la introducción de la empresa, Stadler Raíl es uno de los fabricantes de vehículos ferroviarios más importantes. Pertener a este conglomerado empresarial facilita a su sede valenciana la capacidad de competir por proyectos que anteriormente no era capaz. Con un organigrama y una distribución con un marcado carácter funcional, Stadler fabrica un amplio catálogo de productos ferroviarios destinados a un mercado internacional. Las buenas perspectivas de futuro permiten, en el caso de conseguir resultados favorables, tener la posibilidad de poner en práctica las soluciones que deriven de cumplir los objetivos de este proyecto.

En el capítulo siguiente se va a realizar un estudio de la situación actual del taller eléctrico, estudio que, junto con su simulación y análisis posterior, derivará en la consecución del primer objetivo planteado del proyecto.

Capítulo 3

Marco teórico

3.1. Introducción

Tras exponer la descripción del entorno en el que se enmarca el trabajo académico, así como enunciar el objeto y los objetivos de la memoria, el siguiente capítulo estará centrado en presentar la teoría que sustentará el desarrollo del proyecto.

El objetivo de este capítulo es presentar la base teórica a partir de la cuál, se construirán cada uno de los capítulos que forman el trabajo académico hasta alcanzar los objetivos propuestos.

El primer apartado del capítulo consistirá en describir brevemente lo que significa Lean Manufacturing. Tras presentar la filosofía Lean que trasciende todos los capítulos del proyecto, se expondrán las demás herramientas teóricas que se utilizan a lo largo de la memoria.

3.2. Lean Manufacturing

A continuación se presentará la definición de Lean Manufacturing y sus características más importantes.

3.2.1. Filosofía Lean

Según James Womack y Daniel Jones en su libro *Lean Thinking* [12], definen lean manufacturing como un proceso de cinco etapas: En primer lugar se ha de definir el valor del cliente, posteriormente el flujo mediante el cuál se genera valor, seguidamente hacerlo "fluir", desde el cliente final tirar el flujo (pull) y finalmente buscar la excelencia.

El Lean Manufacturing es un modelo de gestión y organización del trabajo centrado en la mejora continua de un sistema de producción, eliminando todo desperdicio posible. [6]

Se le denomina filosofía Lean porque no solo se basa en una serie de herramientas destinadas a mejorar y eliminar los desperdicios de diferentes partes del sistema productivo, sino que se

trata de incorporar una organización cultural, donde cada uno de los integrantes esté orientado a la mejora continua. Esta filosofía se sustenta en 14 principios, y está destinada a eliminar los llamados siete desperdicios que serán explicados a continuación.

3.2.2. Los siete desperdicios

Todo aquello que no aporte valor añadido al producto debe suprimirse y es considerado desperdicio. Esta afirmación es el principio fundamental del pensamiento lean y a partir de esta definición, se pueden definir los siete tipos de desperdicios en la tabla 3.1.

Siete desperdicios del lean manufacturing	
Nombre	Descripción
Sobreproducción	Fabricar con antelación o en exceso a lo que se exige.
Transporte	Movimientos no necesarios externos al puesto de trabajo.
Espera	Cualquier parada de un operario o máquina que no aporta valor.
Inventarios	Exceso de materia prima, "WIP"(Work In Process) o productos acabados almacenados.
Ineficiencias en proceso	Operaciones innecesarias, controles excesivos, diseños inadecuados.
Movimientos innecesarios	Movimientos no necesarios internos al puesto de trabajo como caminar, buscar, identificar, etc.
Productos defectuosos	Productos con retraso, rechazados por no calidad o retrabajados.

Tabla 3.1: Siete desperdicios del lean manufacturing. Fuente: Elaboración propia.

3.3. Value Stream Mapping

3.3.1. Metodología VSM

"Value Stream Mapping" es una metodología que sirve como guía para comprender y analizar la situación actual de un sistema productivo, y plantear seguidamente cómo debería de ser la situación ideal a alcanzar por parte de el sistema en cuestión. Esta herramienta sirve de apoyo para entender el flujo de material e información a través del cuál un producto atraviesa su cadena de valor.

Entre las principales ventajas se puede enunciar que el VSM ayuda a crear una visión general

de todo el sistema de producción, permitiendo localizar tanto el desperdicio como las fuentes de este desperdicio. Una de sus principales bazas es que muestra la relación entre los flujos de información y de material, lo cuál aporta mucha información.

En primer lugar se ha de representar el VSM AS-IS, o mapa del estado actual de la planta. En este mapa se mostrará la cadena de valor actual tal y como existe en la realidad del sistema de producción. Tras analizar el VSM AS-IS y obtener las fuentes de desperdicio, y posibles oportunidades, el siguiente paso será trazar el VSM TO-BE. Este nuevo mapa de cadena de valor representará el sistema de producción al que se aspira llegar, eliminando toda fuente de desperdicio y creando flujo sin interrupciones [9].

3.3.2. Indicadores

A continuación se enunciarán los indicadores utilizados para observar el funcionamiento de la planta.

- **Ratio de Calidad o First Time Through (FTT):** Porcentaje de las unidades entrantes al proceso que lo finalizan cumpliendo con las especificaciones de calidad, sin contar los retrabajos.

$$FTT = \frac{UnidadesEntrantes - (Retrabajos + Scrap)}{UnidadesEntrantes} \quad (3.1)$$

Ecuación 3.1: Expresión del cálculo del FTT. Fuente: Elaboración propia.

- **Eficiencia:** Mide en porcentaje el ritmo de trabajo de la máquina y sus pérdidas de velocidad.

$$Eficiencia = \frac{TiempoCicloIdeal \times UnidadesEntrantes}{TiempoOperativo} \quad (3.2)$$

Ecuación 3.2: Expresión del cálculo de la eficiencia. Fuente: Elaboración propia.

- **Disponibilidad:** Representa el porcentaje de tiempo que la máquina está produciendo respecto del tiempo total que se dispone para fabricar.

$$Disponibilidad = \frac{TiempoOperativo}{TiempoDisponibleNeto} \quad (3.3)$$

Ecuación 3.3: Expresión del cálculo de la disponibilidad. Fuente: Elaboración propia.

- **Eficacia Global de Equipos Productivos o Overall Equipment Effectiveness (OEE):** Capacidad de una máquina para al realizar un proceso, cumplir con el estándar de calidad necesario, sin interrupción alguna y a la frecuencia deseada.

$$OEE = FTT \times Eficiencia \times Disponibilidad \quad (3.4)$$

Ecuación 3.4: Expresión del cálculo del OEE. Fuente: Elaboración propia.

Respecto a los indicadores de tiempo relacionados con el proceso productivo, en la tabla 3.2 se recogen las definiciones de los más importantes.

Indicador	Descripción
Tiempo de ciclo	Tiempo transcurrido desde que sale una pieza correctamente fabricada de un proceso hasta que sale la siguiente. (unidad de tiempo)
Dock to Dock	Tiempo transcurrido desde que un producto entra a la planta en forma de materia prima, hasta que sale de ella como producto acabado hacia el cliente. (unidad de tiempo)
Takt Time	Ritmo de producción que exige el cliente a través de su demanda. (unidad de tiempo / producto)

Tabla 3.2: Indicadores de tiempo utilizados. Fuente: Elaboración propia.

3.4. Técnicas de identificación de la causa raíz y resolución de problemas

A la hora de identificar la causa raíz ante un problema detectado, existen diferentes técnicas que permiten ayudar a encontrar el origen del problema. A continuación se presentarán las dos herramientas que han sido de utilidad en este proyecto, para focalizar el centro de atención sobre la causa raíz de los problemas encontrados.

3.4.1. Diagrama causa-efecto (Ishikawa)

Se trata de una representación gráfica que ayuda a exponer y visualizar las posibles causas que originan un determinado problema. La estructura del diagrama consiste en una vez identificado el problema o también llamado efecto, se explosionan las posibles causas que potencialmente

justifiquen dicho comportamiento. Cada una de las causas principales puede subdividirse en causas secundarias, de manera que se profundiza en la causa final. Este diagrama permite localizar la causa del problema, para posteriormente tratar de solventar el problema una vez conocido su origen.

3.4.2. Cinco por qué

Otra de las herramientas que se utilizan para localizar la causa raíz es el análisis de los cinco por qué. A partir de un efecto o problema, se inicia un proceso iterativo que consiste en dar respuesta al por qué de que suceda ese efecto. Las respuestas se transforman nuevamente en preguntas con un nuevo por qué hasta que se alcance la causa raíz. Es una herramienta muy potente porque rápidamente converge en la causa raíz, llegando a necesitar incluso menos de las cinco preguntas que le dan el nombre a la técnica.

3.5. Estandarización de operaciones

Estandarizar los procesos es esencial para conservar un enfoque disciplinado de la práctica de calidad y fabricación. Uno de los 14 principios fundamentales del Lean establece que las tareas estandarizadas son el fundamento de la mejora continua y de la autonomía del empleado [6].

Los estándares deben ser documentados y comunicados a los trabajadores de forma clara y sencilla. Han de ser documentos vivos en constante revisión y evolución.

3.6. Arquitectura de cuatro capas

Para el desarrollo de un modelo de simulación se seguirá la metodología basada en la arquitectura de cuatro capas. El desarrollo se basa en un sistema de 4 capas, donde las partes comunes forman un subconjunto independiente del resto de capas aunque estén relacionadas entre sí. [8]

- **Network:** En esta capa se incluye la infraestructura del modelo. Se compone de la planta de producción, almacenes, máquinas y los caminos por los que se mueven. El material empleado también forma parte de esta capa
- **Logic:** Formada por la lógica que coordina las operaciones de la planta. Esta capa constituye el flujo de información que coordina las operaciones. Incluye tanto el sistema de programación de la producción, como el sistema que gobierna la manutención y el personal.
- **Database:** Contiene la información que se requiere para que el sistema funcione. La forman la sección parametrizada (velocidad de operaciones, puntos de almacenamiento, etc.) y la sección que representa el comportamiento dinámico del sistema (nivel de stock, producción acumulada, etc.).

- **Visual Reality:** Consiste en la capa que permite relacionar el modelo con los "stakeholders". No es importante desde el punto de vista de la simulación, aunque es clave para que el cliente o usuario de la simulación pueda analizar el comportamiento de la simulación.

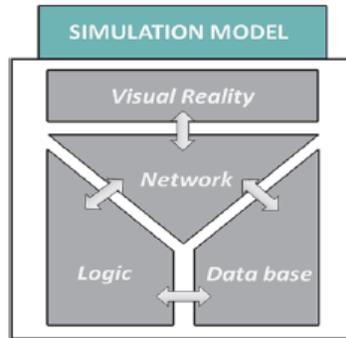


Figura 3.1: Modelo de simulación mediante la arquitectura de cuatro capas. Fuente: Data-driven simulation methodology using DES 4-layer architecture, 2018 [7]

3.7. Conclusión

El capítulo surge ante la necesidad de asentar y explicar las bases teóricas que sustenta el proyecto. En primer lugar se ha explicado el pensamiento lean y algunas de las herramientas que acompañan a esta filosofía de mejora continua. Además se ha mostrado la metodología de arquitectura en cuatro capas para elaborar modelos de simulación, la cuál ha sido utilizada en capítulos posteriores para la construcción de un modelo.

Este capítulo junto con el anterior, describen el entorno tanto teórico como empresarial donde se enmarca el trabajo académico. En los siguientes capítulos se realizará un análisis de problemas, y se buscarán posibles oportunidades de mejora del taller eléctrico de Stadler Raíl.

Capítulo 4

Análisis detallado de la situación actual

4.1. Introducción

Una vez contextualizado el proyecto, y expuesto el marco teórico en el que se basa, es el momento de ahondar en la descripción del objeto del trabajo.

El cuarto capítulo del proyecto constituye el análisis de la situación actual de la planta. Con este análisis se pretende conseguir el primer objetivo del capítulo: Estudiar y reflejar el funcionamiento del taller eléctrico para una mejor comprensión de él. El siguiente objetivo será la detección de los problemas o incidencias que se presentan durante la actividad industrial. Para abordar este capítulo, se empleará la metodología de "Value Stream Mapping", con la que se examinará la cadena de valor de los productos de la empresa desde una perspectiva general.

El propio VSM (Value Stream Mapping) constituye una metodología en sí. Por tanto, la estructura del capítulo está condicionada a esta estrategia de trabajo. En primer lugar se realizará el VSM AS-IS, o Value Stream Map de la situación actual. Se seleccionará la familia de productos a estudiar y los procesos que este producto atraviesa hasta su envío final al cliente. Esta representación constituirá la base para visualizar con perspectiva la planta y localizar los problemas a continuación. El capítulo finalizará con la identificación de las causas raíz y la evaluación del impacto de las incidencias encontradas con esta herramienta.

4.2. Representación actual del taller. Value Stream Mapping AS-IS

4.2.1. Selección de la familia de productos

Dibujar los flujos de todos los productos que se montan en el taller es demasiado complicado. El Value Stream Mapping se realiza dibujando todas las etapas y procesos, de información y material,

para una única familia de productos. En la tabla 4.1, se recogen los conjuntos que se han montado en el taller eléctrico durante el 2019 en función del tipo de vehículo.

Productos	Locomotoras	Pasajeros	Especiales	Unidades totales
Armarios BT	46	0	41	87
Armarios AC	46	0	41	87
Pupitres y consola	92	0	82	174
Cajas eléctricas	0	0	41	87
Cajas intercomunicación	0	0	41	41
Armario pasajeros 114	0	0	41	41
Armario pasajeros 115	0	0	41	41
Arañas	0	5	0	5
Armario eléctrico PAG	0	5	0	5
Canal de cableado	0	5	0	5

Tabla 4.1: Productos fabricados en 2018. Fuente: Elaboración propia.

La familia de productos elegida ha de ser representativa. Ha de abarcar el mayor número de procesos que se llevan a cabo en la planta. También debe de ser un producto o conjunto de productos con proyección de continuidad y que se esté fabricando actualmente, por lo que se ha de descartar todo aquel cuya fabricación sea excepcional y esporádica. Y finalmente, contar con un volumen de demanda respecto al total del taller elevado.

Con el objetivo de seleccionar los productos que cumplan todas las características anteriormente expuestas, se realiza un análisis producto-cantidad. En la figura 4.1

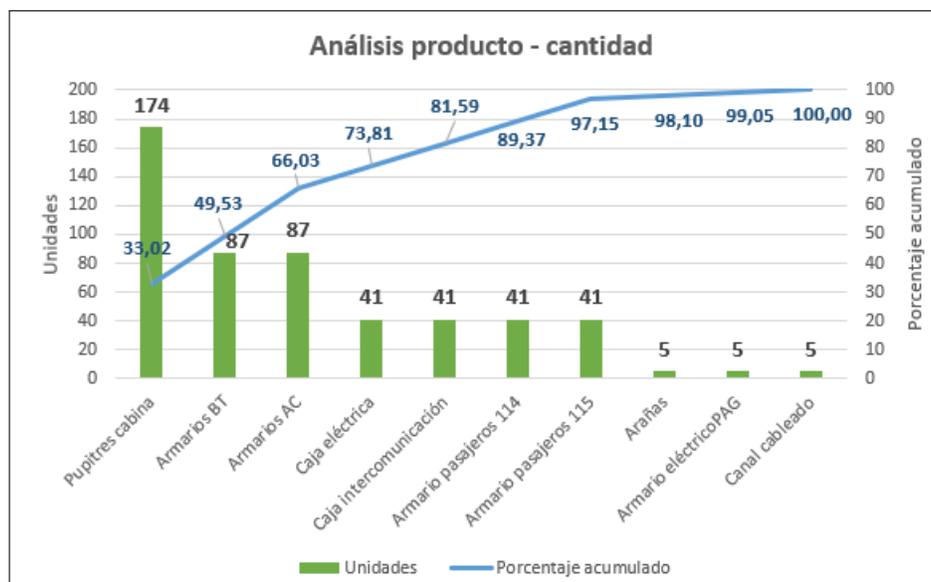


Figura 4.1: Análisis Producto-Cantidad del taller eléctrico. Fuente: Elaboración propia.

Del análisis de la Fugra 4.1 se extrae que los puptres cabina son el producto más importante individualmente del taller. Sin embargo no representa una muestra muy representativa del total de productos. Es por ello que es necesario acotar el campo de búsqueda. Para reducirlo se van a agrupar los productos en familias, con los requisitos que esto conlleva.

Todos los armarios que se montan en el taller tienen una base común:

- **Estructura soldada:** Constituye el esqueleto del armario, donde se montan el resto de componentes. Esta estructura no se fabrica en el taller, sino es suministrada a través de proveedores.
- **Paneles:** Grandes paneles con diferentes funcionalidades. Cada uno se monta en un orden específico y de nuevo la estructura del panel es fabricada por proveedores. Los paneles más comunes son los de relés, disyuntores o contactores.
- **Soportería:** Multitud de pletinas, soportes y demás piezas de chapa destinadas a sujetar el equipamiento eléctrico que se monte en los armarios.

Sus diferencias radican en la diferente geometría de cada uno, junto con el equipamiento específico que montan. Cada armario está destinado a una función determinada, no existen dos armarios en una locomotora o tren de pasajeros iguales. Sin embargo, los paneles de montaje, los soportes, y los demás equipamientos guardan similitudes en la forma de montaje y estandarización de componentes. Por todo ello se englobarán en una familia denominada "armarios eléctricos". En la figura 4.2 se observan los armarios 114 y BT a modo de ejemplo.

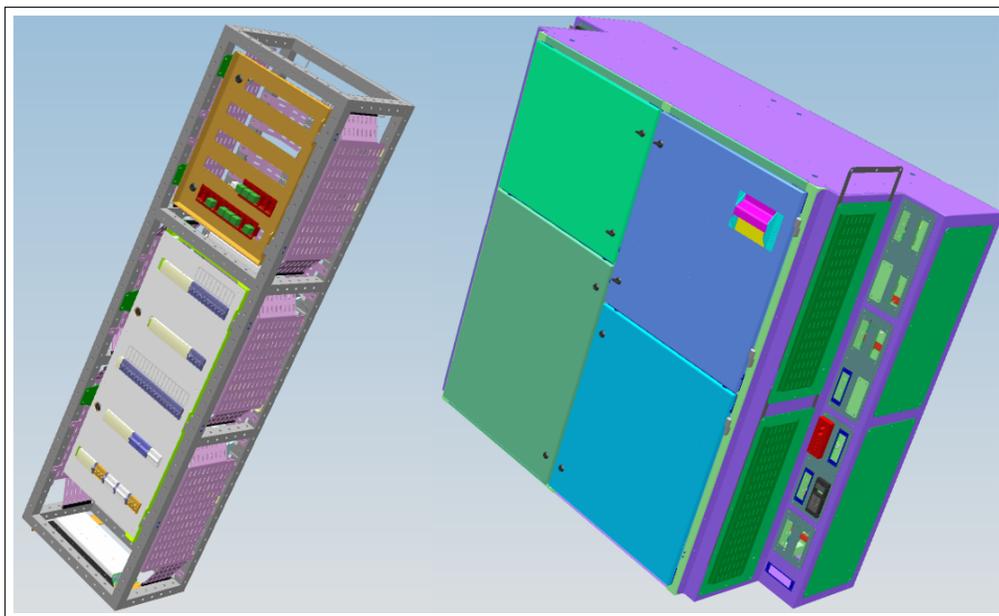


Figura 4.2: Ejemplo de armario 114 (Izquierda) y armario BT (Derecha). Fuente: Stadler Raíl

Repitiendo el análisis producto-cantidad, se recogen los resultados obtenidos en la figura 4.3. En ella se observa esta vez una marcada dominancia por parte de los armarios eléctricos junto con los puptres cabina. Entre ambas familias se abarca más del 80 % de los montajes del taller

eléctrico, por lo que el objeto de análisis en cuanto a conjuntos serán estas dos familias.

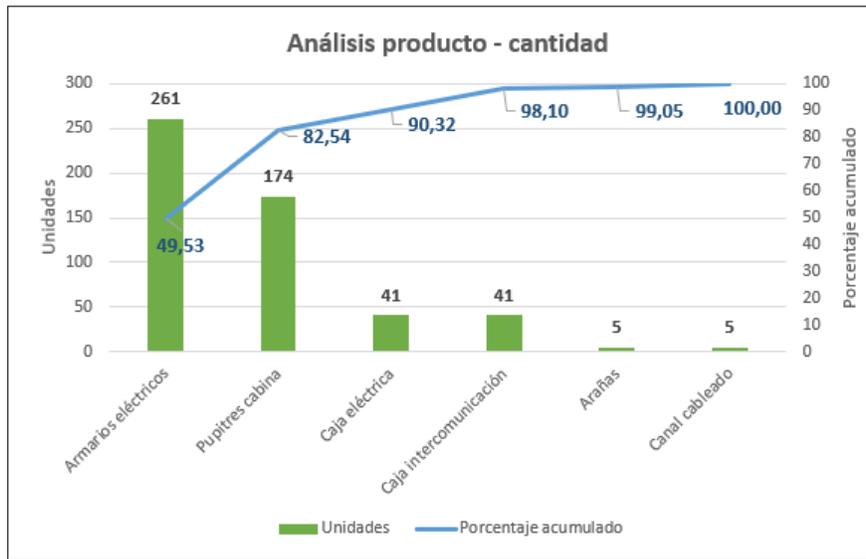


Figura 4.3: Análisis reducido Producto-Cantidad del taller eléctrico. Fuente: Elaboración propia.

Del mismo modo que se han presentado los armarios eléctricos, se presentarán los pupitres cabina que también serán objeto de estudio. En la figura 4.4 se puede visualizar el montaje mencionado. Estos pupitres se instalan en las cabinas de las locomotoras y trenes de pasajeros, y desde ellos, el maquinista del tren controla el vehículo. Están formados por ensamblajes eléctricos, neumáticos y electrónicos, y todos ellos son montados en el taller eléctrico a partir de la estructura inicial.

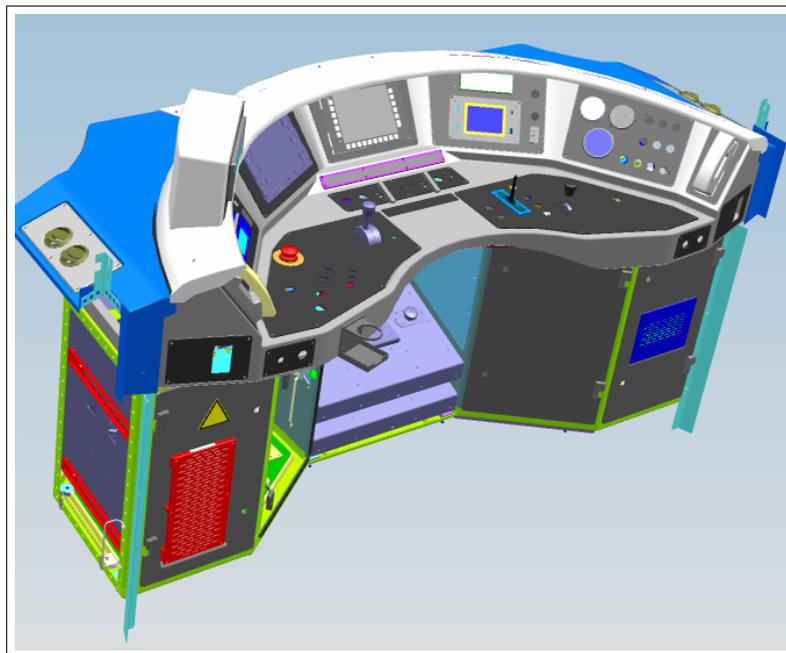


Figura 4.4: Pupitres cabina equipados. Fuente: Stadler Raíl.

4.2.2. Trazado del VSM AS-IS

Armarios eléctricos

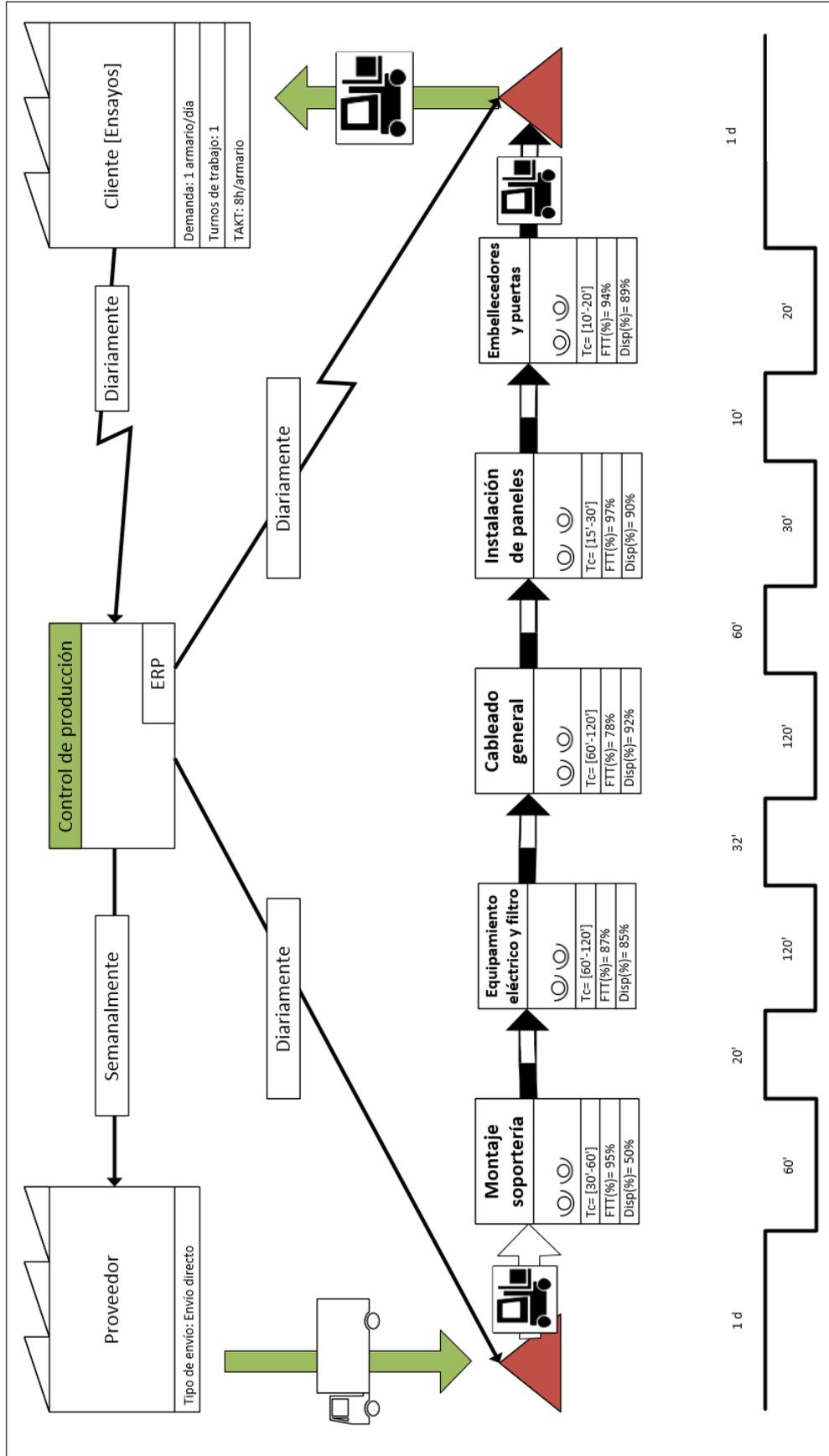


Figura 4.5: VSM AS-IS del montaje de armarios eléctricos. Fuente: Elaboración propia.

Armarios eléctricos

Una vez seleccionadas las familias de producto que se van a estudiar, es el momento de dibujar los VSM AS-IS de cada una. En la figura 4.5 se representa el mapa actual de los armarios eléctricos. A continuación se listarán las etapas principales a través de las cuales se completa el montaje de dichos armarios.

1. **Envío del proveedor:** El pedido se realiza a través del departamento de producción externa. Este pedido engloba la estructura ya soldada y montada al completo, junto con una serie de soportes. Alguno de estos soportes puede ir ya soldado y montado en la estructura con el fin de reducir las operaciones en el taller eléctrico. Esta es una consigna del departamento de métodos, la cuál se podría enunciar como: "El objetivo es que el proveedor traiga a taller el armario con el mayor número de montajes posibles". Estos pedidos se realizan por proyecto y las fechas se eligen según la planificación maestra de la producción (PMP). Una vez en Stadler, se recepciona el pedido en el almacén propio del taller eléctrico y se ubica en una posición determinada a suelo hasta que se solicite su traslado para iniciar su montaje.
2. **Soportería:** El montaje comienza cuando la estructura del armario llega desde almacén hasta el taller. Una vez ahí, se instalan la soportería destinada a la sujeción del equipamiento eléctrico. Se instalan las guías de cable, los soportes de los aparatos que se instalarán, el filtro del armario etc.
3. **Equipamiento eléctrico:** En esta parte del montaje se instalan los aparatos individuales. Forman el conjunto de equipamiento eléctrico el montaje de inversores, conjuntos diplexes y demás aparata eléctrica.
4. **Instalación del cableado general:** Después del equipamiento, se montan los paquetes de cables que con anterioridad han sido preparados. Los llamados maniqués están formados por circuitos de cables con sus respectivos conectores y etiquetas correspondientes para señalar su destino.
5. **Montaje paneles eléctricos:** Llegado a este punto, el armario está casi al completo. Es el momento de montar los grandes paneles que se preparan fuera del armario. Los paneles de relés, contactores o distyuntores son instalados en sus grandes placas metálicas y se montan en el armario, ocupando gran parte del volumen interior.
6. **Montaje de puertas y elementos de protección:** Para finalizar, se colocan las puertas, embellecedores y demás elementos de protección con los que se termina el montaje del armario. Nuevamente es transportado al almacén exterior.
7. **Envío a cliente:** Cuando el montaje finaliza, queda a la espera de que el cliente del taller solicite el envío. El cliente no es externo sino es el departamento de ensayos, donde se probará el armario para seguidamente ensamblarlo en su ubicación final en locomotora o tren de pasajeros. El transporte se realiza a través de una carretilla motorizada.

Pupitres

En la figura 4.6 se representa el mapa actual de los pupitres de cabina. La recepción y el envío de los pedidos es común a los armarios eléctricos. Se recibe del proveedor la estructura de los pupitres, junto con los paneles, placas y soportería, y se localizan en el almacén del taller eléctrico. Cabe decir que el proveedor puede ser el mismo o diferente, según el proyecto y el pedido. En el extremo opuesto, cuando los pupitres están finalizados se envían de nuevo para su revisión en el departamento de ensayos y para su instalación final en el vehículo en la nave de acabados.

1. **Instalación sistema de climatización:** Partiendo de la estructura del pupitre junto con los soportes que ya vienen montados por el proveedor, se instala el conjunto climatización. Formado por un sistema de conductos y rejillas con su sistema de fijación a la estructura.
2. **Cableado del pupitre:** Antes de que el acceso sea muy complicado, se realiza la instalación del cableado. Este cableado también viene preparado previamente en los llamado maniqués para que la instalación sea lo más sencilla y no induzca a errores.
3. **Instalación del circuito neumático:** Posteriormente se realiza el montaje de la instalación neumática. Este conjunto está compuesto por los codos, guías, tubos y sus respectivos soportes.
4. **Paneles eléctricos:** A continuación se instalan los paneles eléctricos de mayor tamaño. Los paneles de relés, de regletas y de conectores que constituyen este montaje, son colocados a la altura de las puertas del pupitre para su cómodo acceso.
5. **Montaje de puertas y chapas:** Cuando finaliza el montaje del interior del pupitre, se colocan las puertas y demás elementos de recubrimiento. También se colocan las rejillas de climatización localizadas en las puertas.
6. **Montaje de la estructura consola:** A continuación se montará sobre los pupitres inferiores la estructura de la consola que constituirá el panel de control para el conductor del vehículo. Esta estructura proviene a su vez de un proveedor y permanece en el almacén hasta que se solicite su transporte para el montaje.
7. **Instalación del equipamiento consola:** Tras instalar la estructura, se procede a su equipamiento. Este equipamiento consiste en montar uno a uno los módulos que forman la consola. En primer lugar se cablea la estructura y se preparan los módulos. Cada módulo puede estar formado por una consola (similar a una tablet), por una serie de botoneras o controles manuales, o simplemente por una placa de chapa cubierta con una etiqueta para el teléfono de la cabina.
8. **Adición del equipamiento para montaje en cabina:** Para finalizar la preparación de este ensamblaje queda añadir los soportes que se utilizarán para su unión con la cabina del vehículo. Además se añaden las piezas de poliéster que forman el salpicadero de los pupitres. Con todo ello, los pupitres son enviados al almacén desde donde se transportarán a su ensayo y montaje final.

4.2.3. Detección de problemas

La creación del VSM AS-IS no es un fin en sí mismo. Una vez generado, se utilizará para conseguir el objetivo de esta metodología: Facilitar una visión general de la planta que permita detectar problemas y nichos de mejora. Por ello una vez se han levantado los mapas, se procede a identificar los problemas e incidencias que se encuentren para posteriormente analizarlos. En primer lugar se muestran con etiquetas las incidencias detectadas en las figuras 4.7 y 4.8.

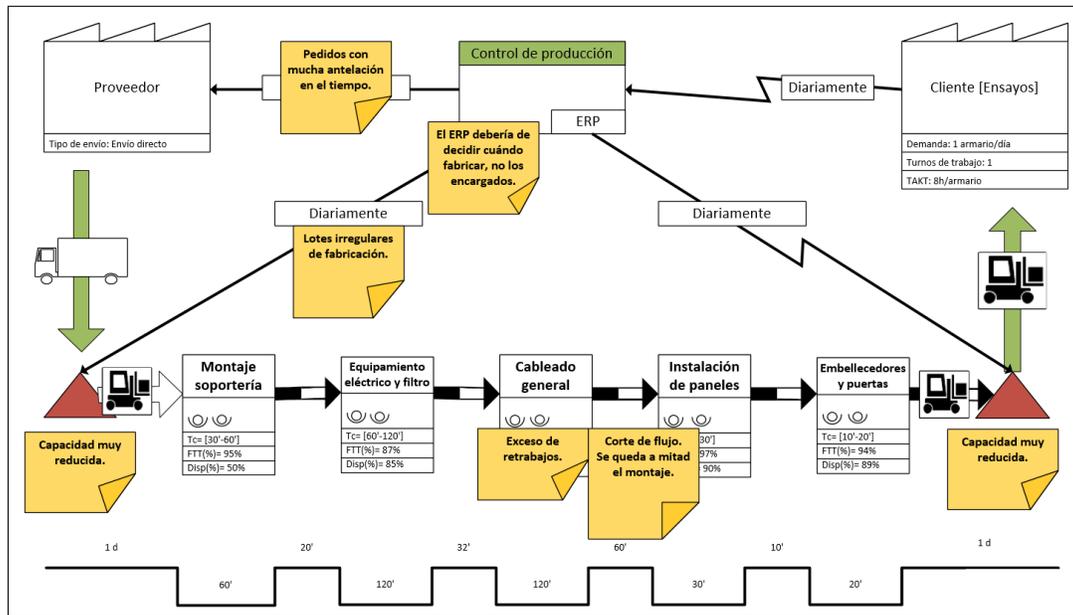


Figura 4.7: Incidencias detectadas en el VSM AS-IS de los armarios eléctricos. Fuente: Elaboración propia.

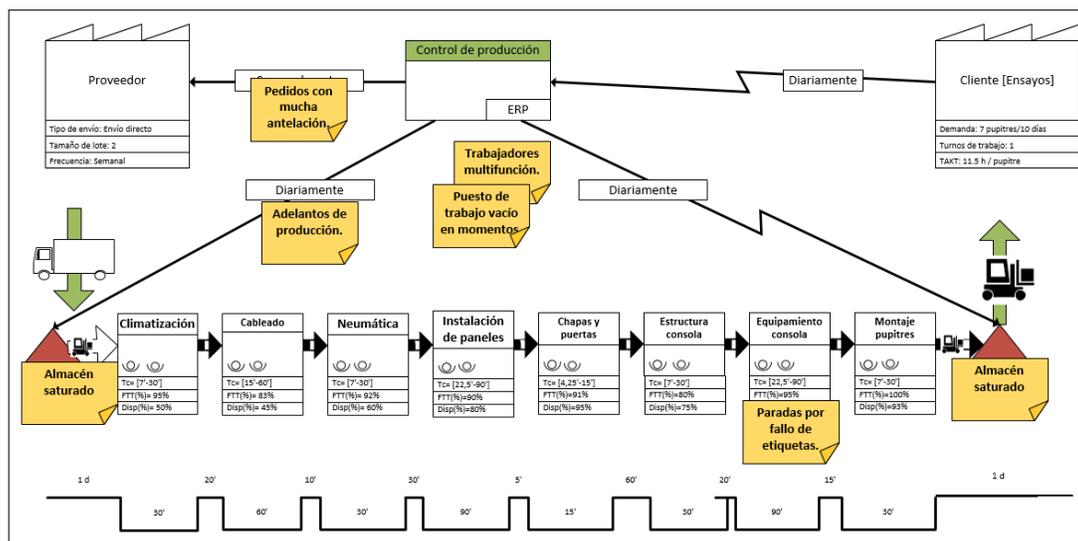


Figura 4.8: Incidencias detectadas en el VSM AS-IS de los pupitres cabina. Fuente: Elaboración propia.

El primero de los problemas detectados procede del control de producción. Todo Stadler y en particular el taller eléctrico están en contacto directo con el sistema ERP, este asigna el momento en el que debería de estar listo un material para su etapa siguiente y los tiempos y operaciones que se han de seguir. El problema es que la orden de producción es modificada por el jefe de taller, observa las fechas de entrega y prioriza los productos a fabricar. Otro detalle a destacar es la multifunción de los trabajadores. No hay ningún trabajador dedicado exclusivamente realizar una operación específica, todos ellos van rotando en el taller centrando su actividad donde sea necesario. Tanto el almacén interno del taller, como el externo están saturados, su capacidad está prácticamente al máximo de manera continuada. Los pedidos a proveedor se realizan con mucha antelación y es usual que se alargue la entrega para evitar su almacenaje. En determinados montajes, hay paradas prolongadas que retrasan significativamente la finalización del ensamblaje. Los lotes fabricados no son fijos, es común observar que no existe un tamaño de lote constante, varía según decide la dirección del taller.

4.3. Análisis y evaluación de impacto de los problemas detectados

A continuación se han de describir y analizar los problemas que se han detectado. Con ello se persigue clarificar estas incidencias, conocer cómo evaluar su impacto y tras ello encontrar su causa raíz. La tabla 4.2 constituye la plantilla que se seguirá para registrar los problemas encontrados. Para encontrar la causa raíz se utilizará el método de los cinco por qué y el diagrama Ishikawa.

Informe de problema/incidencia observado	Nº:
Título	
Descripción	
Zona de trabajo afectada	
Impacto	
Cómo cuantificar o medir este problema	
Posibles soluciones o acciones de mejora	
Prioridad de actuación	

Tabla 4.2: Ejemplo de plantilla de registro de incidencia. Fuente: Elaboración propia.

4.3.1. Problema 1. Control manual de producción

- Registro de incidencia

Informe de problema/incidencia observado		Nº: 1
Título		
Control manual de producción		
Descripción		
Cuando debería de ser dirigida a través del ERP, la producción en el taller es modificada y adaptada por parte del jefe de taller según diferentes criterios.		
Zona de trabajo afectada	Todo el taller eléctrico	
Impacto		
Se corta el flujo del sistema de información, las decisiones pasan de ser responsabilidad de SAP, a ser responsabilidad de la planta. Se pueden estimar erróneamente los plazos.		
Cómo cuantificar o medir este problema		
Auditoría donde se controle las desviaciones en plazo y costes debido a modificar la orden del ERP.		
Posibles soluciones o acciones de mejora		
Estandarizar para que jefe de taller no tenga que reorganizar la fabricación.		
Prioridad de actuación (Urgente/Alta/Media/Baja)	Media	

Tabla 4.3: Registro de incidencia número 1. Fuente: Elaboración propia.

- Causa raíz

El número de factores condicionantes es reducido, por tanto se decide realizar el análisis de los cinco por qué directamente partiendo de la dirección del taller en la figura 4.9.

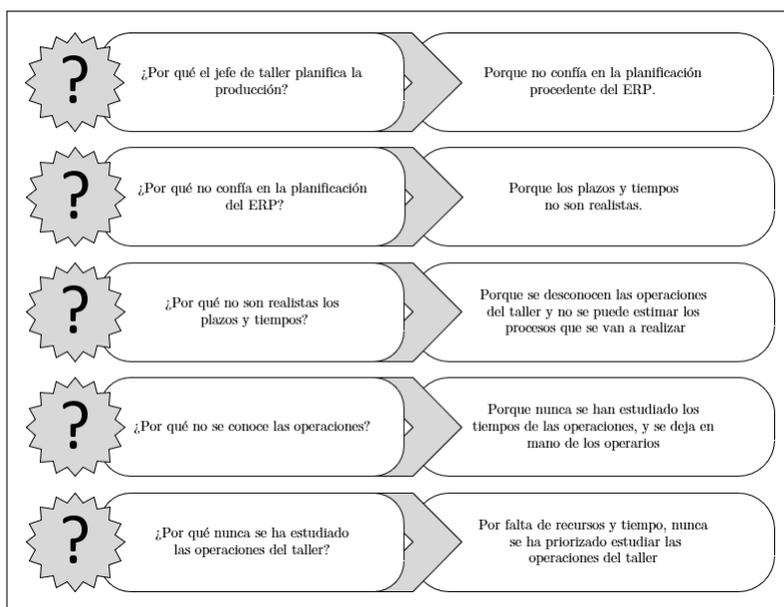


Figura 4.9: Diagrama cinco por qué del problema 1. Fuente: Elaboración propia.

■ **Conclusión**

Ante la ausencia de conocimiento sobre los procesos que se llevan a cabo en el taller eléctrico por parte del sistema de información, este es incapaz de crear órdenes de producción adecuadas a las necesidades de fabricación que existen en la planta. Es por ello que el jefe de taller se ve abocado a planificar la producción interna, una vez conoce las fechas de entrega de los conjuntos a montar. Si se desea actuar sobre este problema, se deberá ahondar en el estudio de las operaciones del taller para alimentar el ERP.

4.3.2. Problema 2. Almacén sobresaturado

■ **Registro de incidencia**

Informe de problema/incidencia observado		Nº: 2
Título		
Almacén sobresaturado		
Descripción		
El almacén externo del taller eléctrico se encuentra la mayor parte del tiempo a un nivel de ocupación muy elevado. Incluso se utiliza parte de la planta para aliviar este almacén.		
Zona de trabajo afectada	Almacén externo y parte del taller	
Impacto		
No puede absorber las fluctuaciones de las recepciones de material de los proveedores. Además llega a generar un almacén intermedio en las propias empresas proveedoras.		
Cómo cuantificar o medir este problema		
Evolución del nivel de inventario (%).		
Posibles soluciones o acciones de mejora		
5S, estudiar una redistribución de almacén, evaluar modificar el sistema de gestión, plantear una posible ampliación.		
Prioridad de actuación (Urgente/Alta/Media/Baja)	Alta	

Tabla 4.4: Registro de incidencia número 2. Fuente: Elaboración propia.

■ **Causa raíz**

En este caso, la causa no es tan clara como podría ser en el anterior problema. Es por ello que antes de utilizar la herramienta de los cinco por qué, se realiza un análisis causa-efecto o diagrama Ishikawa en la figura 4.10. Con este análisis se pretende localizar la causa principal del problema a partir de una explosión de ideas.

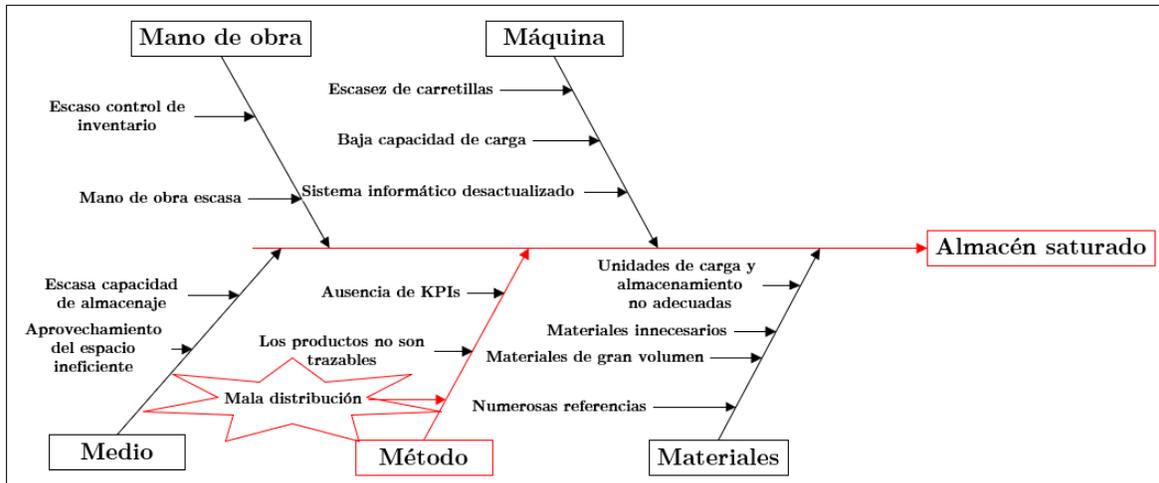


Figura 4.10: Diagrama Ishikawa del problema 2. Fuente: Elaboración propia.

Tomando como referencia la causa seleccionada del diagrama de Ishikawa, se profundiza el análisis con el diagrama de los cinco por qué en la figura 4.11.

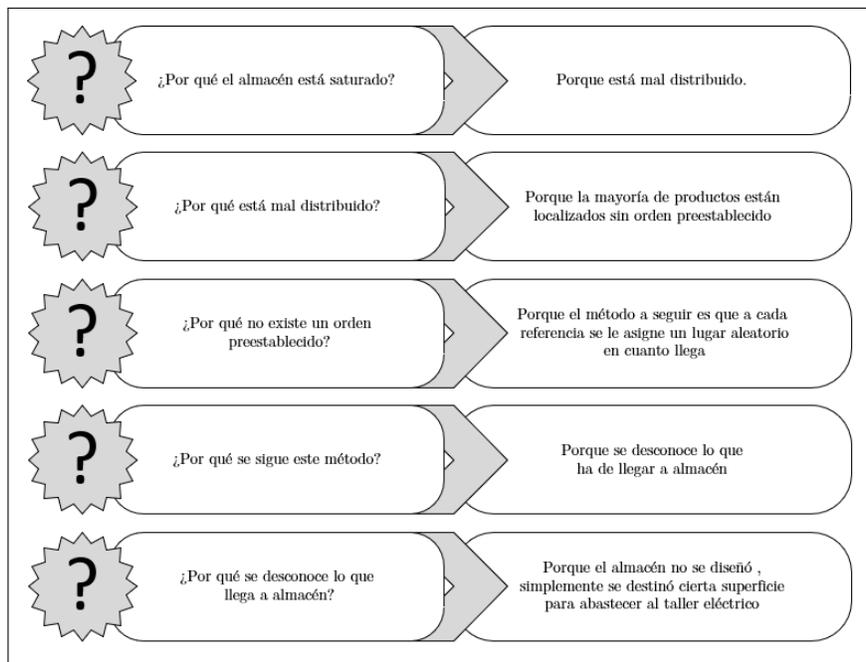


Figura 4.11: Diagrama cinco por qué del problema 2. Fuente: Elaboración propia.

■ Conclusión

Englobando todo lo anterior, cabe decir que la saturación de inventarios conlleva un gran impacto negativo tanto en el taller, como en los propios proveedores. Este problema inicialmente podría llevar a pensar que es necesaria una ampliación inmediata de almacén. Sin embargo, analizando las posibles causas se ha descubierto que la verdadera razón de esta saturación radica en la falta de planificación inicial y la disposición de espacios adecuada. En

ningún momento se ha diseñado este almacén con el fin de abastecer al taller eléctrico. Únicamente se dispuso de una superficie determinada con un número concreto de estanterías y metros cuadrado de suelo para satisfacer esta necesidad.

4.3.3. Problema 3. Pedidos con excesiva antelación

- Registro de incidencia

Informe de problema/incidencia observado	Nº: 3
Título	
Pedidos con excesiva antelación	
Descripción	
El departamento de compras, con la intención de evitar el desabastecimiento, realiza los pedidos con mucha antelación. Este tiempo extra que se intenta ganar con este pedido no es más que desperdicio. Solo acarreará sobrecostes en almacén o en sobreproducción.	
Zona de trabajo afectada	Almacén externo y taller
Impacto	
Esto provoca que generen problemas de stock, que la entrega de proveedor y el inicio de la producción se adelanten innecesariamente.	
Cómo cuantificar o medir este problema	
Un indicador muy efectivo sería el número de días desde que se realiza el pedido hasta que el montaje eléctrico se instala en el vehículo.	
Posibles soluciones o acciones de mejora	
Conocer la demanda y cómo responderá a ella el taller eléctrico. Si realmente se sabe cuánto tiempo necesita el taller eléctrico en la fabricación, junto con la seguridad de que el proveedor cumpla los plazos, esta antelación será innecesaria.	
Prioridad de actuación (Urgente/Alta/Media/Baja)	Alta

Tabla 4.5: Registro de incidencia número 3. Fuente: Elaboración propia.

- Causa raíz

Realizar un análisis de causa-efecto en este caso es innecesario, puesto que los posibles factores que causen este problema son de sobra conocidos. Desde el propio departamento de compras se marca la pauta de realizar este tipo de pedidos con gran antelación. Sin embargo, el análisis de los cinco por qué sí puede ayudar a clarificar la causa raíz de esta operativa. Este análisis se muestra en la figura 4.12

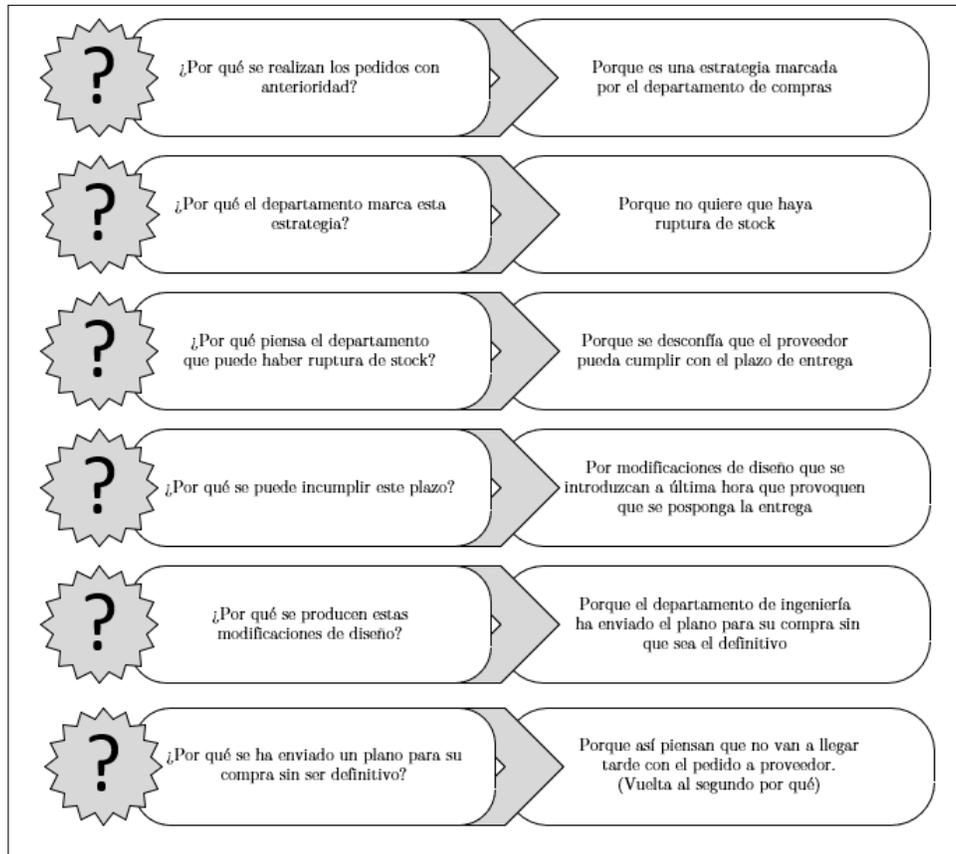


Figura 4.12: Diagrama cinco por qué del problema 3. Fuente: Elaboración propia.

■ Conclusión

Del análisis de los cinco por qué, se extrae una causa que aparece hasta en dos ocasiones en el propio diagrama. Un pedido se realiza con antelación por dos motivos: El departamento de compras no quiere ajustar plazos ante la posibilidad de que hayan modificaciones de ingeniería en los pedidos que se mandan al proveedor, por tanto dan un margen amplio. Por otro lado, el propio departamento de ingeniería lanza los planos para que sean pedidos con antelación a proveedor. Esto se debe a que no quieren ser los responsables de que el pedido no se haya lanzado con la suficiente antelación. Estas dos fuentes generan un mismo efecto más intensificado, que no es otro que adelantar, más si cabe, el proceso de compra de materiales. De este análisis se extrae por tanto una idea clara; Ni el departamento de compras, ni el de ingeniería tienen la confianza de que tanto el proveedor, como el propio taller, sean capaz de realizar su tarea en los plazos estipulados. Esta conclusión está muy relacionada con la del primer problema y representa la auténtica causa raíz. El estudio y la demostración empírica de que los plazos en la operativa del taller eléctrico se pueden estandarizar y cumplir, permitirá empezar a reducir estos adelantos de pedido.

4.3.4. Problema 4. Tamaño de lotes incontrolado

- Registro de incidencia

Informe de problema/incidencia observado	Nº: 4
Título	
Tamaño de lotes incontrolado	
Descripción	
La producción no está estandarizada. El tamaño de lote de producción varía según el momento en el que se encuentre.	
Zona de trabajo afectada	Taller eléctrico y almacén general
Impacto	
Esta fabricación genera inventario en exceso durante un periodo determinado. En lugar de organizar la producción para que los picos sean aplanados, se opta por generar stock incontrolado.	
Cómo cuantificar o medir este problema	
Auditoría de inventario y sobreproducción.	
Posibles soluciones o acciones de mejora	
Estandarización de lotes en función de la demanda.	
Prioridad de actuación (Urgente/Alta/Media/Baja)	Media

Tabla 4.6: Registro de incidencia número 4. Fuente: Elaboración propia.

- Causa raíz

Para identificar la causa raíz se realiza en primer lugar un diagrama Ishikawa de causa-efecto en la figura 4.13. Y posteriormente se concluye con el análisis de los cinco por qué en la figura 4.14.

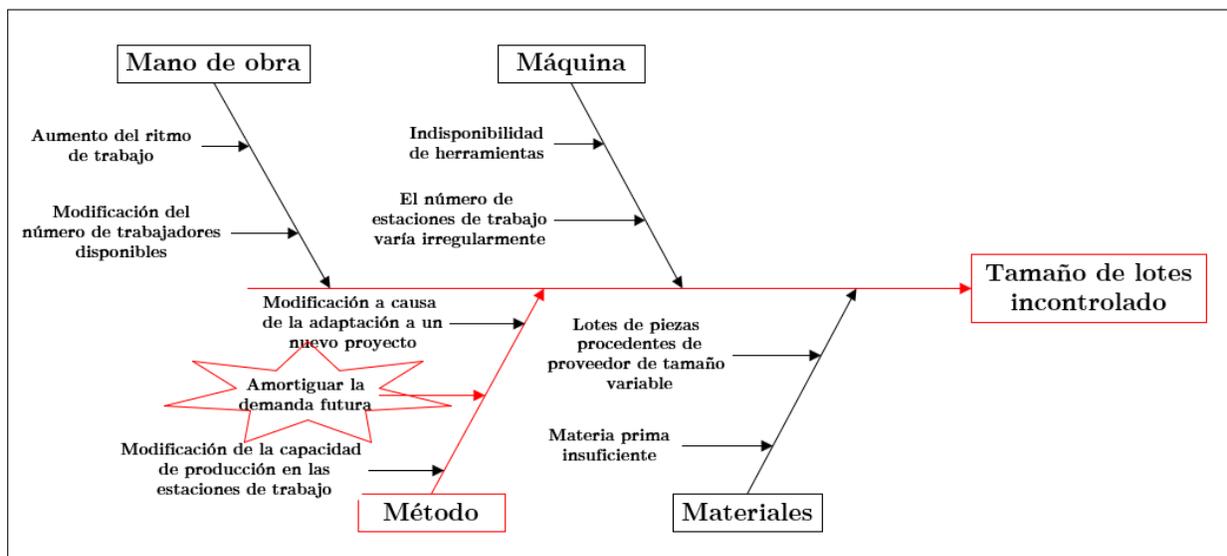


Figura 4.13: Diagrama Ishikawa del problema 4. Fuente: Elaboración propia.

En periodos de menor actividad, ante un futuro aumento del trabajo, se aumentan los lotes

de los conjuntos a fabricar para almacenarlos a futuro. Con ello el taller consigue amortiguar la demanda.

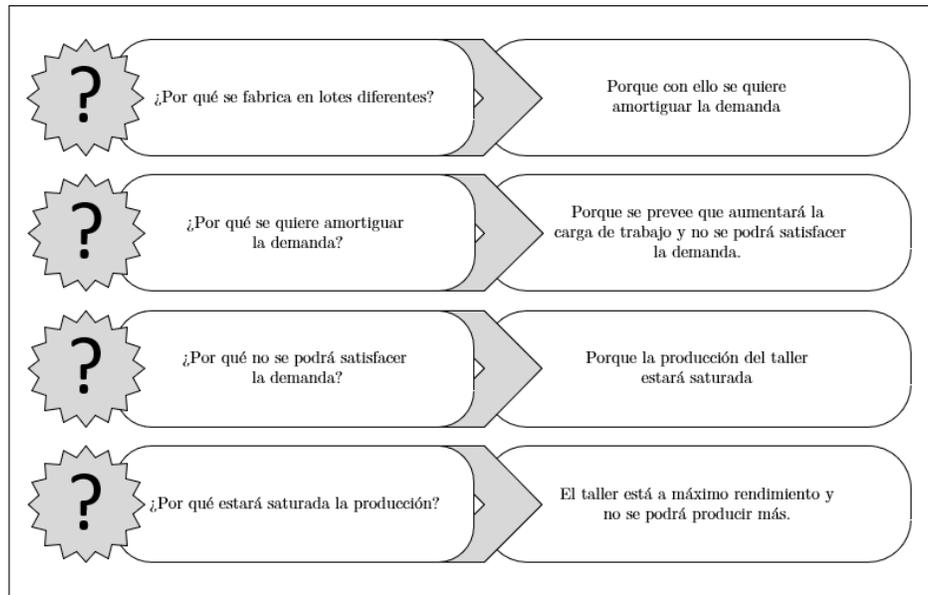


Figura 4.14: Diagrama cinco por qué del problema 4. Fuente: Elaboración propia.

■ Conclusión

El problema surge debido a que en ocasiones se ha observado, que los conjuntos como por ejemplo los pupitres de cabina se fabrican en lotes de cuatro y en otras, en lotes de dos. Se ha encontrado la razón de esta variabilidad tanto en la variación de los lotes de pupitres como del resto de conjuntos. El motivo es que cuando se prevé que la demanda aumentará en un futuro próximo, el taller aumenta su producción y cambia el método de flujo continuo a producción en lotes. Esta decisión se toma para evitar retrasos y generar stock para estos periodos donde la producción se saturará y se necesitará este extra.

4.3.5. Problema 5. Interrupciones de producción

- Registro de incidencia

Informe de problema/incidencia observado	Nº: 5
Título	
Paradas de producción prolongadas	
Descripción	
En determinados momentos, el montaje de un conjunto es interrumpido y esta parada de producción se prolonga mucho en el tiempo.	
Zona de trabajo afectada	Taller eléctrico
Impacto	
Estas paradas provocan que la producción del montaje interrumpido se prolongue incluso semanas.	
Cómo cuantificar o medir este problema	
Controlar la fecha de entrada y la de salida de cada conjunto al taller eléctrico se puede conocer si el montaje se ha parado.	
Posibles soluciones o acciones de mejora	
Estandarizar un plan de producción , controles de calidad de los materiales recepcionados en almacén, SMED	
Prioridad de actuación (Urgente/Alta/Media/Baja)	Alta

Tabla 4.7: Registro de incidencia número 5. Fuente: Elaboración propia.

- Causa raíz

En un principio se puede atribuir este problema a muchas causas posibles. Realmente ninguna de las posibilidades sería errónea puesto que en mayor o menor medida, todas ellas producen interrupciones de diferente magnitud. Sin embargo, para reducir el campo de actuación, es necesario focalizar en la causa que genere más problemas o que tenga un impacto mayor en las paradas. Para ello se realiza un diagrama Ishikawa (Figura 4.15), y posteriormente, con los cinco por qué (Figura 4.16) se profundizará en la causa raíz.

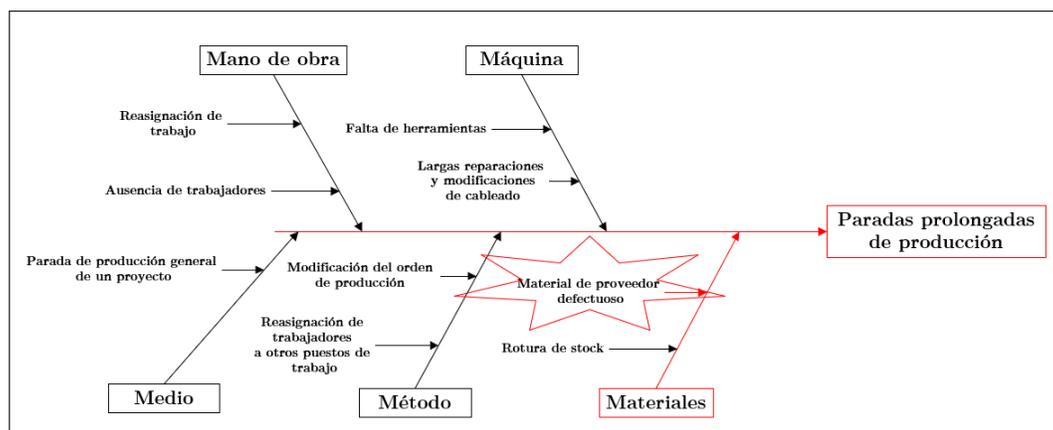


Figura 4.15: Diagrama Ishikawa del problema 5. Fuente: Elaboración propia.

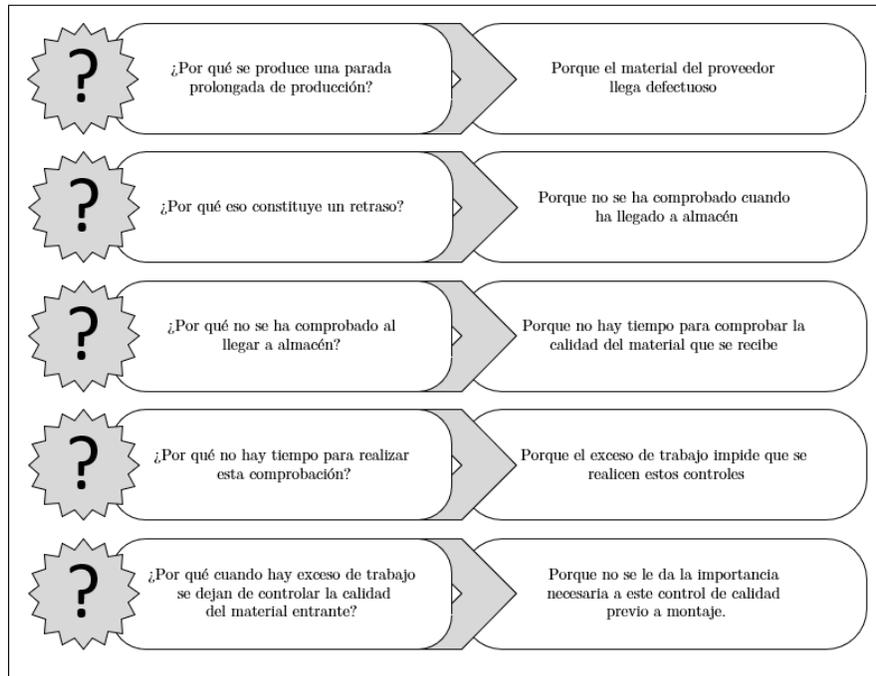


Figura 4.16: Diagrama cinco por qué del problema 5. Fuente: Elaboración propia.

■ **Conclusión**

El problema es conocido por los trabajadores, no es un problema difícil de visualizar. Lo realmente importante para poder abordar, y reducir o eliminar este problema, es demostrar a la propia empresa el impacto negativo que esta interrupción de hasta semanas de duración genera. Un ejemplo de este problema sería en el caso de los armarios eléctricos. Durante su proceso de montaje, cuando un soporte de la parte interna no encaja, o bien no es capaz de sujetar el equipo eléctrico que ha de sustentar, se crea un "INC" o informe de no calidad. El proveedor una vez recibe el informe, tiene que recoger el lote defectuoso y re TRABAJARLO o fabricarlo de nuevo. De este modo el periodo que transcurre desde que se detecta el fallo hasta que se recibe la pieza es muy amplio.

4.3.6. Problema 6. Los trabajadores no tienen un puesto de trabajo fijo

- Registro de incidencia

Informe de problema/incidencia observado	Nº: 6
Título	
Los trabajadores no tienen un puesto de trabajo fijo	
Descripción	
Las funciones que realizan los trabajadores del taller son variables. Según el periodo y las necesidades de la planta, los trabajadores son asignados a diferentes tareas.	
Zona de trabajo afectada	Taller eléctrico
Impacto	
Existen montajes que se interrumpen, o que carecen de mano de obra en ciertos momentos para su ensamblaje. Dificulta la estandarización de las operaciones de la planta.	
Cómo cuantificar o medir este problema	
Auditorías en los puestos de trabajo. Evaluación de las funciones en un periodo controlado como una semana o un mes.	
Posibles soluciones o acciones de mejora	
Estandarización de funciones y asignación de estas a trabajadores.	
Prioridad de actuación (Urgente/Alta/Media/Baja)	Alta

Tabla 4.8: Registro de incidencia número 6. Fuente: Elaboración propia.

- Causa raíz

La causa del problema no es difusa, y se puede localizar con suficiente precisión. Para focalizar sobre ella, se realiza el diagrama de los cinco por qué representado en la figura 4.17.

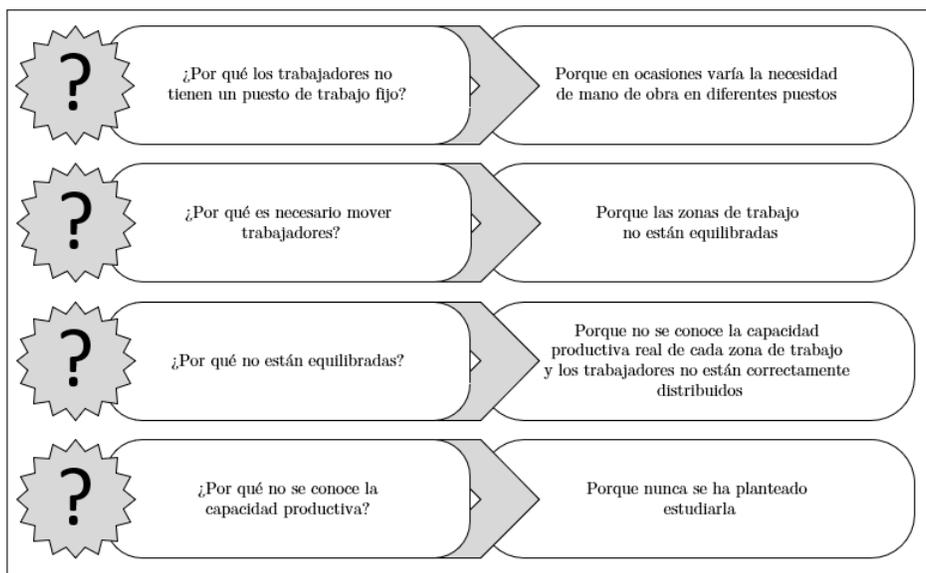


Figura 4.17: Diagrama cinco por qué del problema 6. Fuente: Elaboración propia.



■ **Conclusión**

Desde el punto de vista de la empresa no representa un problema en sí mismo. Para el jefe de producción es una operación habitual el hecho de reasignar trabajadores de un puesto a otro cuando sea necesario. Esto no debería de producirse si cada estación de trabajo estuviera equilibrada, y pudiera funcionar sin necesidad de reasignar mano de obra desde otras zonas. Se ha de lograr que cada trabajador tenga una serie de funciones cerradas, que aun siendo numerosas, son fijas y controladas.

4.4. Conclusión

El cuarto capítulo de la memoria se crea con el objetivo de entender, recopilar y analizar la situación actual del taller eléctrico. La consecuencia de este análisis tendría que ser no solo exponer el funcionamiento del taller eléctrico, sino que debería desembocar en la creación de un listado de problemas. Las incidencias recopiladas serían el objeto de estudio en apartados posteriores.

Analizando el capítulo desde una perspectiva general, se puede observar cómo siguiendo la metodología "Value Stream Mapping", se puede precipitar un análisis de la planta estudiada con rigor. En primer lugar se fija el foco de atención sobre las familias de productos más representativas del taller eléctrico. Una vez definidas, el siguiente paso ha sido levantar el mapa actual (VSM AS-IS). Es necesario recordar que crear el mapa de la cadena de valor no era un objetivo, sino un medio que se utilizará para analizar desde un punto de vista de flujo, la planta en cuestión. Seguidamente se han expuesto los problemas que se han localizado para posteriormente pormenorizar cada uno de ellos e identificar la causa raíz que los genera.

Un planteamiento de problemas e incidencias sin abordar su solución carece de sentido y justificación. Por ello en los capítulos siguientes se realizará la simulación de la planta y se plantearán las diferentes oportunidades de mejora. En ellos se expondrá la situación deseada de la planta, junto con las medidas a implementar para su consecución.

Capítulo 5

Identificación de soluciones potenciales

5.1. Introducción

En el capítulo anterior, donde se ha realizado el análisis del taller eléctrico, se han descrito una serie de problemas a tratar. Tomando este análisis como punto de partida, en el quinto capítulo se abordarán las posibles soluciones a estas incidencias detectadas.

El objetivo de este apartado es asentar las acciones de mejora a implementar. Para ello se enunciarán, describirán y seleccionarán las potenciales propuestas de mejora con las que se pretende solventar los problemas mencionados.

En primer lugar, siguiendo la línea de la metodología VSM, se elaborará el VSM TO-BE que representará la situación que se quiere alcanzar. Seguidamente se elaborará la descripción de cada una de las potenciales soluciones. Una vez planteadas, el capítulo concluirá seleccionando las medidas que se implantarán en base a los objetivos del trabajo y de la empresa.

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

Una vez representado el VSM AS-IS y detectados los problemas más significativos, es el momento de enunciar qué estado se quiere alcanzar a largo plazo. Este estado futuro se representa mediante el VSM TO-BE, donde se ilustrará la situación del taller que se aspira conseguir.

En las figuras 5.1 y 5.2 se muestran los VSM TO-BE de los pupitres y armarios eléctricos, se adjuntarán en el anexo en tamaño A4. Posteriormente se describirán los cambios que se pretenden conseguir con las acciones de mejora a implementar.

Capítulo 5. Identificación de soluciones potenciales

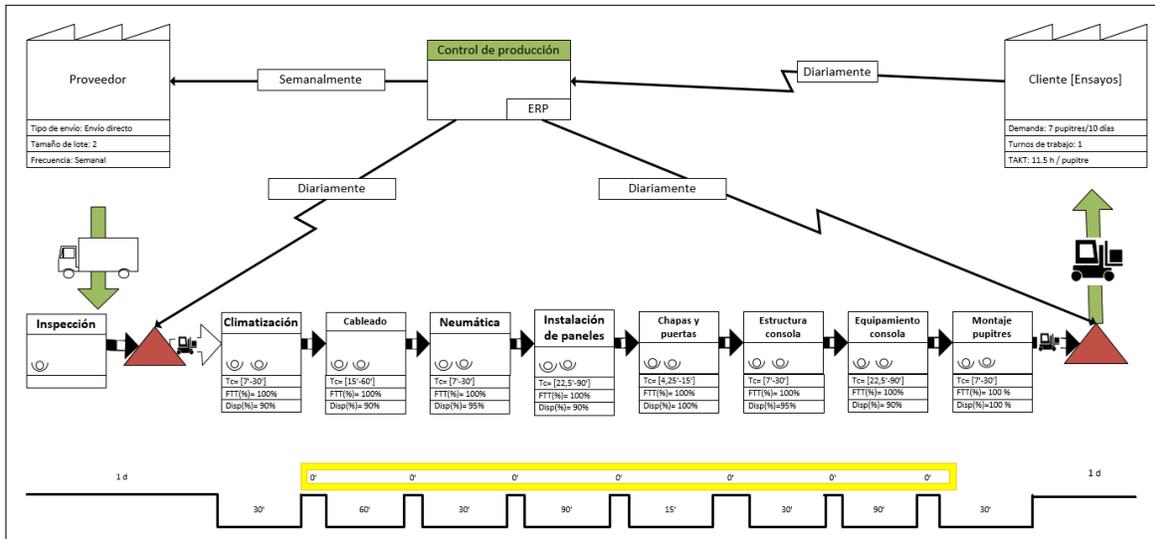


Figura 5.1: VSM TO-BE del montaje de pupitre cabina. Fuente: Elaboración propia.

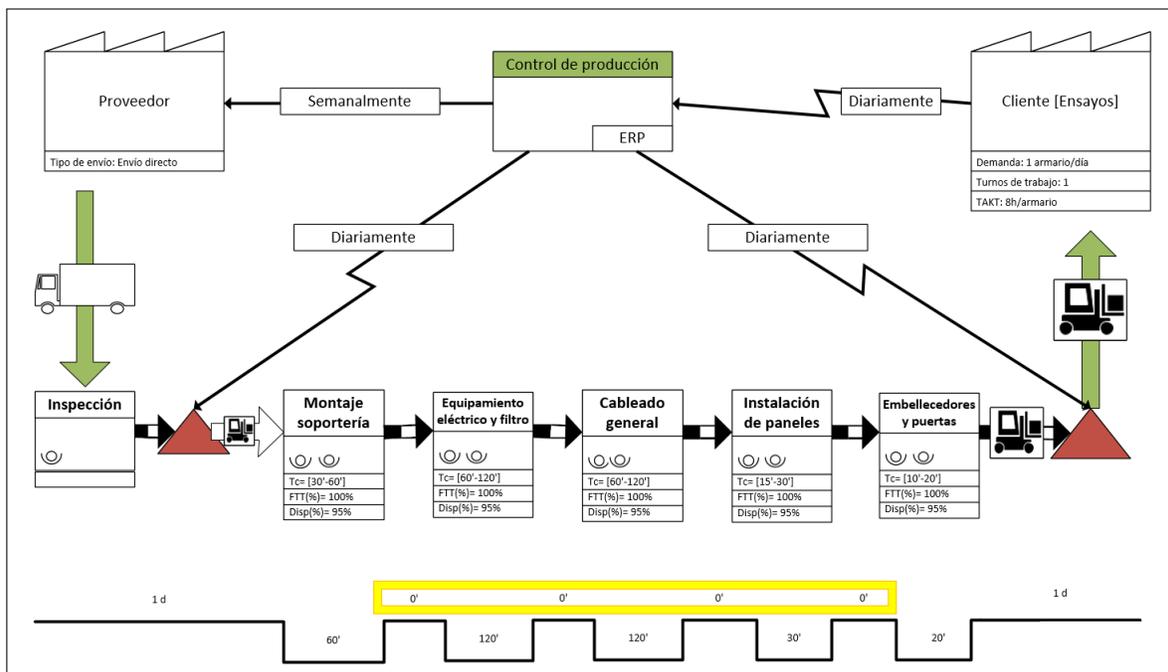


Figura 5.2: VSM TO-BE del montaje de armarios eléctricos. Fuente: Elaboración propia.

Los cambios y objetivos que se desean conseguir son los siguientes:

- Control de producción automatizado:** Se desea conseguir que la planificación de la producción proceda del sistema ERP de la empresa directamente. Con ello se evita que el responsable del taller tenga que modificar manualmente la planificación y el flujo de producción se acopla mejor a la producción general de la empresa.
- Trabajadores con funciones fijas:** En la situación deseada se espera que cada trabajador tenga sus funciones fijadas, y estandarizadas de modo que no varíen en el tiempo.

3. **Eliminar las paradas de producción:** Las paradas provocadas por los errores de calidad de los materiales procedentes de proveedores han de ser suprimidas. También aquellas paradas debido a las pausas de producción a causa de reasignación de trabajos. Si un ensamblaje es llevado al taller, no ha de parar su producción hasta que finalice su montaje y se envíe a cliente.
4. **Reducir los plazos entre el pedido a proveedor y la entrega a cliente:** Actualmente se realizan pedidos hasta con seis semanas de antelación a los proveedores. Este periodo de tiempo incluye la fabricación del proveedor, la fabricación en taller eléctrico y ensayado posterior del producto. El objetivo es reducir este intervalo de tiempo a tres o cuatro semanas como máximo, dependiendo del proveedor. Esto recortaría en más de un 30 % este plazo.
5. **Almacén ordenado y con nivel de utilización adecuado:** El objetivo es organizar el almacén para mantener un orden suficiente, que evite obstáculos y localizaciones arbitrarias de los productos. También que la ocupación se encuentre entre el 60 % y el 80 % de modo que la sobresaturación de este almacén deje de ser un problema.
6. **Reducir retrabajos:** Los retrabajos a causa de fallos de calidad han de ser eliminados por completo. Por otra parte, los retrabajos provocados por modificaciones de ingeniería son inevitables aunque si pueden ser reducidos.
7. **Introducir inspección de calidad a la entrada del almacén:** Realizar esta inspección cuando se recibe el material procedente de proveedor, evita futuros retrabajos o paradas de producción.

5.3. Posibles oportunidades de mejora

Para alcanzar la situación deseada en el VSM TO-BE es necesario plantear una serie de acciones de mejora. Como referencia se tomarán las incidencias detectadas en el capítulo anterior. En este apartado se van a enunciar y describir las medidas para conseguir los objetivos planteados.

5.3.1. Posibles oportunidades de mejora para la incidencia del control manual de producción

A continuación se listan las posibles oportunidades de mejora para solventar la incidencia del control manual de producción. Seguidamente se describirán las opciones que pueden ayudar a actuar sobre esta incidencia.

- **Introducción a las posibles soluciones**

A partir del análisis de los cinco por qué ilustrado en la figura 4.9 del capítulo 4, se ha encontrado la causa de que el jefe de taller se encargue de planificar manualmente la producción. Debido que el ERP carece de información realista de los plazos de producción de cada uno de los productos que se montan en el taller, es imposible que el software de una solución

coherente y fiable. Por tanto el encargado del taller se ve obligado a organizar, en base a las necesidades de los clientes, la producción. Las posibles soluciones a este problema son las siguientes:

A. Estudio de la capacidad de producción actual y posibles escenarios futuros.

Permitirá conocer la capacidad de producción del taller eléctrico, sus plazos de operación y comportamiento ante posibles situaciones futuras.

B. Estandarización de operaciones. La creación de estándares permitirá definir las operaciones y alimentar el ERP de datos fiables

▪ **Descripción de las opciones**

Alternativa A	
Nombre de la solución	Estudio de la capacidad de producción actual y posibles escenarios futuros mediante simulación.
Descripción	Mediante la realización de una simulación se podrá obtener una perspectiva general del funcionamiento de la planta además de poder estudiar diferentes escenarios futuros.
Objetivo	Conocer la capacidad productiva del taller eléctrico, la utilización de recursos y el desempeño de la planta ante situaciones hipotéticas.
Ventajas	Permite que se pueda alimentar el sistema ERP de datos realistas y que este pueda controlar la producción. Permite anticipar posibles problemas ante determinadas situaciones.
Inconvenientes	Dificultad de obtención de datos.
Personal afectado	No se verá afectado el personal directamente, únicamente para la toma de datos.
Coste estimado	El coste será reducido puesto que tan solo implicará la mano de obra que conlleve el desarrollo de la simulación.
Duración de la implantación	La implantación es inmediata una vez se realice el estudio.

Tabla 5.1: Descripción de la opción del estudio de la capacidad de producción y posibles escenarios mediante simulación . Fuente: Elaboración propia

Alternativa B	
Nombre de la solución	Estandarización de operaciones.
Descripción	Elaboración de hojas de trabajo que permitan conocer la producción y desviaciones diarias. Además se alimentará el ERP para que se disponga de esta información.
Objetivo	Introducir el taller en la mejora continua. Conocer los tiempos de operación. Alimentar el ERP con datos fiables.

Continúa en la siguiente página

Ventajas	El ERP dispondrá de información necesaria para planificar la producción de forma más precisa y se podrán calcular indicadores.
Inconvenientes	Se ha de nombrar un responsable que vuelque la información al ERP continuamente procedente de los operarios.
Personal afectado	Todos los operarios del taller destinados a los montajes en cuestión.
Coste estimado	El coste conllevará la formación en los nuevos estándares que se realizará durante una semana y modificar el ERP.
Duración de la implantación	Un mes para la elaboración de los estándares y una semana de formación.

Tabla 5.2: Descripción de la opción de . Fuente: Elaboración propia

5.3.2. Posibles oportunidades de mejora para la incidencia del almacén sobresaturado

A continuación se listan las posibles oportunidades de mejora para solventar la incidencia del estado sobresaturado del almacén, y posteriormente se describirán siguiendo el formato de las anteriores propuestas.

- **Introducción a las posibles soluciones**

En el capítulo anterior se realizó un Ishikawa y un análisis de cinco por qué para hallar la causa de esta incidencia. Este estudio ha derivado en conocer que la distribución de espacios, no ha sido correctamente planificada a la hora de crear este almacén del taller eléctrico. Las oportunidades de mejora son las siguientes:

C. **5S.** Aplicar la metodología 5S en todo el almacén.

D. **Redistribución de espacios en almacén.** Analizar las referencias y redistribuir los espacios, organizándolos eliminando duplicidades.

- **Descripción de las opciones**

Alternativa C	
Nombre de la solución	Metodología 5S.
Descripción	Implementar la metodología 5S en el almacén del taller eléctrico basada en la limpieza, orden, seguridad y disciplina.

Continúa en la siguiente página

Objetivo	Alcanzar un almacén ordenado y limpio. Reducir el tiempo de las operaciones de mantenimiento en almacén.
Ventajas	Reducción de tiempos de carga y descarga de materiales. Mejora en el control y organización de cada referencia. Mejor utilización y disponibilidad del espacio.
Inconvenientes	Se ha de involucrar a los operarios para que la implantación llegue al éxito y perdure en el tiempo.
Personal afectado	Todos los operarios que utilizan el almacén así como el jefe de taller.
Coste estimado	El coste se reduce a la limpieza y reordenación del almacén.
Duración de la implantación	La duración sería de tres semanas entre la implantación y la formación. Posteriormente se realizarán auditorías.

Tabla 5.3: Descripción de la opción de implantar las 5S. Fuente: Elaboración propia

Alternativa D	
Nombre de la solución	Redistribución de espacios.
Descripción	Analizar el número y la distribución de las referencias actualmente, para posteriormente hacer más eficiente el uso de los espacios y eliminar productos innecesarios.
Objetivo	Mejorar la utilización y disponibilidad de los espacios.
Ventajas	Reducción de tiempos de carga y descarga de materiales. Utilización del espacio más eficiente.
Inconvenientes	Convencer de que esta nueva distribución es mejor y se ha de mantener.
Personal afectado	Todos los operarios que utilizan el almacén así como el jefe de taller.
Coste estimado	El coste que implique cambiar de ubicación las referencias y marcar las nuevas delimitaciones.
Duración de la implantación	La duración sería de una semana, únicamente habría que mover las referencias y crear las nuevas marcas visuales.

Tabla 5.4: Descripción de la opción de redistribuir los espacios. Fuente: Elaboración propia

5.3.3. Posibles oportunidades de mejora para la incidencia de la excesiva antelación de los pedidos a proveedores

Las posibles oportunidades de mejora para solventar la incidencia de los pedidos con excesiva antelación se discutirán a continuación. Una vez identificadas, se describirán las opciones para que posteriormente se seleccione la más conveniente.

■ **Introducción a las posibles soluciones**

De las posibles causas que provocarían esta incidencia, se ha puesto en evidencia que no existe confianza en que los proveedores cumplan con el plazo estipulado de entrega. Tampoco se confía que el taller sea capaz de ajustarse a un plazo reducido por lo que el pedido a proveedor se adelanta hasta un mes y medio de antelación. Para poder reducir este margen temporal entre el pedido al proveedor y el envío a cliente del producto terminado, se van a listar las posibles mejoras:

E. Evaluación de riesgos y asignación de responsabilidades. Conociendo los riesgos, se asignará la responsabilidad de desviación de plazos a quien corresponda. Con ello se implicarán los responsables para que no suceda este problema.

F. Estudiar las operaciones que transcurren desde el proveedor hasta el montaje final. Conociendo mejor cada uno de los procesos, se podrá reducir el tiempo de pedido puesto que habrá menos incertidumbre.

■ **Descripción de las opciones**

Alternativa E	
Nombre de la solución	Evaluación de riesgos y asignación de responsabilidades.
Descripción	Asignar responsables permitirá que cada uno se implique en que la desviación de los plazos ha de cumplirse. Conociendo los riesgos, cada responsable será consciente de lo que implica cada decisión.
Objetivo	Implicar a los departamentos y proveedores que forman parte del proceso de manufactura de los conjuntos. Asignarles la responsabilidad de cumplir los plazos.
Ventajas	Externalizar riesgos del departamento de compras, permitiendo así reducir los plazos de pedido. Reducir la incertidumbre de que se desvíe la planificación puesto que cada desvío tendrá un responsable.
Inconvenientes	Se ha de implicar tanto el proveedor como los departamentos de la empresa. La recopilación de datos será muy complicada por el gran número de personas implicadas.

Continúa en la siguiente página

Personal afectado	Todo aquel que participe en la producción y diseño de los conjuntos a nivel.
Coste estimado	El coste económico se reduce a la elaboración del proyecto de gestión de riesgos.
Duración de la implantación	Un mes debido a la adaptación progresiva que se ha de implantar por parte de cada implicado.

Tabla 5.5: Descripción de la opción de asignación de responsabilidades. Fuente: Elaboración propia

Alternativa F	
Nombre de la solución	Estudio de las operaciones desde el proveedor hasta el montaje final.
Descripción	Conocer todos los procesos que se desarrollan hasta tener el producto terminado, eliminando la incertidumbre y conociendo realmente los plazos que se necesitan.
Objetivo	Conocer los plazos que se necesitan para cada operación que se realiza durante la cadena de valor de los montajes. Conociendo los plazos, se pretende reducir los plazos de pedido a proveedor.
Ventajas	Reducción de stock. Los tiempos de operación pueden reducirse. El plazo entre el pedido y el montaje final se reduce.
Inconvenientes	Obtener los datos y realizar un estudio completo de las operaciones es complejo.
Personal afectado	Solo se verá afectado el personal para la toma de datos de cada operación.
Coste estimado	Se trata de un estudio de las operaciones por lo que el coste únicamente será la elaboración de la documentación y la obtención de datos.
Duración de la implantación	Una vez se complete el estudio la implantación es inmediata.

Tabla 5.6: Descripción de la opción de estudiar las operaciones desde la compra hasta el montaje final. Fuente: Elaboración propia

5.3.4. Posibles oportunidades de mejora para la incidencia del tamaño incontrolado de los lotes

Para corregir la incidencia relacionada con el tamaño incontrolado de los lotes se van a listar las posibles oportunidades de mejora. A continuación se describirán, una por una, las alternativas que se ofrecen.

- **Introducción a las posibles soluciones**

En función de la demanda que se prevea, el jefe de taller en ocasiones lanza la producción de varios pupitres a la vez. El número oscila sin una forma preestablecida, con el objetivo de salvar picos y valles de demanda. Para regularizar la producción se ha de controlar que el tamaño de los lotes sea conocido y planificado con rigor. Para ello se puede optar por las siguientes opciones:

G. **Estandarización de lotes en función de la demanda.** Seleccionar el tamaño de lote más adecuado según el nivel de demanda.

H. **Eliminar lotes y aproximar a Just In Time** Reducir los lotes hasta aproximar la producción directamente a la demanda.

- **Descripción de las opciones**

Alternativa G	
Nombre de la solución	Estandarización de lotes en función de la demanda.
Descripción	Establecer lotes estándar para los posibles niveles de demanda que puedan suceder.
Objetivo	Reducir los costes de preparación mediante la producción en lotes. Reducir los costes de inventario generados por esta producción.
Ventajas	Reducción de costes y tiempos de preparación. Los tiempos de operación pueden reducirse.
Inconvenientes	Se almacenará producto terminado, lo que ocupará espacio y supondrá un coste. Se habrá que adaptar los pedidos a proveedor.
Personal afectado	La modificación afectará a todo el taller puesto que la producción se adaptará pero la elaboración de la estandarización no les afecta.
Coste estimado	No implica coste alguno más que adaptar a los operarios a los nuevos tamaños de lote.
Duración de la implantación	Inmediata, en cuanto se reciba el material de proveedor.

Tabla 5.7: Descripción de la opción de estandarizar lotes. Fuente: Elaboración propia

Alternativa H	
Nombre de la solución	Eliminar lotes y aproximar a Just In Time.
Descripción	Adaptar la producción de cada montaje a la demanda que exista. Eliminar lotes, producir lo que se vaya a enviar.
Objetivo	Mejorar la utilización y disponibilidad de los espacios.
Ventajas	Reducción de costes de inventario. Reducción de dock to dock.
Inconvenientes	Riesgo de parar la producción del cliente a causa de un desvío del taller o del proveedor.
Personal afectado	Todo el personal ha de estar alineado con esta filosofía de crear un flujo de producción continuo.
Coste estimado	El coste corresponderá con la adaptación del personal a la nueva forma de producción.
Duración de la implantación	Inmediata.

Tabla 5.8: Descripción de la opción de eliminar lotes para crear flujo de una pieza. Fuente: Elaboración propia

5.3.5. Posibles oportunidades de mejora para la incidencia de las interrupciones de producción

A continuación se listan, y posteriormente se describen, las posibles oportunidades de mejora para solventar la incidencia de las interrupciones de producción.

- **Introducción a las posibles soluciones**

Para reducir las paradas de producción se pueden implementar varias soluciones que ayudarían a reducir esta incidencia:

I. **SMED.** Con él se pretende reducir el tiempo de cambio de lote.

J. **Introducir un control de calidad previo.** Con ello se conseguiría detectar con anterioridad los problemas de calidad.

▪ **Descripción de las opciones**

Alternativa I	
Nombre de la solución	SMED.
Descripción	Mediante la implantación de esta compleja herramienta se reducirá el tiempo de cambio de lote en el montaje de los conjuntos.
Objetivo	Reducir el tiempo de preparación y el tiempo de cambio de lote. Aumentar el OEE de cada montaje.
Ventajas	Permite eliminar operaciones innecesarias, reducir el tiempo que no aporta valor al montaje. Aumento disponibilidad de los operarios.
Inconvenientes	Dada la complejidad del montaje, reducir los tiempos de cambio de lote es complicado. Existen ciertas pautas de cambio de lote ya implantadas, estándares no escritos.
Personal afectado	Todo el personal que esté afectado en el montaje de los conjuntos.
Coste estimado	El coste que implique las entrevistas a los trabajadores para recopilar información junto con la formación para su implantación.
Duración de la implantación	Un periodo de formación de una semana y posteriores auditorías.

Tabla 5.9: Descripción de la opción de implantación de un SMED. Fuente: Elaboración propia

Alternativa J	
Nombre de la solución	Introducir inspección previa de calidad.
Descripción	Realizar una inspección de calidad de los materiales procedentes de proveedor a la entrada de almacén.
Objetivo	Detectar los defectos con la suficiente antelación para que se eviten paradas en la producción.
Ventajas	Reducen paradas a mitad de montaje a causa de desperfectos. Permite recopilar información acerca del proveedor y la calidad de sus envíos.
Inconvenientes	Supone una inversión de tiempo realizar esta inspección a cada entrega y con su consecuente coste.

Continúa en la siguiente página

Personal afectado	La persona que registra la entrada en el almacén, se encargará del control de calidad.
Coste estimado	El coste de implantación será despreciable. Los costes fijos aumentarán puesto que es una operación nueva a cada material.
Duración de la implantación	Inmediata.

Tabla 5.10: Descripción de la opción de crear una inspección de calidad. Fuente: Elaboración propia

5.3.6. Posibles oportunidades de mejora para la incidencia en la que los trabajadores no tienen un puesto de trabajo fijo

La última incidencia a tratar es la relacionada con que los trabajadores carecen de un puesto fijo. Se enunciarán y describirán las oportunidades que permitan solucionar esta incidencia.

■ **Introducción a las posibles soluciones**

En el capítulo anterior se ha observado que los trabajadores carecen de un puesto fijo, o un conjunto de funciones que realizar. Para que la curva de aprendizaje sea mucho más rápida, y además se tenga un mayor control sobre cada operación, los trabajadores han de ejercer una función específica. Para conseguir esto se proponen las siguientes opciones:

K. **Estandarizar operaciones y asignar trabajadores a ellas.** Con la creación de estándares, la asignación de puestos será más sencilla.

■ **Descripción de las opciones**

Alternativa K	
Nombre de la solución	Estandarizar puestos de trabajo.
Descripción	Estandarizar operaciones y asignarlas a puestos de trabajo fijos.
Objetivo	Proporcionar unas funciones específicas a los operarios y ser capaz de evaluar su desempeño.
Ventajas	Mejora el control sobre cada operación facilitando la recopilación de información para el ERP. Permitirá tener indicadores de cada puesto de trabajo.
Inconvenientes	Cambiar el modo de trabajo tradicional del taller, puede implicar una resistencia al cambio por parte de los operarios.

Continúa en la siguiente página

Personal afectado	Cada uno de los puestos de trabajo del taller eléctrico.
Coste estimado	Coste mínimo asociado a la formación y elaboración de la documentación.
Duración de la implantación	Inmediata, tras un periodo de formación de unas dos semanas.

Tabla 5.11: Descripción de la opción de elaborar estándares. Fuente: Elaboración propia

5.4. Agrupación y selección de medidas a implantar.

Una vez se han expuesto las alternativas destinadas a reducir, solventar o eliminar las incidencias presentadas en la planta, es el momento de agrupar y jerarquizar estas oportunidades. Posteriormente se seleccionarán las medidas a implantar.

A continuación se listan todas las alternativas propuestas a lo largo del capítulo. Se conserva el orden puesto que cada una está destinada a solventar una incidencia en concreto.

- A. Estudio de la capacidad de producción actual y posibles escenarios futuros.**
- B. Estandarización de operaciones.**
- C. 5S en almacén.**
- D. Redistribución de espacios en almacén.**
- E. Evaluación de riesgos y asignación de responsabilidades.**
- F. Estudiar las operaciones que transcurren desde el proveedor hasta el montaje final.**
- G. Estandarización de lotes en función de la demanda.**
- H. Eliminar lotes y aproximar a Just In Time**
- I. SMED en las operaciones de ensamblaje.**
- J. Introducir un control de calidad previo.**
- K. Estandarizar operaciones y asignar trabajadores a ellas.**

Analizando el conjunto de oportunidades para cada incidencia, se ha llegado a la siguiente conclusión: La primera opción consiste en realizar una simulación para ayudar a conocer la producción actual del taller. Además de esto, permitirá plantear escenarios hipotéticos que serán de gran utilidad para observar el comportamiento del taller ante diferentes situaciones. Este estudio puede ser ampliado más allá de la producción. Con la realización de esta simulación se pueden abordar diferentes estudios y con ellos, dar solución a varias incidencias simultáneamente.

Observando la lista de oportunidades, se puede afirmar que la simulación es capaz de englobar un gran número de soluciones propuestas. En la figura 5.3 se presenta las oportunidades de mejora que pueden derivar de la realización de esta simulación.

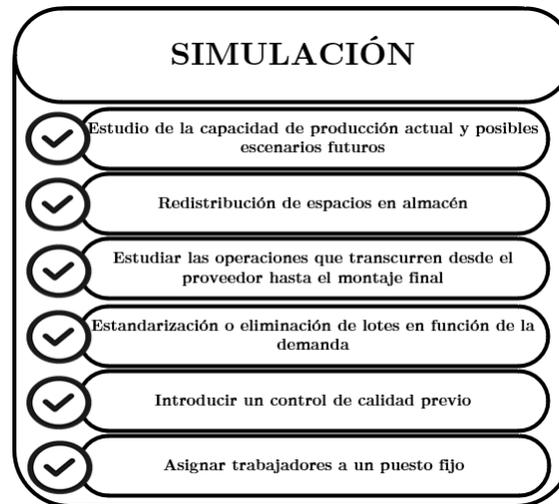


Figura 5.3: Oportunidades que abarca la simulación. Fuente: Elaboración propia.

Los motivos por los que se selecciona esta opción son diversos. Realizar esta simulación permite conocer el taller eléctrico en términos de capacidad productiva, plazos de fabricación de los ensamblajes y utilización de recursos. Junto a esto, la simulación constituye una herramienta que posibilita plantear experimentos. Estos experimentos pueden ahondar en las soluciones que se han expuesto en el capítulo como pueden ser la opción "D", puesto permite observar el comportamiento de diferentes distribuciones de almacén. Además esta oportunidad también abarca las oportunidades "F, G, H, J y K". Se puede elaborar un estudio de la ventaja de fabricar en lotes o bien en flujo de pieza único, también estudiar las operaciones del taller, o bien introducir un control de calidad previo observando sus repercusiones. Por tanto se puede incidir en todas las incidencias planteadas previamente.

La gran ventaja de esta simulación además es su bajo coste. Con esta herramienta se logra adquirir experiencia sobre la planta, sin poner en riesgo la productividad del sistema. Permite explorar alternativas o escenarios futuros, que arrojan valiosa información acerca del comportamiento del sistema. Con todo ello se consigue reducir el riesgo en la toma de decisiones.

5.5. Conclusión

Planteados los problemas que se detectan en el objeto de estudio, era necesario a continuación abordar estas incidencias. Este capítulo se desarrolla con el objetivo de generar una serie de oportunidades que permitan mejorar la situación de la planta.

Para continuar con la metodología VSM, se elabora el mapa de la situación deseada o VSM TO-BE. En él se representa el estado del taller eléctrico al que se pretende llegar a medio y largo plazo. Posteriormente, con la ayuda de las incidencias detectadas se generan alternativas de mejora, describiéndolas y estudiando sus ventajas e inconvenientes. Finalmente se escoge la construcción de una simulación como acción a implementar, ya que permitirá abordar muchas de las oportunidades que se han listado y se alinea con los objetivos del proyecto.

Llegado a este punto, los siguientes capítulos estarán centrados en la construcción de la simulación, y los diferentes estudios que se abordarán en ella.

Capítulo 6

Construcción de la simulación y validación del modelo

6.1. Introducción

Como antecedente a este capítulo se realizó un análisis de la situación presente en la empresa. Este análisis derivó en un listado de incidencias que se detectaron en la planta. Este planteamiento de problemas conllevó a una búsqueda de soluciones potenciales, las cuales fueron analizadas y se seleccionó la más conveniente. Llegado a este punto, es el momento de construir la herramienta para alcanzar la propuesta de mejora elegida: la simulación de la planta.

En el presente capítulo se desarrollará el modelo de simulación, que permitirá abordar diferentes estudios sobre la planta. El objetivo del capítulo, es crear una herramienta sencilla que sirva de soporte para analizar las hipótesis que se plantearán. Para confiar en los resultados procedentes de esta, se validará previamente el modelo. La validación permitirá extrapolar los resultados de investigaciones sobre el modelo, a la planta real.

Antes de la construcción del modelo, se planificará su desarrollo. Tras organizar la planificación se construirá la herramienta, presentando la estructura del programa. Finalmente se realizará la validación de este donde se comprobará que representa al sistema físico con el suficiente rigor.

6.2. Construcción de la herramienta en SIMIO

En este apartado se va a presentar el modelo de simulación y su construcción. En primer lugar se organizará la construcción de la herramienta. Seguidamente se definirá la distribución en planta del taller eléctrico para posteriormente elaborar el modelo. Finalmente se enunciará cómo se extraen los resultados y qué tratamiento se les aplicará.

6.2.1. Planificación del desarrollo

En primer lugar se va a plantear la planificación del desarrollo del modelo. La planificación no constará de carácter temporal sino secuencial. Esto es debido a que a priori no existe experiencia previa con este software de simulación, por lo que marcar los plazos temporales con antelación resulta complejo e impreciso.

En la figura 6.1 se muestra un esquema de la planificación que se ha planteado para abordar la construcción del modelo. Se ha utilizado la metodología de arquitectura en cuatro capas (Network, Logic, Database y Visual Reality) expuesta en el capítulo 3. A continuación se describirá brevemente qué se pretende conseguir en cada una de las tareas o actividades planteadas.

SECUENCIA	HORIZONTE TEMPORAL	
	PLANIFICACIÓN	PROGRAMACIÓN
1. Diseño de la infraestructura (Network)		
2. Programación de la lógica (Logic) 2.1. Programación estructura general 2.2. Programación modular		
3. Construcción de la Base de Datos (Database) 3.1. Recopilación de parámetros 3.2. Recopilación de variables		
4. Diseño de la capa visual (Visual Reality) 4.1. Representación de resultados 4.2. Mejora de aspecto visual		

Figura 6.1: Esquema de la planificación de la construcción del modelo. Fuente: Elaboración propia.

- Diseño de la infraestructura (Network):** El primer paso antes de comenzar con el modelado es conocer el sistema físico que se pretende simular. Para facilitar esta comprensión, se expondrá la infraestructura del modelo. Se realizará la descripción de la distribución en planta del taller eléctrico y su almacén externo así como las máquinas y red de transporte.
- Programación de la lógica de simulación (Logic):** Conocido el sistema a simular, se programará la estructura lógica de los procesos que se realizan en el taller eléctrico. Simultáneamente a la construcción de la base de datos, se diseñará de forma modular la programación de cada parte del sistema para posteriormente unificarla. Se puede distinguir procesos como la llegada o salida de productos, el transporte interno, el diseño y funcionamiento del almacén, y finalmente el diseño y funcionamiento del taller.
- Construcción de la Base de Datos (Data Base):** Se ha de recopilar los datos más significativos que se van a introducir al modelo como parámetros de entrada. Estos parámetros serán necesarios para definir el sistema y hacer factible y válida la simulación. Además

de los parámetros, se plantearán las variables que serán necesarias para el funcionamiento dinámico del modelo. Las variables pueden representar magnitudes que se quieren medir y conocer su valor, o bien variables intermedias que se utilizarán como auxiliares para la programación de la simulación.

El modelo ha de contar con restricciones a las variables mencionadas. Estas restricciones acotarán el sistema representado y permitirán que se comporte como se desea. Pueden ser de todo tipo como restricciones de capacidad, restricciones lógicas, de continuidad, etc.

4. **Diseño de la capa visual (Visual Reality):** Con el modelo representado en su totalidad, el siguiente paso es diseñar la capa visual. Se otorgará de una apariencia estética a la simulación en primer lugar. Posteriormente, los resultados que se desean extraer del modelo y son útiles para el control y análisis de la simulación por parte del usuario han de ser extraídos. Se establecerá el método de recabar estos resultados y cómo se realizará su tratamiento posterior.

6.2.2. Diseño de la infraestructura (Network)

El primer paso para elaborar el modelo es definir la infraestructura física en la que se va a basar el sistema. Se va a mostrar la distribución de la planta tanto la distribución del taller como la del almacén externo. En primer lugar se representa en la figura 6.2 el esquema de la distribución en planta del taller eléctrico según la funcionalidad.

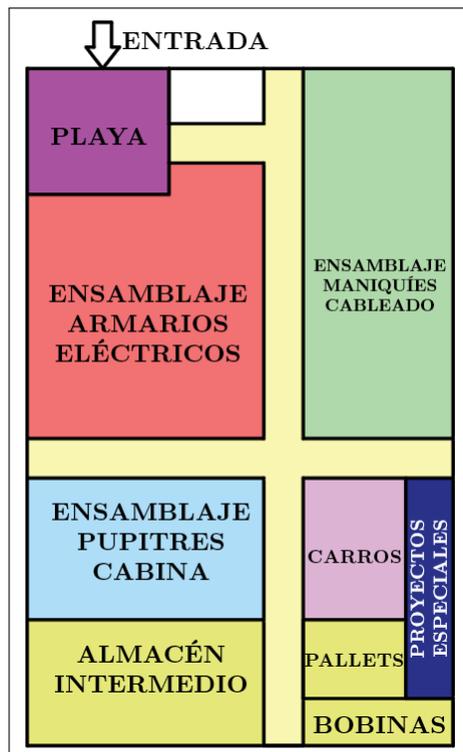


Figura 6.2: Esquema del layout del taller eléctrico. Fuente: Elaboración propia.

- **Playa:** Esta zona está destinada a la recepción de productos, o bien procedentes del almacén externo, o procedentes directamente de proveedor por razones de urgencia.
- **Almacén intermedio:** Se trata de un almacén de componentes de tamaño reducido. Este almacén consta de numerosas referencias y suministra mediante Kanban a todos los ensamblajes. Las referencias se almacenan en estanterías adaptadas a cada tamaño de referencia, y se localizan con rapidez con la ayuda de factoría visual.
- **Zona de bobinas:** En esta zona se almacenan las bobinas de cable de diferente grosor. Están distribuidas de modo que su manipulación es muy sencilla, y permite surtir cada cable rápidamente.
- **Zona de pallets:** Cuando se va a realizar un gran ensamblaje como son los pupitres o armarios, y se precisa de un componente de gran tamaño procedente del almacén externo, se coloca en esta zona del taller. Por tanto, esta zona es el lugar de almacenaje de componentes de grandes dimensiones previo montaje.
- **Proyectos especiales:** En esta zona se desarrollan proyectos puntuales que son requeridos por Stadler. Son proyectos que no son habituales, incluso en muchas ocasiones son únicos y no se repetirán. Es una zona muy versátil, fácilmente adaptable al nuevo proyecto que se desarrollará.
- **Zona de carros:** En ella se guardan los maniqués de cableado finalizados. Permanecen en esta zona almacenados y organizados en carros personalizados antes de ser montados en el ensamblaje principal.
- **Ensamblaje maniqués cableado:** En este lugar se localizan las grandes mesas donde se construyen los maniqués. Estas mesas están especialmente diseñadas para facilitar el complejo montaje del cableado y su etiquetado. Una vez se finaliza, se coloca en un carro metálico personalizado.
- **Ensamblaje pupitres cabina:** En esta zona se realiza el montaje de los pupitres. Consta de cuatro estaciones de montaje y sus respectivas estanterías donde se localizan los elementos que se van a precisar para cada montaje. Estas estanterías son repuestas mediante Kanban.
- **Ensamblaje armarios eléctricos:** De forma similar a los pupitres, esta zona está destinada al montaje de los armarios eléctricos. Está formada por tres estaciones de montaje y sus respectivas estanterías y mesas donde se localizan los elementos que se van a montar. Nuevamente esta reposición se realiza mediante Kanban.

A continuación en la figura 6.3 se muestra la distribución en planta del almacén.



Figura 6.3: Esquema del layout del almacén. Fuente: Elaboración propia.

- **Zona de estanterías:** Sobre estanterías se almacenan los productos de mediano y pequeño tamaño. Estas estanterías no se encuentran sobresaturadas, aunque su acceso se encuentra obstaculizado por el resto de pallets.
- **Zona de almacén sobre suelo:** Sobre el suelo se localizan los productos de grandes dimensiones en pallets. No existe delimitación de zonas por lo que las referencias se localizan irregularmente sin orden alguno. En esta zona es donde se detecta un nivel de ocupación demasiado elevado.

Cada uno de estos espacios está conectado entre sí a través de un medio de manutención, la carretilla. Este vehículo de transporte se utilizará para transportar los productos principales (pupitres y armarios) desde su entrada a planta a través del almacén, hasta su ensamblaje en el interior del taller. Además, una vez finalizado el producto las carretillas transportarán el producto acabado a la salida del taller.

6.2.3. Programación de la lógica de simulación (Logic)

Una vez finalizada la capa "Network", el siguiente paso es crear la lógica del sistema (Logic). En el presente apartado se va a exponer la estructura del programa general. En primer lugar se presentará el diagrama de flujo del sistema, a partir del cuál se presentará cada uno de los bloques específicos que lo componen. Durante la elaboración de la capa lógica del programa, se anotan los parámetros y variables que serán útiles y/o necesarios para la siguiente capa de Base de Datos.

Definición de la lógica general

La figura 6.4 ofrece el flujograma general del recorrido que debe realizar cada uno de los productos para completar su fabricación en la planta.

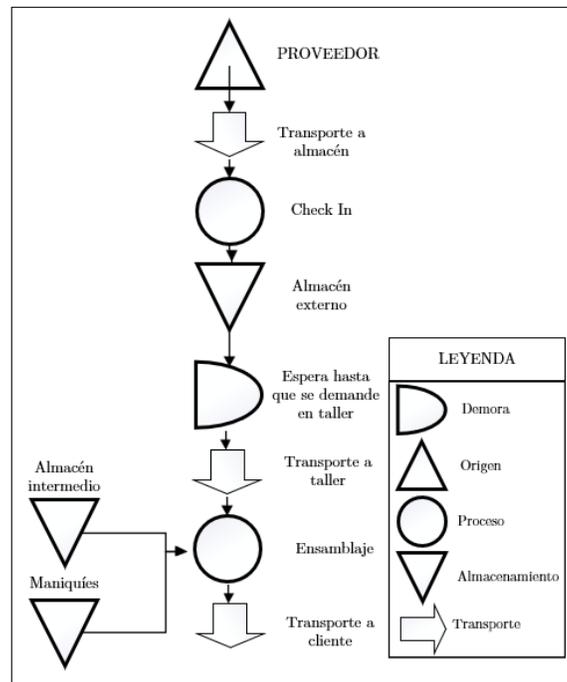


Figura 6.4: Flujograma general de la planta. Fuente: Elaboración propia.

El diagrama anterior representa a alto nivel los procesos principales por los que atraviesa un conjunto. Este diagrama puede ser dividido en bloques para abordar la construcción del modelo de forma más sencilla. Esto permitirá construir un diseño modular por pasos, sin necesidad de abordar el sistema completo desde el inicio. En la figura 6.5 se ilustra esta división de los procesos principales.

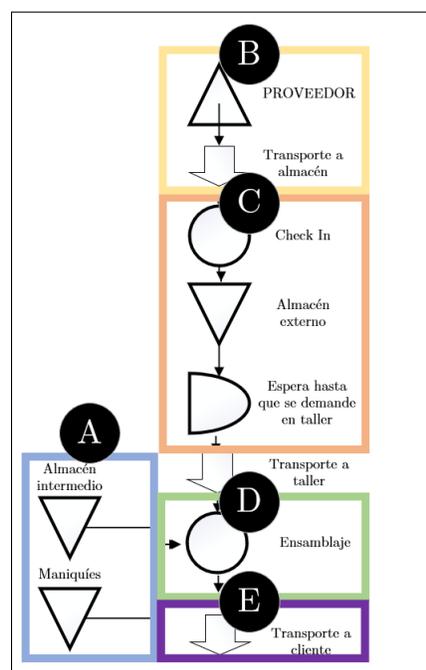


Figura 6.5: Flujograma general de la planta dividido en bloques. Fuente: Elaboración propia.

A continuación se va a resumir brevemente cada uno de estos bloques y cómo se han definido para introducirlos al modelo.

- A. **Aprovisionamiento de las estaciones de ensamblaje:** Abarca todos los procesos y movimientos necesarios para aprovisionar las estaciones de montaje de pupitres y armarios. Para la construcción del modelo se ha de simplificar el sistema físico. Esto se debe a que es necesario reducir la complejidad de la simulación, evitando siempre alejar de la realidad el modelo. Se ha de combinar representatividad y simplicidad. Dicho esto, puesto que estos procesos son paralelos al flujo principal, y además no se han encontrado problemas en su funcionamiento, se decide prescindir de ellos en el modelo. Suprimir estos procesos del modelo no quiere decir que no estén contemplados, sino que se toman como fijos y no influyen en el sistema de forma significativa.
- B. **Llegada de productos del proveedor:** Este bloque representa la secuencia de llegada de los productos al sistema. Ha de representar la realidad, por lo que se toma la demanda anual y se obtiene el tiempo medio en el que llega una estructura de un pupitre o armario. Con esta media se pueden introducir diferentes secuencias de entrada al sistema. Se toma como secuencia de entrada una distribución exponencial.

$$F(x) = P(X \leq x)[1 - e^{-\lambda x}]$$

$$t_{entre\ llegadas} = -\frac{\ln(1 - F(x))}{\lambda} \tag{6.1}$$

Ecuación 6.1: Tasa de llegada según distribución exponencial. Fuente: Elaboración propia.

Siendo:

- F(x): Número aleatorio entre 0 y 1.
- λ : Inversa del tiempo medio de llegada.

En la tabla 6.1 se recogen los valores de λ utilizados para generar la distribución exponencial de la llegada de los productos.

Productos	Tiempo medio de llegada (h/unidad)	λ (unidad/h)
Pupitres cabina	11.5	0.087
Armarios eléctricos	8	0.125

Tabla 6.1: Tasa de llegada de productos. Fuente: Elaboración propia.

Con todo esto ya estaría definida la llegada de los productos. Los productos llegarán a un punto físico de Stadler, desde el cuál deberá ser transportado por carretilla hasta el almacén externo del taller eléctrico.

- C. **Almacén externo:** El siguiente bloque corresponde con el almacén externo. Cuando la carretilla recoge el producto procedente del proveedor, lo lleva al almacén. A su llegada se realiza el "check in", registrando su entrada con el albarán. Puesto que no existe una distribución fija en el almacén, el producto ha de ser colocado de forma aleatoria donde exista espacio. El modelo ha de ser capaz de asignar una ubicación aleatoria en el espacio disponible sobre suelo. De esta manera se refleja la realidad del almacén. El producto permanecerá en el almacén hasta que se solicite su envío a taller para comenzar su ensamblaje.
- D. **Ensamblaje del conjunto:** Cuando se solicita por parte del taller, la estructura que se encuentra en el almacén es enviada para su montaje. Este transporte se realiza mediante carretilla nuevamente. En función de la ocupación de las estaciones de ensamblaje, se le asigna un lugar. Esta asignación es consecutiva, si el primer sitio no está ocupado se selecciona sino, se continua con el siguiente. Una vez en el lugar de destino, se inicia el montaje. Para cada conjunto se concatenan las diferentes operaciones que se han de suceder para finalizar el ensamblaje. Si existen paradas de producción, el montaje se ha de quedar en el punto en el que ha llegado y finalizarse cuando sea oportuno. Una vez finalice el montaje se ha de marcar como producto terminado, y queda a la espera de su transporte al cliente del taller eléctrico. Cabe recordar que el cliente del taller eléctrico no es otro que el departamento de ensayos de Stadler Raíl.
- E. **Salida de productos:** El bloque final es la salida y entrega del producto terminado al proveedor. Tras finalizar el montaje en el taller, se ha de dar salida al producto acabado. Para ello se solicita su salida al personal de transporte y se envía mediante carretilla a su destino.

Definición de la lógica de transporte

La carretilla es el centro de las operaciones de transporte. Cualquier producto ha de transportarse, por lo que su movimiento está vinculado con el funcionamiento de la planta.

Para mostrar el funcionamiento básico de la carretilla para el transporte de productos, en la figura 6.6 se ha elaborado un flujograma para ilustrar la lógica del proceso. Este módulo se mantiene activo durante toda la ejecución de la simulación.

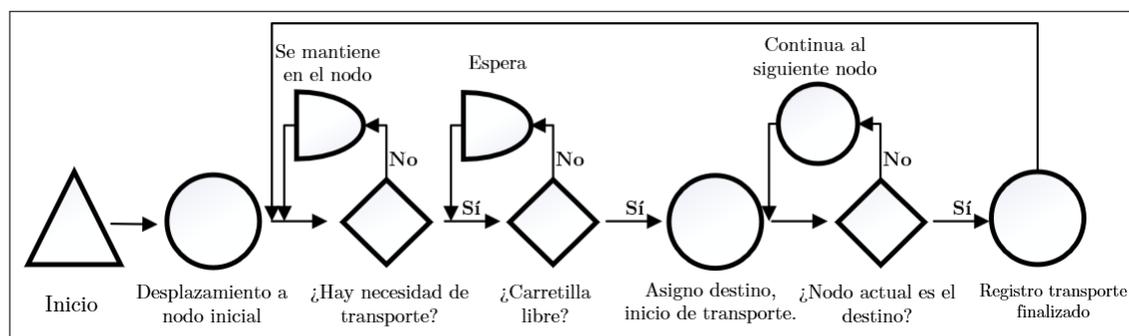


Figura 6.6: Diagrama de flujo de la programación de la carretilla de transporte. Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra reflejado en la figura 6.6, la lógica de la carretilla es un "loop" continuo. Mientras exista necesidad, la carretilla se desplaza uno a uno a cada nodo marcado como destino, y una vez finalizado el transporte, permanece a la espera hasta que se vuelva a marcar una necesidad.

Definición de restricciones del modelo

Las restricciones del modelo se pueden resumir brevemente. En primer lugar las restricciones básicas para evitar la superposición física de entidades. Un hueco de almacén puede ser ocupado por un único producto, así como una máquina puede fabricar un único ensamblaje a la vez. Un producto individual únicamente puede tener un lugar en el almacén y una estación de ensamblaje (Relación Producto-Destino 1:M). Las estaciones de trabajo de pupitres solo admiten productos pupitres, del mismo modo en relación con las estaciones de los armarios eléctricos.

La carretilla solo puede realizar un movimiento simultáneamente. Si existe más de una solicitud de desplazamiento se ordenan en una lista y se realizan una a una por orden de antigüedad. Un producto no puede desplazarse sin estar acompañado con la carretilla de transporte, por lo que existen tiempos de espera entre la solicitud del transporte hasta su consecución.

6.2.4. Construcción de la Base de Datos del modelo (Database)

La etapa que procede sucede al desarrollo de la capa lógica, es la construcción de la Base de Datos. En esta capa se organizará y almacenará toda la información necesaria para, por un lado, el modelo funcione correctamente, y por otro, este represente fielmente la realidad del sistema físico modelado.

Definición de parámetros de entrada del modelo

La primera sección de datos a presentar serán los parámetros más significativos que se han incluido como entrada a la simulación. Se trata de una sección cuyo fin es parametrizar el funcionamiento del sistema. [7]

La mayoría de parámetros son importados desde una hoja Excel a SIMIO. En primer lugar, como ya se ha mencionado en este mismo apartado, se ha introducido el parámetro de tiempo de llegada (λ). Con él se consigue fijar el momento de llegada de cada producto al sistema.

El siguiente bloque de parámetros relevantes son los relacionados con el producto. Estos parámetros están destinados a definir las características de cada producto que entre a la planta y distinguirlo del resto. Los parámetros introducidos son los mostrados en la tabla 6.2.

Parámetros intrínsecos de cada producto.	
Nombre	Descripción
Código ID	Identifica cada producto del sistema y lo hace único. Se construye con el tipo de producto y el orden de entrada de este producto respecto al contador propio del tipo de productos.

Continúa en la siguiente página

Tipo de producto	Identifica el tipo de producto. Se trata de un parámetro entero que marca con un 1 los pupitres y con un 2 los armarios.
Operaciones a realizar	Se trata de un parámetro vectorial binario y su tamaño representa el número de operaciones de ensamblaje que se realiza en el taller. Representa con un 1 las operaciones que son necesarias para este producto en concreto y con un 0 las que no lo son.

Tabla 6.2: Parámetros relacionados con cada producto a fabricar. Fuente: Elaboración propia.

En relación con el taller y el almacén, se establecen otro bloque de parámetros que definen físicamente el modelo así como las operaciones. En la tabla 6.3 se recogen estos parámetros correspondientes con el taller eléctrico y el almacén externo.

Parámetros relacionados con el taller eléctrico y el almacén.	
Nombre	Descripción
Número de máquinas	Se definen el número de estaciones de ensamblajes de pupitres y armarios. Este parámetro no se importa desde Excel, sino que se introduce gráficamente en el modelo mediante una serie de nodos. En la situación actual son cuatro estaciones para pupitres y tres para armarios eléctricos.
Tiempo de operación	Nuevamente desde una hoja Excel se introducen los tiempos de cada una de las operaciones. Este parámetro se introduce en minutos y concierne tanto a las operaciones de armarios como pupitres.
Capacidad del almacén	Se define un número de huecos de suelo donde se localizarán los productos. No tienen por qué estar organizados puesto que en el sistema físico no lo están. Se definen de forma similar a las estaciones de trabajo, mediante nodos en la simulación.
Tiempo de Check in	Se define mediante un valor numérico en minutos el tiempo necesario para realizar el check in a la entrada del almacén.

Tabla 6.3: Parámetros relacionados con el taller y su almacén. Fuente: Elaboración propia.

Al margen de lo mencionado se introduce una lista de todos los nodos relevantes del modelo para su posterior utilización en la programación. Este parámetro es de utilidad para fijar los

destinos de los diferentes transportes que se realicen. Relacionado con el transporte también se definen los parámetros mostrados en la tabla 6.4.

Parámetros intrínsecos del vehículo de manutención.	
Nombre	Descripción
Velocidad de carretilla	Se fija el valor de la velocidad de desplazamiento de la carretilla a través de la red de nodos del modelo.
Capacidad máxima de carga	Se fija el valor máximo de carga que puede transportar la carretilla.

Tabla 6.4: Parámetros relacionados con el vehículo de manutención. Fuente: Elaboración propia.

Definición de variables de control y de estado del modelo

Una vez descritos los parámetros se enunciarán las variables más significativas que se han introducido al modelo. Respetando el orden que se ha seguido en la exposición de los parámetros, se van a comentar las variables asociadas a cada producto. Cada producto desde que se crea y entra al sistema hasta que sale se le asocia las variables adjuntas en la tabla 6.5.

Variables intrínsecas de cada producto.	
Nombre	Descripción
Entrada al sistema	En cuanto el producto entra al sistema, se guarda la hora de entrada. Esta variable en horas será de utilidad para conocer en qué momento el producto llega a la planta y calcular posteriormente el Dock To Dock.
Dock to Dock	Representa el tiempo que permanece en el sistema cada producto. Mide en horas el tiempo desde que el producto llegue procedente del proveedor, hasta que se envía ya finalizado a cliente. Esta variable es interesante como variable de salida.
Operaciones realizadas	Variable intermedia cuya finalidad es comprobar que cada producto ha pasado por todas las operaciones que se precisan en él. La variable es un vector cuyo tamaño es el número de operaciones, y guarda las operaciones que se van realizando.
Almacén destino	Guarda el sitio del almacén asignado una vez llega al sistema.
Nodo destino	Esta variable es clave para el funcionamiento del modelo. Guarda el nodo de destino del producto. Una vez llega a destino permanece ahí hasta que el destino cambie o se genere una orden.

Tabla 6.5: Variables relacionadas con cada producto a fabricar. Fuente: Elaboración propia.

Respecto al almacén las variables a destacar son la capacidad del almacén y el contador de movimientos. Con la capacidad del almacén el modelo consigue tener la información de qué huecos están ocupados y cuáles libres. El contador de movimientos permite registrar los diferentes movimientos que se realizan tanto de entrada como de salida y sirve como apoyo para la programación.

De forma similar con la variable que guarda el estado del almacén en cuanto a capacidad, las estaciones de trabajo del taller eléctrico tienen una similar. Con esta variable se guarda el estado de cada una de las zonas de ensamblaje, aportando la información de si está ocupada o libre.

La carretilla, como se ha comentado, es la responsable del transporte. Las variables más destacables relacionadas con el transporte y el vehículo de manutención son las expuestas en la tabla 6.6.

Variables relacionadas con el transporte.	
Nombre	Descripción
Nodo de destino	De forma similar a los productos, la lógica de transporte de la carretilla se basa en desplazarse hasta el nodo que tiene marcado como destino. Una vez llega a su destino, realiza la acción que sea pertinente como puede ser una carga o descarga. Posteriormente este destino se sobrescribe para asignar un nuevo trabajo a la carretilla.
Estado de la carretilla	Esta variable binaria representa si la carretilla está ocupada (0) o está libre (1).
Lista de destinos	Vector de gran tamaño. Este vector inicializado en "False", guarda cada uno de los destinos donde la carretilla es requerida. Por tanto representa una lista de órdenes de movimientos que la carretilla deberá satisfacer uno a uno hasta que no haya más órdenes.
Confirmación de necesidad	Esta variable está estrechamente relacionada con la lista de destinos. La variable se utiliza para comprobar si existe una necesidad a satisfacer por la carretilla. Es por tanto una variable "True/False". Si existe un destino por satisfacer en la lista, esta variable estará en "True" y la carretilla cuando esté disponible lo llevará a cabo. Por el contrario si está en "False", la carretilla permanecerá en espera.
Contador de movimientos	Se utiliza para conocer los movimientos que la carretilla está realizando.

Tabla 6.6: Variables relacionadas con el transporte de productos . Fuente: Elaboración propia.

Como variables generales del modelo destaca el contador de productos entrantes y salientes al sistema. El contador de productos correctamente producidos, en contraposición del contador de productos "Scrap" considerados como de no calidad. El número de productos en sistema es útil para ser consciente de los productos que están en el almacén y taller.

6.2.5. Diseño de la capa visual (Visual Reality)

La última capa por desarrollar es la más externa a la simulación. El modelo está completo hasta este punto, sin embargo, es necesario crear una herramienta que permita facilitar la visualización y el análisis al usuario final de la simulación.

Desarrollo de la estética visual del modelo

En primer lugar se adapta la **estética** de la simulación. Se transforman los elementos físicos de la simulación adaptando su forma a una que se asemeje a la realidad. Ejemplo de ello es el vehículo de mantenimiento que pasa de no tener un aspecto externo fijado, a adoptar el de una carretilla estándar. De forma similar se modifica el almacén para que los puntos de almacenamiento sean pallets, a la vez que en la entrada se coloca una mesa simulando el aspecto del "Check in" de entrada. Finalmente se transforma el taller, dotando de relieve a las estaciones de ensamblaje y coloreando los pasillos por los que discurre el vehículo de transporte.

Respecto a los productos, se diseñan en Sketch up su aspecto externo y se importan al programa tanto el diseño para los pupitres como para los armarios eléctricos.

Desarrollo de la herramienta que permita analizar la simulación

Tras modificar el aspecto del modelo, se centra la atención en facilitar el **análisis y comprensión del funcionamiento** del sistema. Para ello hay que seleccionar las variables que se desean extraer y exponer para su visualización y posteriormente, crear un formato en el que el usuario sea capaz de analizar y comprender el funcionamiento del modelo.

A la hora de obtener los resultados de la simulación, inicialmente se toma la decisión de su volcado a Excel para facilitar el tratamiento de ellos. Por tanto, es necesario a parte de recopilar la información que se desea, transferirla a un archivo del formato mencionado.

Para esta transferencia de información se utiliza un proceso que se encuentra en el software SIMIO preestablecido: El bloque "Write Excel". Mediante este comando se escribe en el libro Excel que se requiera durante la ejecución de la simulación. En lugar de volcar la información una vez finalice la simulación de una vez, se introduce en la propia ejecución interna del programa. Los bloques necesarios para registrar "en tiempo real" cada resultado se incluyen junto a la programación de la simulación, de modo que el archivo de salida se rellena paulatinamente.

El archivo de salida no se utiliza para tratar los datos que contiene. Este archivo constituye una base de datos que será volcada y utilizada desde otro libro para facilitar su utilización y manejo. Se utilizarán las características de Excel llamadas Power Pivot, Power Query y Power View. Con esta tecnología de modelado de Excel se puede conectar y modificar los datos de origen, establecer relaciones y cálculos de diferente complejidad y crear gráficos interactivos y otros elementos visuales que permiten dinamizar los datos. En la figura 6.7 se ilustra el diagrama de relación que se establece en el archivo Excel de tratamiento de datos, conectando los diferentes grupos de datos.

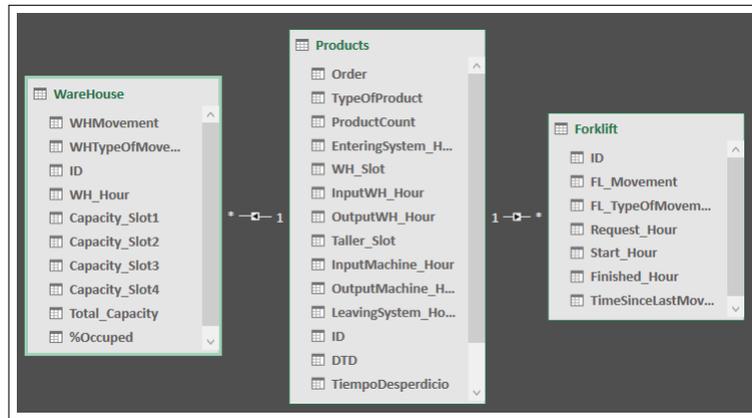


Figura 6.7: Diagrama relacional de la base de datos utilizada. Fuente: Elaboración propia.

Respecto la figura 6.7 se observa cómo por un lado, se registran los movimientos en el almacén conociendo el producto que se está transportando y la situación del almacén tras este movimiento en cuanto a capacidad. Por otro lado se recogen los movimientos de la carretilla, registrando el producto que lleva, el nodo de destino, y las horas de los eventos más significativos: Hora a la que se le requiere un servicio, inicio del servicio, y hora de finalización del servicio.

Ambos conjuntos de movimientos están conectados mediante el ID del producto. De cada producto se registran todas las entradas y salidas en el sistema: Del almacén, de las máquinas del taller, y del propio sistema. Además se guarda el almacén en el que se guarda, junto con la estación de trabajo en la que se llevan a cabo las operaciones de ensamblaje.

Con todo ello, se pueden construir las tablas y gráficas que permitan visualizar y analizar los resultados de la simulación. En la figura 6.8 se muestra cómo se puede representar para su análisis un ejemplo de resultado.



Figura 6.8: Panel gráfico para análisis de resultados. Fuente: Elaboración propia.

6.3. Validación del modelo

Se ha presentado la estructura de la programación de la simulación y cómo se van a extraer y tratar los datos. A continuación se realizará el análisis de sensibilidad del modelo construido.

6.3.1. Planificación del análisis de sensibilidad

En primer lugar se ha de exponer la motivación de este apartado, junto con su planificación y estructura. La verificación de un modelo trata de determinar si el modelo conceptual, del que inicialmente se partía, fue correctamente traducido en SIMIO. Se ha de corroborar que las especificaciones e hipótesis realizadas, se cumplen en la simulación.

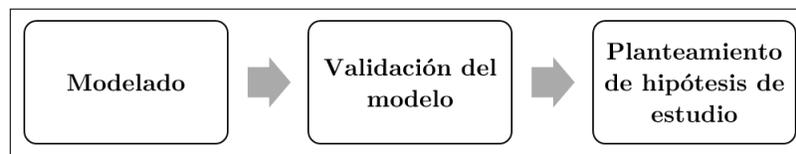


Figura 6.9: Etapas a realizar con el modelo. Fuente: Elaboración propia.

Con la validación se pretende determinar la precisión con la que el modelo representa el sistema físico real. Antes de plantear hipótesis y estudios sobre el modelo, se ha de comprobar que se comporta como corresponde. Con este fin, se plantearán dos tipos de análisis: Un análisis modular y uno general.

Con el análisis modular se aísla una sección de la simulación, con el objetivo de facilitar su análisis reduciendo la complejidad del modelo. Se desarrollará un análisis para estudiar el comportamiento del almacén, y otro en las estaciones de trabajo del taller eléctrico. Seguidamente, tras comprobar que el comportamiento es el adecuado se procederá al análisis general, donde se comprobará:

1. Tiempos: Los tiempos se corresponden con los medidos en la realidad.
2. Producción y continuidad: Se fabrica todo producto que se introduce al modelo. Comprobando diferentes tiempos de simulación.
3. Sensibilidad ante la demanda: Un aumento de la demanda ha de generar un mayor uso de almacén y máquinas y viceversa.
4. Sensibilidad ante cambios físicos en el sistema: Eliminar una máquina ha de provocar que el nivel de utilización del resto aumente. Eliminar un hueco en el almacén provoca que la saturación de este aumente considerablemente.

6.3.2. Análisis modular del almacén

En la figura 6.10 se muestra una captura del almacén modelado en simio durante la simulación. Sobre este modelo se realizará un análisis de su funcionamiento fundamental.

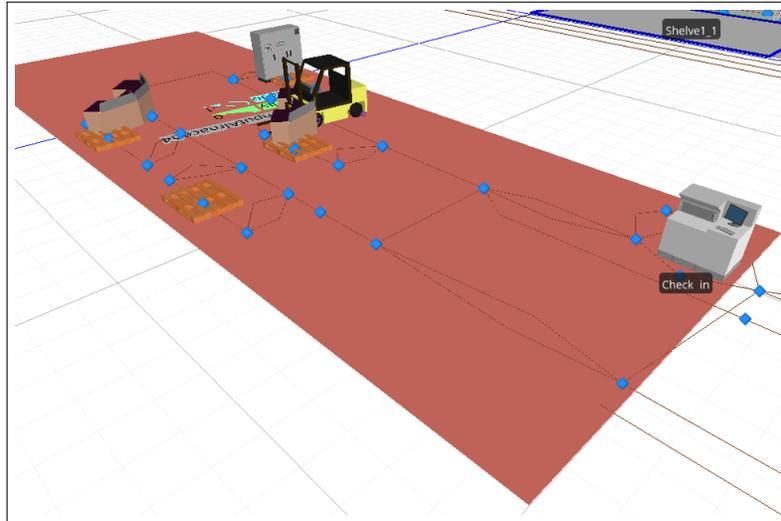


Figura 6.10: Perspectiva del almacén modelado. Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis fundamental del almacén se realizarán tres simulaciones. Cada una tendrá una duración de 15, 30 y 60 días laborables respectivamente, lo que correspondería con 120, 240 y 480 horas de simulación para cada experimento. Con estos tres experimentos se comprobarán las siguientes especificaciones:

1. Cada producto ha de ocupar un único sitio en el almacén.
2. Las entradas y las salidas del almacén han de tener el mismo número, si el almacén queda vacío. Este número corresponderá con los productos entrantes al sistema.
3. La ocupación de los huecos del almacén ha de ser aleatoria, tal y como se realiza en la realidad. Por tanto el uso de cada hueco debería de ser similar.
4. El tiempo de permanencia del almacén ha de rondar un mismo valor. En el almacén físico ronda el día de permanencia.

Como primer análisis se comprueba si en los experimentos, los productos que entran al sistema, son registrados como entradas en el almacén. Y posteriormente tras su permanencia en él se registrará su salida. En la figura 6.11 se ilustran los resultados de los tres experimentos.

Capítulo 6. Construcción de la simulación y validación del modelo

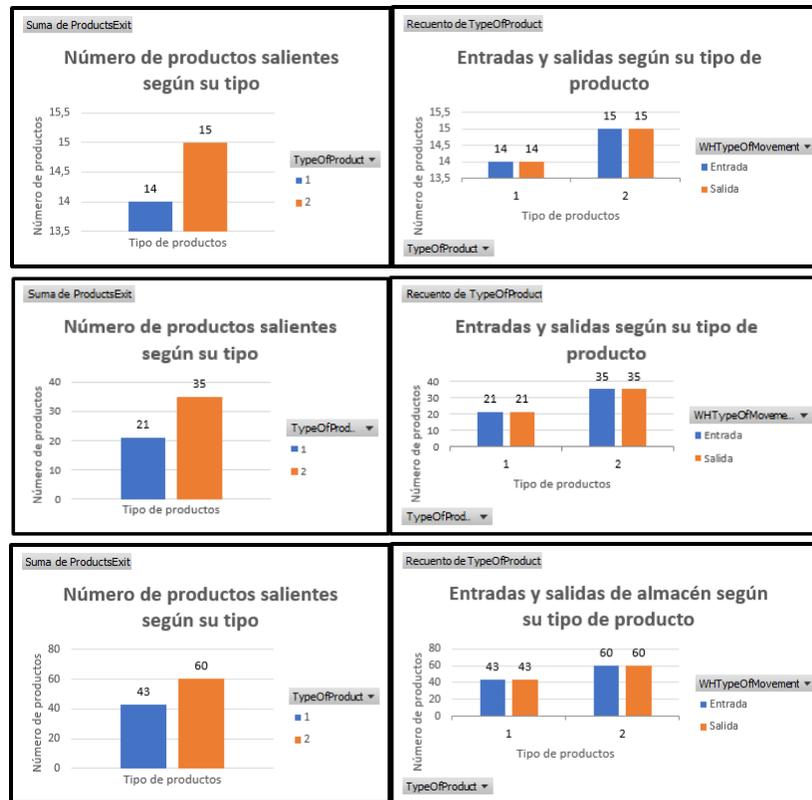


Figura 6.11: Comparación del número de entradas y salidas al almacén respecto a los productos que entran a sistema en los experimentos de 120, 240 y 480 horas. Fuente: Elaboración propia.

En cada uno de los resultados se puede observar, cómo las variables que registran la entrada y salida de los productos del almacén, mantienen el mismo valor. Además si lo comparas con el número de productos que entran a sistema, se confirma que todo producto entrante, pasa por el almacén y sale posteriormente de él. Con esto se deduce que el modelo del almacén conserva la continuidad respecto a los productos sin errores. A continuación, en la figura 6.12 se comprobará la distribución de los productos en el almacén.

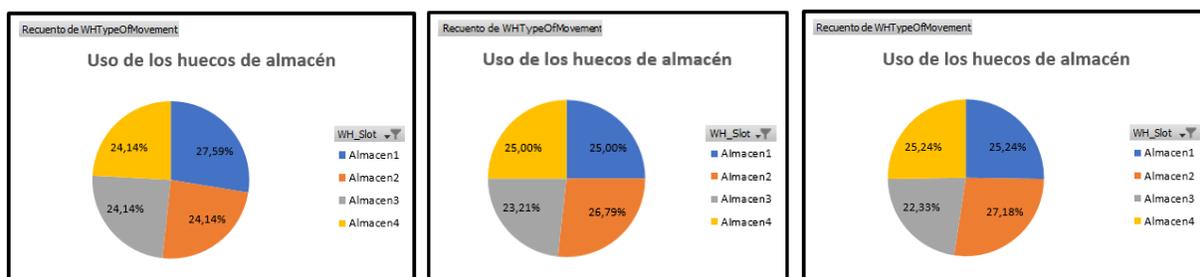


Figura 6.12: Comparación de la ocupación de los huecos disponibles en almacén en los experimentos de 120, 240 y 480 horas. Fuente: Elaboración propia.

La distribución de las referencias en la realidad se realiza de forma aleatoria. Cuando llega un material, se coloca en el hueco que esté disponible y en el caso de que exista más de uno, la

selección es aleatoria.. Por todo ello, el modelo ha de comportarse de forma similar, y ocupar de forma aleatoria cada uno de los huecos disponibles. Observando los resultados de los tres experimentos, la ocupación de cada uno de los huecos es uniforme. Existen desviaciones propias de una distribución aleatoria, pero a grandes rasgos, cada espacio es utilizado al mismo nivel que el resto.

Para finalizar el análisis modular al almacén, se ha de comprobar que el tiempo que cada producto permanece en él se aproxima a un día laboral. Con este fin, se recopila en la tabla 6.7 los resultados de las simulaciones.

Tiempo de simulación: 120 horas	
Promedio (Horas)	Desviación estándar (Horas)
8,062	0,045
Tiempo de simulación: 240 horas	
Promedio (Horas)	Desviación estándar (Horas)
8,136	0,575
Tiempo de simulación: 480 horas	
Promedio (Horas)	Desviación estándar (Horas)
8,098	0,425

Tabla 6.7: Tiempo transcurrido en almacén de los productos en los experimentos de 120, 240 y 480 horas. Fuente: Elaboración propia.

En un día laboral, el taller eléctrico trabaja durante 8 horas. Con los resultados de la tabla 6.7, se observa que el modelo representa la realidad respecto al tiempo de permanencia en almacén de los productos. Con esta validación se finaliza el análisis centrado en el almacén. A continuación se desarrollará de forma similar, el análisis modular del ensamblaje en las estaciones de trabajo del taller.

6.3.3. Análisis modular del ensamblaje de armarios y pupitres

Tras el análisis del almacén, se realizará un estudio similar en la zona de ensamblaje de los pupitres y armarios eléctricos. Esta zona se encuentra físicamente en el taller eléctrico y con este análisis, se verificará que el modelo representa el sistema físico fielmente. En la figura 6.13 se observa una captura del taller y la zona de ensamblaje.

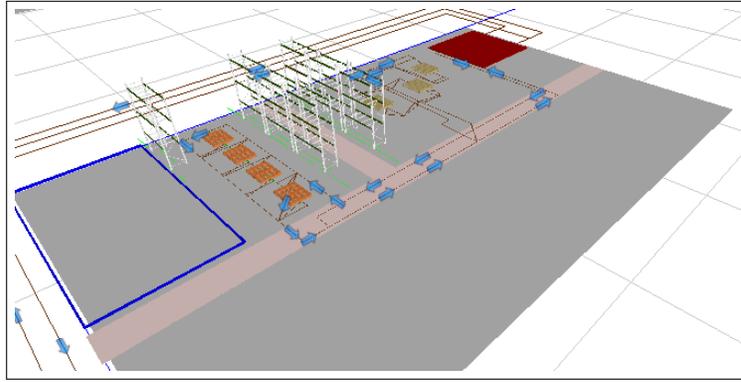


Figura 6.13: Perspectiva del taller eléctrico modelado. Fuente: Elaboración propia.

De forma similar con el análisis del almacén, en primer lugar se estudiará si todo producto entrante a sistema, entra a una estación de ensamblaje y posteriormente sale de ella. Para ello, se compararán nuevamente tres experimentos con los tiempos de simulación 120, 240 y 480 horas. En la figura 6.14 se muestran los productos entrantes al sistema junto con los que entran y salen de las estaciones de trabajo.

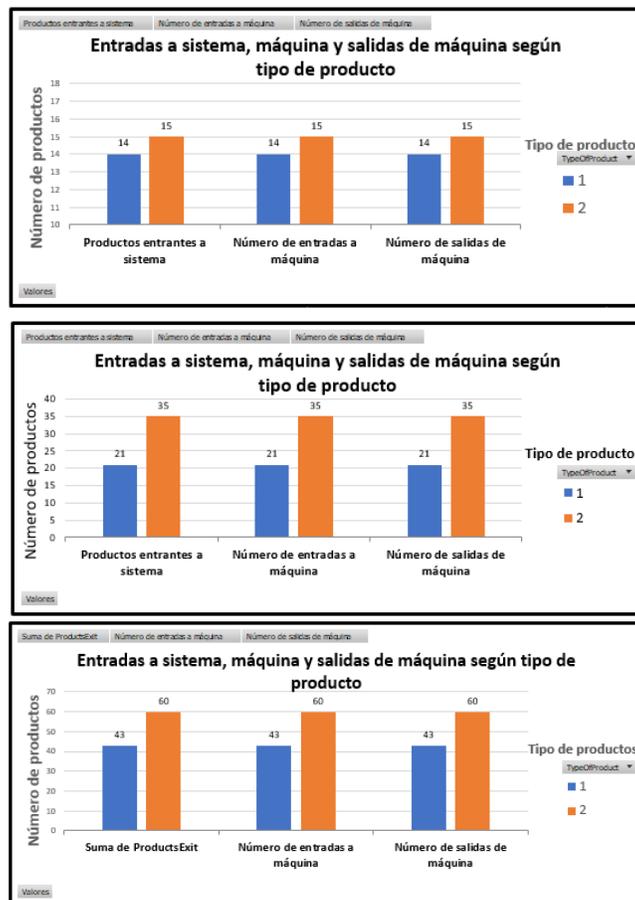


Figura 6.14: Comparación del número de entradas y salidas a las estaciones de trabajo respecto a los productos que entran a sistema en los experimentos de 120, 240 y 480 horas. Fuente: Elaboración propia.

Con este experimento se confirma la continuidad del modelo de las estaciones de trabajo. En ningún momento se ha de eliminar o perder un producto, en el caso de que un producto sea defectuoso permanecerá en la planta hasta finalizar su retrabajo.

Seguidamente se va a comprobar que el uso de cada una de las estaciones de trabajo es el adecuado. Inicialmente, se establece como estrategia de fabricación una fabricación FIFO con las estaciones de trabajo disponibles. Cuando la carga de trabajo sea baja, únicamente trabaja la primera o segunda estación, mientras que cuando aumente la demanda, se incorporarán el resto de estaciones. El comportamiento esperado en el modelo ha de corresponder con esta hipótesis, a un nivel de demanda que no sature el sistema, ha de tener una gran carga de trabajo en las primeras estaciones y menos en las últimas. En la figura 6.15 se recoge el grado de utilización de cada una de las estaciones.

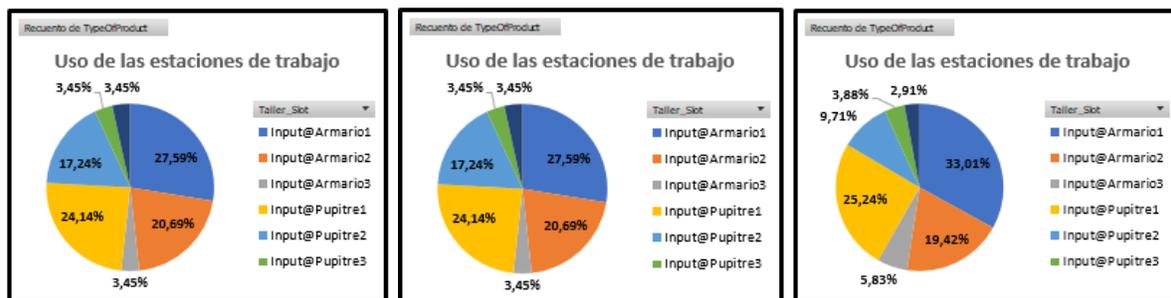


Figura 6.15: Utilización de las estaciones de trabajo en los experimentos de tiempo de simulación 120h(izquierda), 240h(centro) y 480h(derecha). Fuente: Elaboración propia.

Tal y como se planteaba inicialmente, se comprueba que las primeras estaciones de ensamblaje, tanto de armarios como de pupitres, predominan en la carga de trabajo. Las estaciones finales únicamente han sido utilizadas en caso de picos de demanda, por ello su relevancia es mucho menor. El modelo se comporta tal y como se pretendía.

Para finalizar el análisis de las estaciones de ensamblaje, y de forma similar al realizado con el almacén, se procede a comprobar el tiempo de ensamblaje de cada estación. En la tabla 6.8 se recoge la media y la desviación estándar del tiempo de ensamblaje en los tres ensayos realizados. Los resultados de cada experimento (120h, 240h y 480h) se representan en función del tipo de producto que se fabrica: Pupitres o Armarios.

Tiempo de simulación: 120 horas		
Ensamblaje	Promedio (Horas)	Desviación estándar (Horas)
Pupitres	6,256	0,198
Armarios	6,864	4,166
Tiempo de simulación: 240 horas		

Continúa en la siguiente página

Ensamblaje	Promedio (Horas)	Desviación estándar (Horas)
Pupitres	6,222	0,192
Armarios	7,578	5,123
Tiempo de simulación: 480 horas		
Ensamblaje	Promedio (Horas)	Desviación estándar (Horas)
Pupitres	8,530	8,371
Armarios	7,142	4,483

Tabla 6.8: Tiempo transcurrido en las estaciones de ensamblaje de los productos en los experimentos de 120, 240 y 480 horas. Fuente: Elaboración propia.

De estos resultados se observa una media similar entre los tres ensayos, esta media se asemeja a los tiempos recogidos empíricamente en el VSM AS-IS. Cabe destacar las grandes desviaciones en la desviación estándar, estas desviaciones se deben a los retrabajos de algunos ensamblajes. Recordando el capítulo cuarto de esta memoria, cuando es necesario el reproceso de algún ensamblaje se precisa uno o varios días para finalizar el montaje. Si este retrabajo se da en varias ocasiones, puede afectar incluso al tiempo promedio, como se observa en el ensayo de 480 horas en las estaciones de ensamblaje de pupitres. Con todo ello, se puede afirmar que el modelo representa el comportamiento físico del taller eléctrico lo suficiente como para validar este módulo.

6.3.4. Análisis general del modelo

Una vez aislados los subsistemas de almacén y taller eléctrico, es necesario estudiar el modelo al completo. Tras el análisis modular, se procede a validar el modelo final a partir de las siguientes hipótesis:

1. Dock to Dock: El tiempo que permanece en sistema cada producto, desde que entra a la planta hasta que sale como producto acabado, ha de corresponder con el medido en el sistema físico.
2. Continuidad: La suma de los productos entrantes a sistema, ha de ser igual a la de los productos acabados salientes. No ha de haber productos desechados o "scrap", sino que serán siempre retrabajados.
3. Reacción ante la variación de demanda: Un aumento de la demanda, implica un aumento en la utilización del almacén, así como un aumento en la carga de trabajo de las estaciones de ensamblaje. El modelo ha de ser capaz de reproducir este comportamiento.
4. Reacción ante la variación del número de estaciones de ensamblaje: Cuando una estación de trabajo se elimina, el resto ha de absorber su carga de trabajo. El modelo ha de reflejar un funcionamiento similar.

5. Reacción ante la variación del número de huecos de almacén disponibles: Si el número de espacios en almacén se incrementa, el nivel de ocupación del almacén modelado debe reducirse .y viceversa.

■ **Dock to Dock y continuidad en el modelo**

Para realizar este análisis, y para respetar la estructura que se va siguiendo en análisis anteriores, se realizarán tres simulaciones nuevamente de 120, 240 y 480 horas. En primer lugar se ha de comprobar que el Dock to Dock de cada producto se asemeja al medido en la realidad. Para facilitar la visualización de los resultados de los experimentos, se realiza un análisis de cajas y bigotes. En este análisis representa la mediana acotada por los bigotes superior e inferior correspondientes con los percentiles 100 y 0. En la figura 6.16 se recogen los resultados de los tres experimentos.

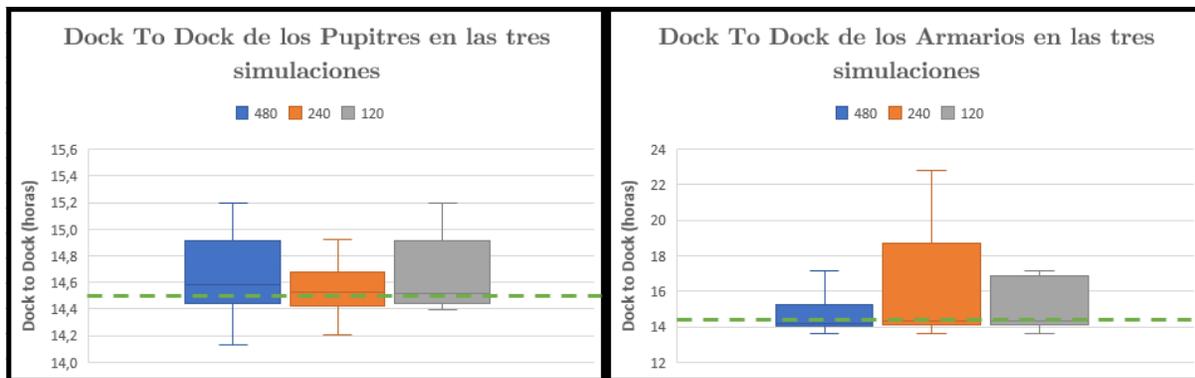


Figura 6.16: Gráfico de cajas y bigotes del Dock to Dock según los productos en los experimentos realizados. Fuente: Elaboración propia.

A ambos gráficos se le ha añadido en color verde una línea que marca el valor experimental que se ha medido en la planta. Para facilitar el análisis y la visualización se han ocultado los datos atípicos, estos son los correspondientes con los productos retrabajados. De este modo, se pueden visualizar mejor las cajas y los bigotes de cada experimento.

Analizando los resultados se observa en primera instancia que los datos medidos se encuentran en el interior de las cajas, por lo que la validez de estos datos se refuerza. Destacar que los datos atípicos provocan que las medias se eleven demasiado, por lo que en vez de describir el conjunto de datos con las medias, resulta más representativo observar las medianas. En las tres simulaciones las medianas se asemejan claramente, y los el tamaño de los bigotes es también similar. Con esto se puede concluir que el modelo sigue siendo válido como representación del sistema físico y se puede continuar con el análisis.

El siguiente paso es comprobar la continuidad del modelo. Todo producto entrante al sistema ha de salir como producto terminado. Si existe una desigualdad entre productos entrantes y salientes solo cabe la posibilidad que estén en ese momento en la planta, o bien en el almacén o bien en la estación de ensamblaje. Por tanto, en los tres experimentos realizados

se comprobará que esta hipótesis se cumple en el modelo completo, de la misma forma que se ha cumplido en los análisis modulares. En la figura 6.17 se reúnen los resultados de los tres experimentos. Se representa las entradas y salidas del sistema según el tipo de producto a fabricar.

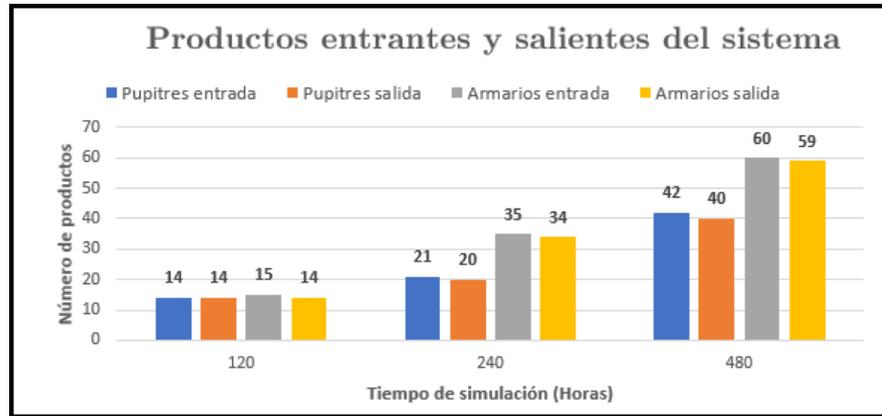


Figura 6.17: Comparación del número de entradas y salidas al modelo según el tipo de producto a fabricar en los experimentos realizados. Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados obtenidos se corrobora que se cumple la continuidad en el modelo. Existen únicamente unas desviaciones mínimas entre la entrada y la salida de los productos. Como se ha mencionado anteriormente, esto se debe a que los productos en el momento que finaliza la simulación, se encuentran aún en sistema.

Llegado a este punto únicamente quedaría comprobar el comportamiento del modelo ante variaciones en la demanda, variaciones en el tamaño del almacén y cambios en el número de estaciones de ensamblaje.

■ Análisis de la influencia de la demanda en el modelo

A continuación se va a estudiar la reacción del modelo respecto a los cambios en la demanda. Para representar el sistema físico de forma correcta, el modelo ha de ser sensible a cualquier cambio en la demanda. Si el aumento de la demanda es significativo, ha de derivar en un incremento en la utilización de cada estación de trabajo y un nivel de ocupación del almacén mayor.

Para realizar este análisis se plantean tres ensayos. Todos los ensayos tienen un tiempo de simulación de 480 horas. Se escoge un tiempo de simulación amplio para poder observar el comportamiento del modelo de la forma más estacionaria. El primer ensayo parte de la demanda estándar que se plantea en el VSM AS-IS y se explica en el apartado 6.2.3. Para que la demanda provoque un importante cambio se escogen los siguientes dos ensayos: Doblar la demanda y dividir la demanda a la mitad. En la tabla 6.9 se recoge un resumen de los ensayos realizados.

Tiempo de simulación: 480 horas	
Número de ensayo	Nivel de demanda
Ensayo 1	Estándar
Ensayo 2	Bajo (Mitad de la estándar)
Ensayo 3	Alto (Doble de la estándar)

Tabla 6.9: Batería de ensayos para el análisis de sensibilidad a la demanda. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 6.18 se ilustra el nivel de ocupación del almacén, durante las 480 horas de simulación en los tres ensayos realizados. Se recogen las tres gráficas circulares para que permitan visualizar rápidamente las diferencias más importantes a resaltar.



Figura 6.18: Nivel de ocupación del almacén en los ensayos de baja demanda (izquierda), demanda estándar (centro) y alta demanda (derecha). Fuente: Elaboración propia.

En el ensayo de baja demanda, el almacén está al 25 % o menos, durante más del 70 % del tiempo. Al contrario que cuando la demanda se duplica, el almacén se satura de forma muy significativa, manteniendo un 100 % de ocupación durante el 65 % del tiempo de simulación. Todo ello demuestra que el modelo responde ante los cambios en la demanda y la llegada de más materia prima, por tanto, queda validado el comportamiento que se deseaba reproducir. Seguidamente se va a representar el grado de utilización de las estaciones de ensamblaje. Cabe recordar que las estaciones en estas simulaciones trabajan según la demanda, si existe materia prima para fabricar, las estaciones comienzan el ensamblaje desde la primera hasta la última. Es de esperar que las primeras estaciones de cada conjunto, sean las que mayor grado de utilización tengan. La figura 6.19 engloba los resultados de los tres ensayos respecto al nivel de utilización de cada estación de ensamblaje. Se puede observar el porcentaje del tiempo en el que permanecen ensamblando respecto al tiempo de simulación, en los tres ensayos realizados.

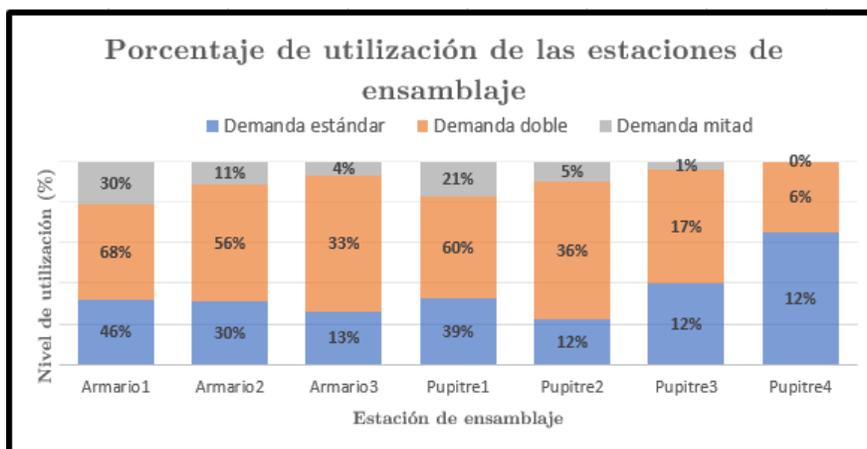


Figura 6.19: Grado de utilización de las estaciones de ensamblaje en los tres ensayos variando la demanda realizados. Fuente: Elaboración propia.

La batería de ensayos ha mostrado el comportamiento que se pretendía conseguir. Ante un aumento muy importante en la demanda (el doble de la habitual), las estaciones de trabajo responden con un significativo incremento en el número de horas trabajadas. El caso opuesto se da cuando se reduce drásticamente la demanda a la mitad, donde se observa que las últimas estaciones no son utilizadas salvo excepciones. En el capítulo posterior se profundizará en el análisis de la influencia de la demanda en el sistema. En este análisis es suficiente saber que el modelo responde a los cambios en la demanda tal y como se desea para ser validado.

■ **Comportamiento del modelo ante la variación del número de estaciones de trabajo y huecos de almacén**

Para finalizar el análisis del modelo se va a analizar la reacción del modelo ante la variación del número de estaciones de trabajo y un cambio en el número de huecos de inventario en el almacén externo. Para abordar este análisis se propone la siguiente batería de experimentos recogida en la tabla 6.10.

Tiempo de simulación: 480 horas	
Número de ensayo	Condiciones del ensayo
Ensayo 1	Estándar: 7 estaciones de ensamblaje y 4 huecos en el almacén
Ensayo 2	Variación de huecos de almacén: 3 huecos
Ensayo 3	Variación de estaciones de ensamblaje: 5 estaciones

Tabla 6.10: Batería de ensayos para el análisis de sensibilidad ante cambios de huecos de almacén y número de estaciones de trabajo. Fuente: Elaboración propia.

En primer lugar se estudiará el comportamiento del modelo ante la variación de los huecos en el almacén. En la figura 6.20 se ilustra el nivel de inventario durante las simulaciones en condiciones estándar y en con un hueco menos (Ensayo 1 y 2 de la tabla 6.10).

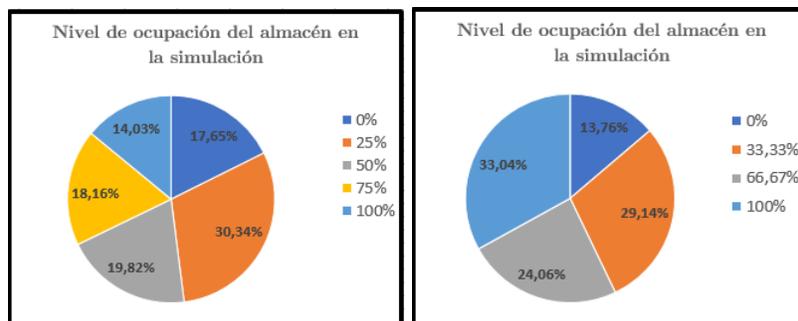


Figura 6.20: Nivel de ocupación del almacén en los ensayos de huecos de almacén estándar (Izquierda) y un hueco de almacén menos (derecha). Fuente: Elaboración propia.

Observando los resultados, se observa que durante más de la mitad de la simulación, el almacén con un hueco menos permanece por encima del 50 % de ocupación. A grandes rasgos, el nivel de inventario aumenta al reducir el número de huecos, esto corresponde con lo que se deseaba comprobar inicialmente. Para simplificar el análisis, se calcula el nivel de inventario promedio durante toda la simulación de ambos ensayos. En la tabla 6.11 se muestran los resultados.

Número de huecos de almacén	Nivel de inventario medio (%)
4 huecos (Estándar)	45,14 %
3 huecos	58,79 %

Tabla 6.11: Nivel de inventario medio en los ensayos realizados. Fuente: Elaboración propia.

Este resultado refuerza el análisis del anterior párrafo. El modelo reacciona adecuadamente ante la situación propuesta y el nivel de inventario aumenta significativamente respecto al ensayo estándar.

Tras analizar la reacción ante un cambio físico en el almacén, se centra el foco de atención en el estudio de la variación del número de estaciones de ensamblaje. Se va a comprobar si al reducir una estación de ensamblaje de cada tipo de producto, repercute en que el resto de estaciones aumenten su carga de trabajo. En la figura 6.21 se muestra una gráfica que representa el nivel de utilización de cada una de las estaciones de ensamblaje en el ensayo en condiciones estándar y en el que se reducen el número de estaciones (Ensayos 1 y 3 de la tabla 6.10)

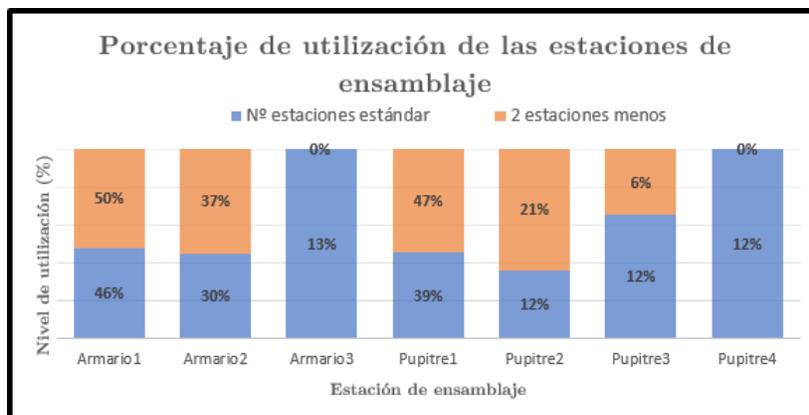


Figura 6.21: Grado de utilización de las estaciones de ensamble en los ensayos variando el número de estaciones. Fuente: Elaboración propia.

Las estaciones eliminadas quedan libres de toda carga de trabajo. Esta carga se reparte en el resto de estaciones, por lo que su utilización aumenta considerablemente. Se puede observar un resultado que a priori aparenta ser atípico, el correspondiente con la estación "Pupitre3". A pesar de reducir el número de estaciones, disminuye su carga. Su producción es absorbida por las otras dos estaciones y se puede encontrar influenciado por la saturación del inventario, o la aleatoriedad de la llegada de los productos. Al margen de esto, el modelo responde tal y como se pretendía, por lo que se considera apto para su validación.

6.4. Conclusión

La motivación de este capítulo surge con la propuesta de alternativas de solución del capítulo anterior, a los problemas encontrados en la planta. Se llega a la conclusión de que elaborar un modelo de simulación es la mejor alternativa para estudiar el comportamiento del taller eléctrico y plantear diferentes investigaciones sobre él.

Para crear esta herramienta, se ha planificado su construcción desde el inicio del capítulo a partir de la arquitectura de cuatro capas. No solo es importante construir un modelo robusto y de cierta complejidad, sino que ha de ser representativo. Para ello se ha realizado la validación del modelo elaborado. Mediante esta validación, se ha analizado de forma modular las partes más significativas del sistema para finalmente, realizar un análisis de sensibilidad al modelo completo. De este análisis se ha comprobado que la herramienta representa con el suficiente rigor, el comportamiento del sistema físico. Esto genera la confianza suficiente para poder desarrollar investigaciones sobre esta simulación y poder extrapolar los resultados a la planta real.

En el momento que se ha construido y validado el modelo, en el capítulo siguiente se plantearán y desarrollarán una serie de investigaciones a partir de él. Mediante estas investigaciones se buscará conocer mejor la planta, y conseguir mejoras en el sistema productivo a través de las conclusiones resultantes.

Capítulo 7

Diseño y desarrollo de investigaciones

7.1. Introducción

Ante los problemas detectados en el proceso de producción del taller eléctrico, se seleccionó entre las diferentes alternativas de solución, la construcción de un modelo de simulación. En el capítulo anterior se recoge el proceso de construcción del modelo, junto al análisis para la validación y verificación de él.

Este capítulo parte de un modelo construido y validado. En base a esta herramienta, el objetivo es estudiar el comportamiento de la planta ante una serie de experimentos o hipótesis, cuyo fin es mejorar el sistema productivo del taller eléctrico.

Para comenzar, el primer apartado consistirá en proponer las diferentes investigaciones que se pretenden realizar. Una vez propuestas, se abordará cada caso de estudio de forma similar hasta completar todas las investigaciones. Se justificará cada estudio, se analizarán los resultados y finalmente se expondrán las conclusiones más relevantes que se extraerán de cada uno.

7.2. Propuesta de hipótesis de estudio

En el presente apartado se van a exponer cada uno de los estudios que se van a desarrollar en el capítulo. Se describirá la metodología a seguir para cada una de estas propuestas, y posteriormente los enunciados de los estudios a realizar.

En primer lugar se va a exponer la estructura que se va a seguir para cada uno de los estudios:

1. **Descripción del estudio:** Para comenzar se describirá la motivación del estudio. Se expondrá qué se va a realizar junto a los objetivos que se pretenden conseguir. Para el estudio se realizará el diseño de experimentos destinado a demostrar la validez de las hipótesis de contraste planteadas. Se expondrá la batería de experimentos propuesta base a los diferentes factores en análisis y sus respectivos niveles.
2. **Análisis de los resultados:** Una vez realizada la batería de experimentos, se procede a su

análisis. Este análisis servirá para obtener las conclusiones más relevantes que derivan de los ensayos, y convertir los datos obtenidos en información útil.

3. **Conclusiones:** Una vez procesada y analizada la información, se resumirán las conclusiones principales que resultan de cada estudio. Se comprobará si se han alcanzado los objetivos previos establecidos y se expondrán los riesgos y recomendaciones que se extraen de cada estudio.

Una vez presentada la metodología, se procede a enunciar los estudios que se van a abordar en el presente capítulo. Con ellos se pretende no solo ahondar en el estudio de la planta actual y su alcance, sino también proponer hipótesis y escenarios alternativos para conseguir mejorar el sistema productivo del taller eléctrico. Los estudios a desarrollar se listan a continuación.

1. **Capacidad real de la planta y comportamiento ante escenarios futuros:** Con este estudio se persigue conocer la capacidad productiva del taller eléctrico. También se analizará su desempeño ante posibles cambios en la demanda.
2. **Fabricación en lotes frente a fabricación por flujo continuo:** Mediante esta investigación, se busca establecer el sistema de producción mediante la comparativa entre la fabricación en lotes y la fabricación por flujo continuo.
3. **Redistribución del almacén:** Se pretende analizar si un cambio en la redistribución del almacén permite reducir tiempos de manutención y búsqueda de referencias, o conseguir más espacio útil en el almacén.
4. **Control de calidad a la entrada del almacén:** Estudiar el impacto de introducir un control de calidad a la entrada del almacén. Cuantificar las potenciales ventajas que este control aporta, y los posibles inconvenientes que derivan de su implantación.

7.3. Estudio 1. Estudio de la capacidad real de la planta y comportamiento ante escenarios futuros.

7.3.1. Descripción del estudio

El estudio de la capacidad de la planta constituye la primera investigación del capítulo. La justificación de la realización de este estudio, surge tras el planteamiento de problemas del capítulo cuarto de la presente memoria. Tras profundizar en la causa raíz de varios problemas como la gran anticipación de pedidos respecto a la fecha de entrega, o bien la modificación manual de la planificación de la producción, se observa que el problema radica en que se desconoce realmente la capacidad de producción del taller.

A partir de este hecho, surge la oportunidad de conocer mejor a través de la simulación la producción de la planta. Esta oportunidad se traduce en el desarrollo del primer estudio, cuyo objetivo es comprender la capacidad real de la planta. De esta investigación se pretende conse-

guir conocer el alcance del taller eléctrico en términos de capacidad de producción, y plazos de fabricación. Para ello se van a realizar una batería de experimentos, enfocados en obtener estos resultados.

La primera batería de ensayos se enuncia en la tabla 7.1. El primer paso es comprobar el comportamiento del taller ante la demanda actual, y para ello se elabora una batería de experimentos centrada en variar la forma en la que se presenta esta demanda. Manteniendo la demanda media anual, se estudiará cómo influyen en el modelo los diferentes patrones que puede adoptar la demanda. Todas las simulaciones serán de 700 horas, un periodo muy amplio (más de 80 días) para observar en régimen estacionario el modelo (para minimizar el impacto del "warm-up").

Batería de experimentos 1. Demanda anual actual	
Número de escenario	Condiciones del escenario
Escenario 1	Distribución exponencial. Representa la realidad actual de la planta, demanda irregular durante el periodo.
Escenario 2	Distribución uniforme. Representa una demanda distribuida regularmente durante todo el periodo.
Escenario 3	Distribución triangular. Representa una tendencia donde en ocasiones existen picos de demanda y posteriormente valles.

Tabla 7.1: Batería de experimentos para observar el comportamiento del modelo ante los cambios en la forma de la demanda. Fuente: Elaboración propia.

A partir de estos experimentos, se podrá extraer como resultado el Dock to Dock del taller eléctrico junto a su error estadístico. El objetivo no es dar un valor preciso, sino tener un margen que permita servir a la empresa conocer mejor la fabricación y así poder planificar ajustadamente a ella. También se podrá conocer el nivel de utilización de la planta y si es capaz de absorber o no las fluctuaciones en la demanda.

Tras analizar y presentar los resultados más significativos del primer bloque de experimentos, se someterá al sistema a diferentes escenarios propuestos. El objetivo es saturar la producción del modelo, para conocer el pico de demanda que este es capaz de satisfacer en las condiciones actuales. Se utilizará la demanda uniforme, puesto que se desea obtener el nivel a partir del cuál la planta no es capaz producir lo requerido. Con este tipo de demanda uniforme se consigue dar con el resultado de forma más sencilla y rápida. La metodología a utilizar se ilustra en la figura 7.1. Mediante incrementos continuos en la demanda, se localizará el nivel al que el taller no es capaz de satisfacer toda la producción y genera una cola de productos a su entrada. Esta cola representará una serie de pedidos sin fabricar que quedarán retrasados.

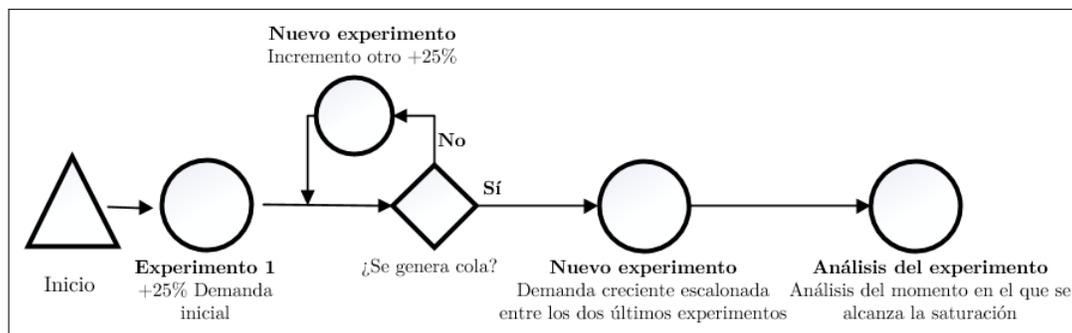


Figura 7.1: Diagrama de la metodología de experimentos a seguir en el estudio de la capacidad de producción máxima. Fuente: Elaboración propia.

Con esta segunda batería de experimentos (Batería de experimentos 2), se obtendrá la demanda máxima que el taller es capaz de absorber. Además, se analizarán los potenciales cuellos de botella del modelo que limitan su producción. Conocer el cuello de botella permite focalizar la atención sobre las limitaciones del sistema. Según Goldratt [5], identificar el cuello de botella es el primer paso de su teoría de las restricciones (TOC), destinada a una mejora continua de cada planta industrial. Identificar esta restricción permitirá explotarla y encontrar el modo de mejorar el desempeño del sistema en su conjunto, de forma global.

Finalmente se realizará una última batería de ensayos. Esta vez el objetivo de esta batería es analizar el comportamiento del modelo ante un escenario opuesto al anterior, donde la demanda caiga por debajo del nivel actual. Se analizarán las conclusiones más relevantes que se puedan extraer de este último grupo de experimentos. En la tabla 7.2 se recogen los experimentos a realizar.

Batería de experimentos 3. Reducción de la demanda.	
Número de escenario	Condiciones del escenario
Escenario 1	Distribución exponencial. Distribución aleatoria, nivel de demanda actual.
Escenario 2	Distribución exponencial. Reducción del 25 % de la demanda actual.
Escenario 3	Distribución exponencial. Reducción del 50 % de la demanda actual.

Tabla 7.2: Batería de experimentos para observar el comportamiento del modelo ante la reducción en la demanda. Fuente: Elaboración propia.

Con todo lo expuesto, se completa la presentación del estudio a realizar. En los siguientes apartados se realizará un análisis de los resultados y se extraerán las conclusiones más significativas.

7.3.2. Análisis de los resultados

Una vez se han lanzado y recopilado los experimentos planteados en el apartado anterior, en la siguiente etapa se realizará el análisis de los resultados de cada una de las baterías de ensayos.

Análisis de diferentes tendencias en la demanda media actual. Batería de ensayos 1.

El primer bloque de experimentos tiene el objetivo de conocer el comportamiento del sistema ante la demanda anual media actual. La diferencia entre los tres ensayos radica en la forma en la que esta demanda se presenta (aleatoria, uniforme, función triangular).

Los tres experimentos tienen un análisis común: La planta es perfectamente capaz de absorber la demanda sin problemas, fabricando en plazo (salvo desviaciones debido a retrabajos) todos los productos demandados. En la figura 7.2 se muestra una gráfica que representa el tiempo desde que entra al sistema cada producto, hasta que sale (Dock to Dock) para cada uno de los tres experimentos. Se marcan los máximos (en horas) obtenidos en cada simulación.

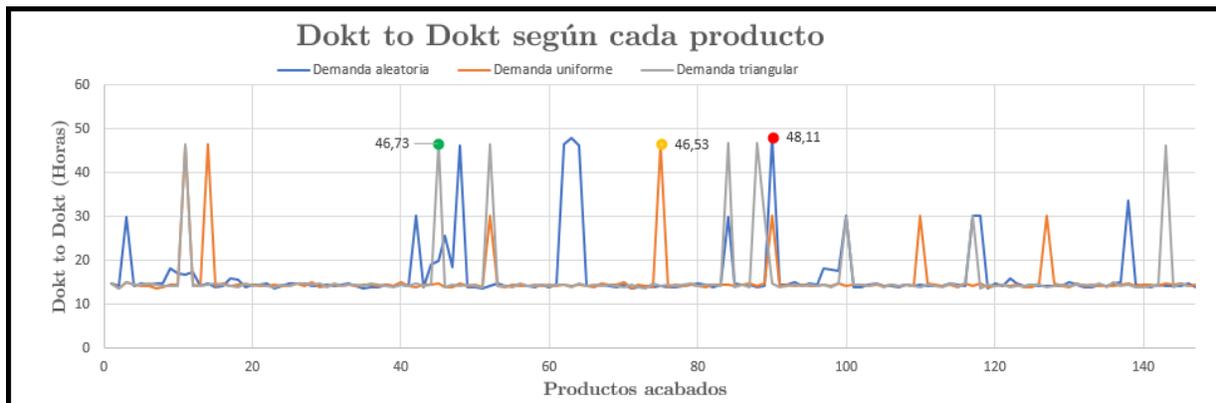


Figura 7.2: Dock to Dock de cada producto acabado durante el primer experimento. Fuente: Elaboración propia.

La característica que más resalta de la figura 7.2 es la gran desviación que provocan los retrabajos. Se puede observar en la gráfica cómo los retrabajos provocan aumentos significativos en el Dock to Dock. Dejando de lado estos datos atípicos, el comportamiento del modelo es muy similar en los tres ensayos. Se puede observar que todo producto mantiene un nivel estacionario en la medida estudiada. En la tabla 7.3 se recogen los resultados del Dock to Dock en los experimentos.

Dock to Dock (horas) de batería de experimentos 1.				
Nº de escenario	Condiciones escenario	Producto	Promedio	Desv. estándar
Escenario 1	Distribución aleatoria	Pupitre	17,82	9,46
		Armario	15,71	4,44
Escenario 2	Distribución uniforme	Pupitre	16,14	7,00
		Armario	14,92	3,35

Continua en la siguiente página

Escenario 3	Distribución triangular	Pupitre	17,57	9,41
		Armario	14,69	2,90

Tabla 7.3: Dock to Dock de la primera batería de experimentos del estudio de la demanda. Fuente: Elaboración propia.

La desviación estándar es muy considerable debido a la influencia de los retrabajos. Si se eliminan los retrabajos, ya que realmente no representan un Dock to Dock real de producción, se puede visualizar mejor la normalidad de los resultados. A continuación se representa gráficamente los histogramas del tipo de producto Armario (más representativo porque la muestra es mayor). En la figura 7.3 se recogen los tres histogramas, cada uno correspondiente con un experimento. En el anexo se recogen estos histogramas ampliados para facilitar su visualización.

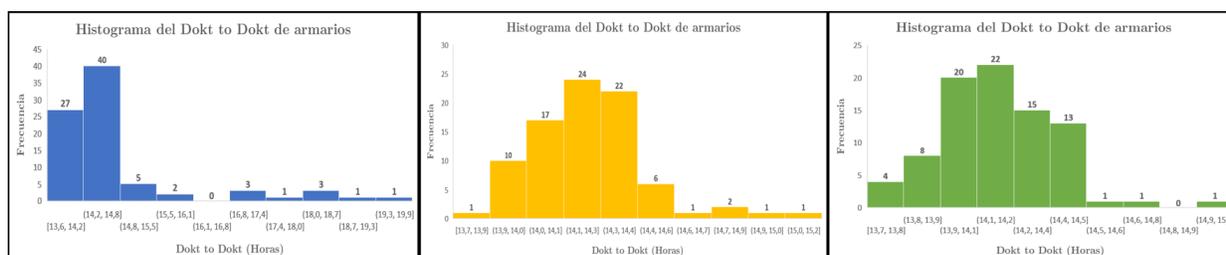


Figura 7.3: Histograma de la frecuencia del Dock to Dock de los productos "Armarios" de los escenarios 1 (azul), 2 (amarillo) y 3 (verde). Fuente: Elaboración propia.

Del primer experimento se observa que existen datos alejados del grueso del intervalo. Esto se debe a que en una distribución exponencial, es muy probable que se den una acumulación de entradas de producto. Esto generará colas intermitentes que se reducirán conforme la planta recupere la estabilidad. De la distribución uniforme y la distribución triangular se observa una normalidad en el Dock to Dock bastante marcada. Su comportamiento se debe a que el taller no se satura en ningún momento y es capaz de absorber la demanda sin problemas. En la distribución triangular, es posible suponer que los periodos de pico de demanda debería de saturar el sistema, sin embargo, al ser el pico máximo superior al 30 % de la demanda media, sigue sin suponer una carga considerable para que la planta genere colas.

Con los tres ensayos analizados, y los retrabajos eliminados puesto que alteran significativamente la precisión de las medidas, se puede finalmente ofrecer el valor aproximado del Dock to Dock. Este valor ayudará a planificar de forma más ajustada los plazos de los pedidos a proveedores, y permitirá descongestionar tanto el almacén del proveedor como el del taller. En la tabla 7.4 se muestran los resultados del Dock to Dock ajustado, eliminando los retrabajos.

Dock to Dock ajustado (horas) de batería de experimentos 1.				
Nº de escenario	Condiciones escenario	Producto	Promedio	Desv. estándar
Escenario 1	Distribución aleatoria	Pupitre	15,34	0,95
		Armario	14,76	1,25
Escenario 2	Distribución uniforme	Pupitre	15,05	0,21
		Armario	14,96	0,31
Escenario 3	Distribución triangular	Pupitre	15,077	0,29
		Armario	14,52	1,19

Tabla 7.4: Dock to Dock ajustado de la primera batería de experimentos del estudio de la demanda. Fuente: Elaboración propia.

Como resultado, se puede enunciar que para la fabricación de productos del tipo pupitres cabina, el tiempo aproximado desde que el material de proveedor entra a la planta, hasta que sale como producto finalizado, es de unos dos días de trabajo. Respecto a los productos armarios, el resultado es un poco más reducido pero se aproxima también a dos días de trabajo en el taller eléctrico.

Para finalizar el análisis de este primer bloque de ensayos se observará el porcentaje de utilización de cada estación de ensamblaje durante las tres simulaciones. Este porcentaje se calcula mediante el cociente entre el número de horas en producción dividido por el número de horas de simulación total. La figura 7.4 reúne los resultados de las tres simulaciones.

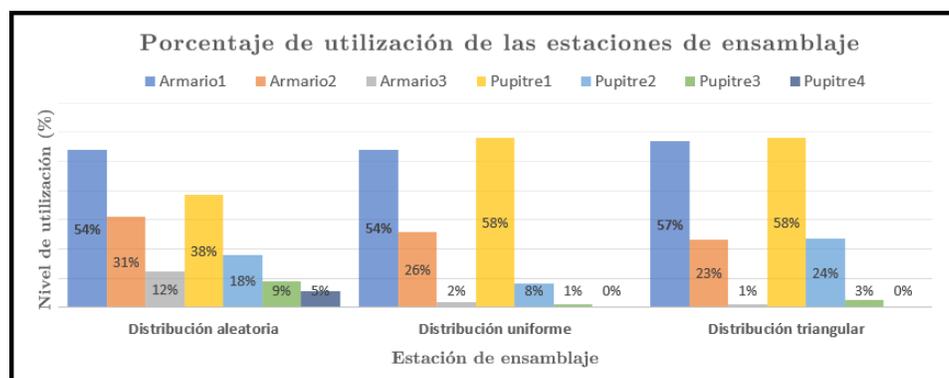


Figura 7.4: Grado de utilización de las estaciones de ensamblaje en los tres escenarios de la batería de experimentos 1. Fuente: Elaboración propia.

Nuevamente la gráfica se ajusta al razonamiento anteriormente propuesto. Por un lado la distribución exponencial o aleatoria, muestra un grado de utilización mayor en las últimas estaciones de ensamblaje. Este comportamiento está justificado por los periodos de alta demanda, que coinciden con los resultados en la cola derecha de la primera gráfica de la figura 7.3. Ante periodos

de alta demanda dada la aleatoriedad, la planta debe de utilizar todos sus recursos para alcanzar la producción demandada. Respecto a las otras dos simulaciones se observa un comportamiento muy similar. El grado de utilización es prácticamente idéntico, lo que confirma que ambos experimentos no provocan un nivel de utilización de recursos elevado.

Búsqueda de la capacidad máxima de la planta y limitaciones. Batería de ensayos 2.

En el apartado 7.3.1. se expone la metodología que se ha utilizado para elaborar esta batería de ensayos. El objetivo es encontrar la demanda con la que la planta en estudio, empleando todos los recursos disponibles, no es capaz de satisfacer a tiempo.

El método para llegar a esta demanda ha sido mediante una serie de incrementos respecto a la demanda actual. En la tabla 7.5 se recogen los ensayos realizados hasta obtener el nivel deseado.

Batería de experimentos 2.		
Número de escenario	Condiciones del escenario	Resultado
Escenario 1	Aumento al 130 % de demanda	Sin colas de retraso
Escenario 2	Aumento al 200 % de demanda	Sin colas de retraso
Escenario 3	Aumento al 400 % de demanda	Cola de 263 productos
Escenario 4	Reducción al 285 % de demanda	Cola de 92 productos
Escenario 5	Reducción al 235 % de demanda	Cola de 20 productos
Escenario 6	Aumento 5 %/50horas de demanda	Cola al llegar al 215 %
Escenario 7	215 % de demanda	Cola de 8 productos

Tabla 7.5: Batería de experimentos para obtener la capacidad de producción máxima de la planta. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 7.5 se muestra la evolución de la demanda a lo largo de la batería de experimentos número 2. Esta figura representa el resultado de la metodología expuesta en la figura 7.1.

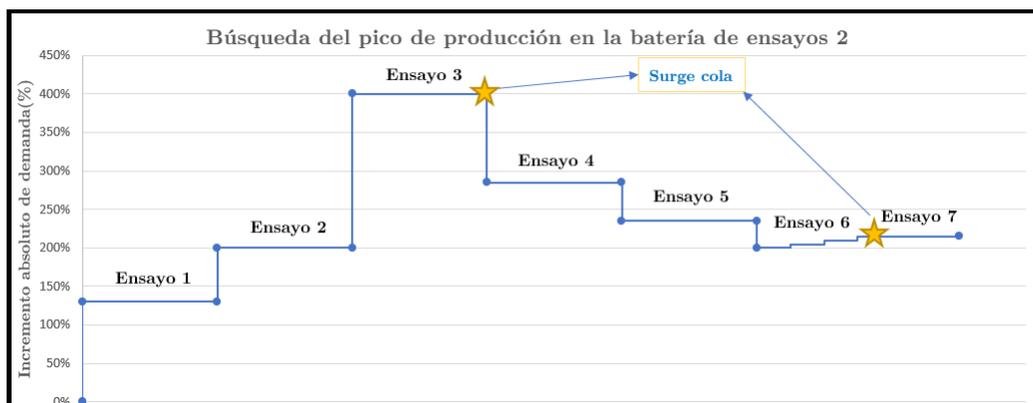


Figura 7.5: Búsqueda de la producción máxima de la planta . Fuente: Elaboración propia.

A continuación se representa en la figura 7.6, la evolución de la producción durante el ensayo donde se incrementa paulatinamente la demanda. En esta figura se observa cómo a partir del aumento del 215 % en la demanda, la producción se estabiliza. Conforme la demanda sigue subiendo cada 50 horas, no existe respuesta alguna por parte del modelo debido a que se ha alcanzado el estado de saturación en la planta.

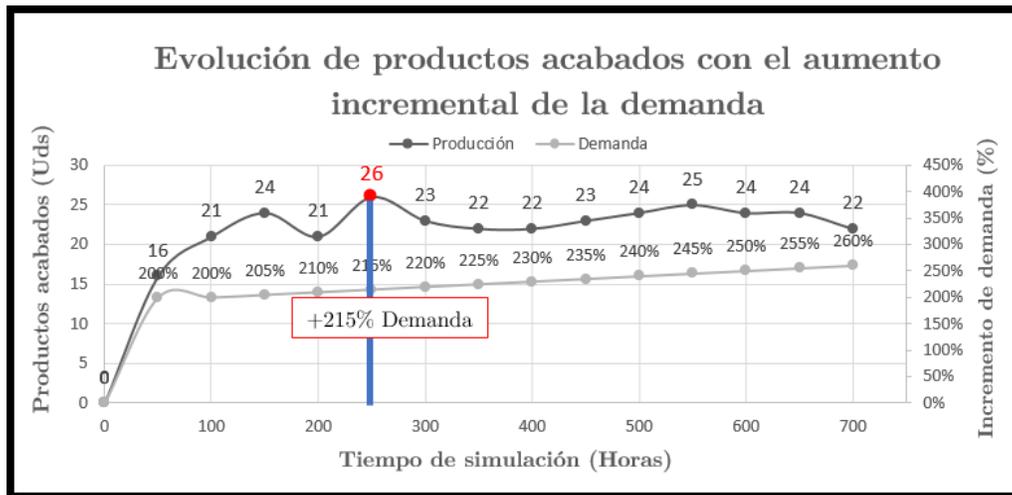


Figura 7.6: Evolución de los productos ensamblados durante el escenario 6 de la batería de experimentos 2. Fuente: Elaboración propia.

Recopilando el resultado obtenido de esta investigación, se puede establecer que con un incremento absoluto del 215 % respecto a la demanda del año 2019, el taller eléctrico llega a su capacidad máxima de producción. En términos de tiempo por producto, en la tabla 7.6 se muestran la capacidad de producción máxima de la planta. Se ha de tener en cuenta que ambas demandas han de estar correlacionadas, ya que no existe demanda de una sin la otra debido al tipo de producto final que produce la empresa Stadler Rail.

Tipo de producto	Producción (horas/unidad)
Pupitres cabina	5,06 h/ud
Armarios eléctricos	3,52 h/ud

Tabla 7.6: Máxima capacidad de producción del taller. Fuente: Elaboración propia.

El ensayo número 7 de la tabla 7.5 se emplea para analizar el modelo en estado de saturación de la producción. Llegado a este punto se ha de observar el funcionamiento del modelo en sus diferentes módulos, con el fin de conseguir localizar el cuello de botella u origen de las limitaciones del sistema. En primer lugar se observa por tendencia natural el proceso de ensamblaje

en sí mismo. Si el cuello de botella está en alguna de estas estaciones de trabajo, deberán estar al máximo de su nivel de utilización o presentar un nivel de inventario a su entrada muy elevado. Para comprobarlo se ilustra en la figura 7.7 el porcentaje de tiempo productivo respecto al tiempo total. Hay que destacar que cuando se está retrabajando una unidad, se sigue considerando este tiempo en exceso como tiempo productivo. Únicamente no se incluye el tiempo en el que está a la espera de material o de preparación.

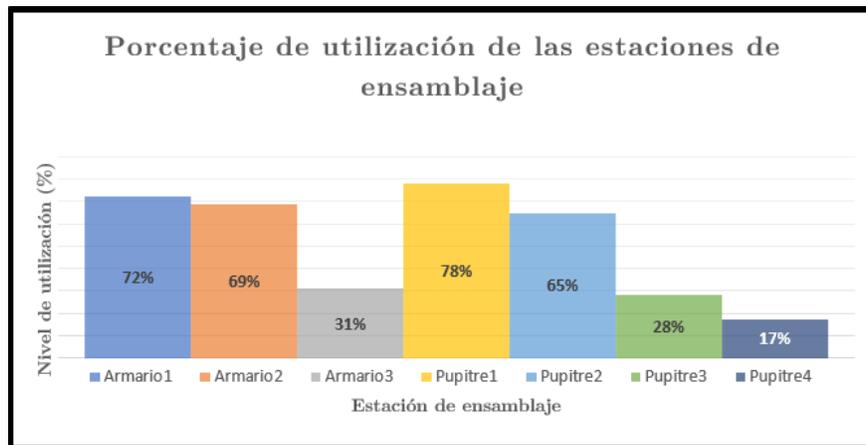


Figura 7.7: Nivel de utilización de las estaciones de ensamble en el ensayo a máxima producción. Fuente: Elaboración propia.

Con los presentes resultados no se puede decir que ninguna estación de ensamble sea el cuello de botella. De hecho la capacidad de producción es mucho mayor, el uso de la tercera estación de producción de Armarios supera escasamente el 30 % de su capacidad. También mencionar que dos de las cuatro estaciones de ensablado de pupitres no llegan ni al 30 %, por lo que se puede enunciar con el suficiente rigor que estas estaciones no representan la restricción del sistema.

Es el momento de centrar el foco de atención sobre el módulo previo de la cadena de producción: el almacén. En la figura 7.8 se representa el porcentaje del tiempo que el almacén permanece en cada nivel de ocupación. Además se añade un extracto de la evolución a lo largo del tiempo de este nivel de ocupación.

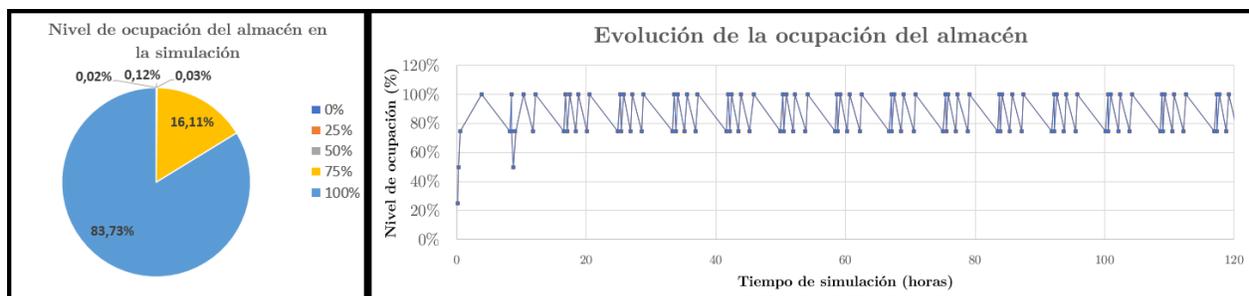


Figura 7.8: Utilización del almacén durante el escenario número 7 de la segunda batería de experimentos. Fuente: Elaboración propia.

Con un nivel medio de ocupación superior al 95 %, el almacén está al máximo de su capacidad. Los únicos periodos por debajo del 100 % son aquellos en los que la carretilla está en uso y no puede desplazar materia prima al almacén desde la entrada de la planta. Es aquí donde la cadena se encuentra limitada, se ha encontrado el cuello de botella. Si el almacén satura, bloquea la llegada de materia prima a la planta. Además de esta acumulación de materia prima en el almacén, unido al bajo nivel de utilización de las estaciones de ensamblaje, todo indica que el almacén retiene las referencias por más tiempo del necesario, evitando así que se suministren al taller eléctrico cuando se necesiten. Con ello se observa que más que una falta de capacidad de producción, existe un buffer con poca capacidad donde se almacena por demasiado tiempo cada producto. En el estudio dedicado exclusivamente al almacén se profundizará sobre cómo explotar esta restricción y mejorarla.

Análisis ante una demanda reducida. Batería de experimentos 3.

La tercera batería de ensayos se contrapone a la segunda. En el tercer bloque de experimentos, se busca comprobar cómo reacciona el sistema modelado ante una demanda significativamente menor a la actual. Es lógico que si con el nivel actual de demanda, el sistema está muy por debajo de su pico de saturación, la respuesta de la planta a un nuevo descenso en la producción será similar a la actual. El objetivo es comprobar si existen recursos no necesarios y conocer la carga de trabajo del sistema.

En la figura 7.9 se expone el porcentaje de los productos totales que cada estación de ensamblaje ha fabricado con el sistema actual. Se comparan los escenarios 2 y 3 de la tabla 7.2 con un nivel de demanda un 25 % y un 50 % por debajo de la actual respectivamente. Estos ensayos se han realizado con una distribución exponencial para aleatorizar las llegadas de materia prima y así observar posibles acumulaciones esporádicas.

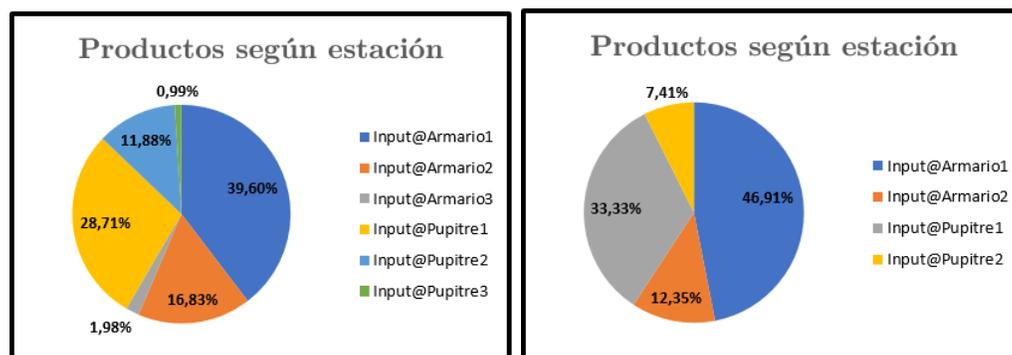


Figura 7.9: Reparto de productos según estación de ensamblaje en los escenarios 2 (izquierda) y 3 (derecha) de la batería de experimentos número 3. Fuente: Elaboración propia.

En el primer caso de reducción del 25 % de la demanda, el sistema deja de utilizar la cuarta estación de ensamblaje de pupitres. Este suceso se incrementa en el siguiente experimento con el 50 % de demanda reducida, donde el modelo no precisa ni de una estación de armarios ni de dos

de las cuatro estaciones de pupitres. Con este ritmo de trabajo, únicamente se precisaría personal para los ensamblajes de las dos primeras estaciones de ambos productos.

Respecto al almacén se observa un considerable descenso en el nivel de ocupación. En la tabla 7.7 se recoge el nivel de inventario medio de los tres ensayos propuestos.

Experimento	Nivel de ocupación medio (%)
Ensayo 1 (Demanda actual)	44,65 %
Ensayo 2 (-25 % demanda)	29,48 %
Ensayo 3 (-50 % demanda)	24,04 %

Tabla 7.7: Nivel de ocupación medio de la batería de experimentos número 3. Fuente: Elaboración propia.

Este importante decremento del nivel de inventario muestra que el almacén se encuentra muy por debajo de llegar a ser una restricción del sistema. Debido a la distribución exponencial en determinados periodos de alta concentración de producción sí se alcanza el 100 % de ocupación, aunque el sistema absorbe este pico de saturación rápidamente con el descenso posterior de demanda. En este caso, todas las localizaciones sí son necesarias ya que en determinados momentos de alta ocupación, se requerirá de todo el espacio posible.

7.3.3. Conclusiones del estudio

Finalizado el primer estudio del capítulo, se va a resumir y remarcar las conclusiones más significativas que se han obtenido de la presente investigación. Se van a exponer en la tabla 7.8 los descubrimientos, conocimientos y recomendaciones que se extraen de la realización de este primer estudio del capítulo.

Descubrimientos, conocimientos y recomendaciones que derivan del estudio 1.	
Categoría	Desarrollo de la categoría
Descubrimientos	Se ha descubierto el valor del Dock to Dock aproximado para los productos estudiados: 2 días laborables. El siguiente resultado del estudio ha sido la capacidad máxima de producción de la planta: Se establece como capacidad máxima la fabricación de un pupitre cada 5 horas, y un armario eléctrico cada 3,5 horas. Estos valores representan el Takt Time máximo que los clientes pueden exigir productos a la planta, y esta sea capaz de satisfacer la demanda adecuadamente. Se ha descubierto finalmente que al reducir la demanda un 25 % y un 50 %, dos de las cuatro estaciones de ensamblaje de pupitres y una de las tres de armarios dejan de ser necesarias para el nivel de producción exigido.

Conocimientos	En primer lugar se ha demostrado la repercusión negativa de los re-trabajos en el tiempo de fabricación, provocando un aumento de este valor muy importante. Tras analizar la planta a su nivel de producción máxima se ha detectado el cuello de botella en el almacén. Una escasa capacidad, junto con un exceso de tiempo de espera de los productos en él, provoca que las estaciones de ensamblaje no puedan ser alimentadas correctamente.
Recomendaciones	Conocer el valor del Dock to Dock, junto a la capacidad máxima de la planta, permitirá al departamento de logística y compras controlar y ajustar mucho mejor los plazos de los pedidos de los subensamblajes a los proveedores y reducir inventarios. Reducir los re-trabajos ha de ser prioritario para evitar los retrasos en la producción de los ensamblajes. Tras descubrir el cuello de botella situado en el almacén, se desarrollará un análisis más profundo sobre cómo explotar esta restricción en el tercer estudio del capítulo.

Tabla 7.8: Conclusiones del primer estudio del capítulo. Fuente: Elaboración propia.

7.4. Estudio 2. Fabricación en lotes frente a fabricación en flujo continuo

7.4.1. Descripción del estudio

El segundo estudio del capítulo surge debido a uno de los problemas detectados en el capítulo cuarto. Durante el ensamblaje de los diferentes productos de la planta se detecta en ocasiones, que el sistema de producción cambia a lotes cuyo tamaño es irregular e incontrolado. Esto acarrea un exceso de inventario necesario para poder satisfacer la dimensión de estos lotes.

Durante esta segunda investigación se comparará el modelo de producción por lotes, con el modelo de producción de flujo continuo o "One Piece Flow". El fin es establecer un único método de producción.

En la actualidad, la producción en flujo continuo presenta numerosas ventajas ante la producción en lotes. El inventario es una de las principales ventajas de este sistema. Mediante el sistema de producción en flujo continuo, se consigue reducir drásticamente el inventario de materia prima y demás producto intermedio ya que únicamente se fabrica una pieza a la vez, en lugar de varios ensamblajes simultáneos. El segundo punto a favor es la detección precoz de los fallos de calidad.

Cuando existe un error, el ensamblaje en curso es detenido y se centra la atención en solventar el fallo, mientras que en la producción en lotes, el lote completo o en su mayoría, presentaría este fallo. Además el tiempo de fabricación debido a las paradas entre lotes se ve en aumento, junto con la reducción en el aprovechamiento de los recursos.

Actualmente en el taller, ante una previsión de demanda futura muy elevada, el sistema de producción varía. Cuando en un nuevo proyecto se conoce que en el futuro se requerirán numerosas unidades de un producto, el taller eléctrico en lugar de satisfacer la demanda mediante la producción en flujo continuo, comienza a producir lotes. Estos lotes de diferentes tamaños, en función de la carga actual del taller, tienen el objetivo de reducir tiempos de preparación y costes iniciales. En lugar de fabricar una única unidad, fabrican cuatro iguales para inventariarlas y así, ante la futura alta demanda, ya disponen de este inventario. Cabe decir que Stadler trabaja sobre demanda sólida, es decir, una demanda ya conocida previamente con varios meses de antelación.

Con este estudio se pretende demostrar que, en lugar de generar inventario para evitar futuras saturaciones de la capacidad de la planta, es mejor adaptar la producción a la demanda en flujo continuo. De esta manera se evitará una saturación del almacén, problemas de calidad en el lote completo, y el descontrol que supone modificar continuamente el sistema de producción de flujo a lotes.

A continuación se presenta la batería de experimentos con la que se va a realizar la comparación entre ambos sistemas de producción. En la tabla 7.9 se recogen los cuatro experimentos propuestos junto con las condiciones de cada escenario.

Batería de experimentos 1. Comparación producción en lotes y en flujo.	
Número de escenario	Condiciones del escenario
Escenario 1	Producción en flujo continuo. Demanda actual.
Escenario 2	Producción en lotes. Demanda actual.
Escenario 3	Producción en flujo continuo. Nivel de demanda duplicado.
Escenario 4	Producción en lotes. Nivel de demanda duplicado.

Tabla 7.9: Batería de experimentos para comparar los sistemas de producción en flujo continuo y en lotes. Fuente: Elaboración propia.

En el siguiente apartado se discutirán los resultados obtenidos de esta batería de experimentos, y se extraerán las conclusiones más relevantes.

7.4.2. Análisis de los resultados

Para el sistema de producción en lotes se ha implementado una modificación del modelo. En primer lugar, se han adaptado los envíos por parte del proveedor de la materia prima. En vez de suministrar producto a producto, se realizan envíos del tamaño del lote. En el caso actual, el tamaño de lote definido es de dos pupitres cabina. Los armarios no son ensamblajes que se fabrican en lotes en planta, únicamente los pupitres.

Además de las llegadas al sistema, se han ajustado las estaciones de ensamblaje para que los pupitres se fabriquen de dos en dos. Cada operación del ensamblaje se realizará en cada pupitre de forma consecutiva, y una vez se finalice la misma operación en ambos productos, se podrá continuar con la siguiente operación. De esta manera se ajusta a la realidad de la fabricación por lotes.

Comparación con el nivel de demanda actual. Ensayos 1 y 2.

Como punto de partida del análisis se van a comparar los dos primeros ensayos. Como ya se ha comprobado en la primera batería de ensayos del primer estudio, a un nivel de demanda como la actual, el taller puede satisfacer todos los pedidos sin problemas. Por tanto, para comparar ambos métodos de producción, no se observa el número de productos finalizados, sino el tiempo que cada uno permanece en el sistema (Dock to Dock). En la figura 7.10 se representa el Dock to Dock de cada pupitre fabricado en los dos primeros ensayos.

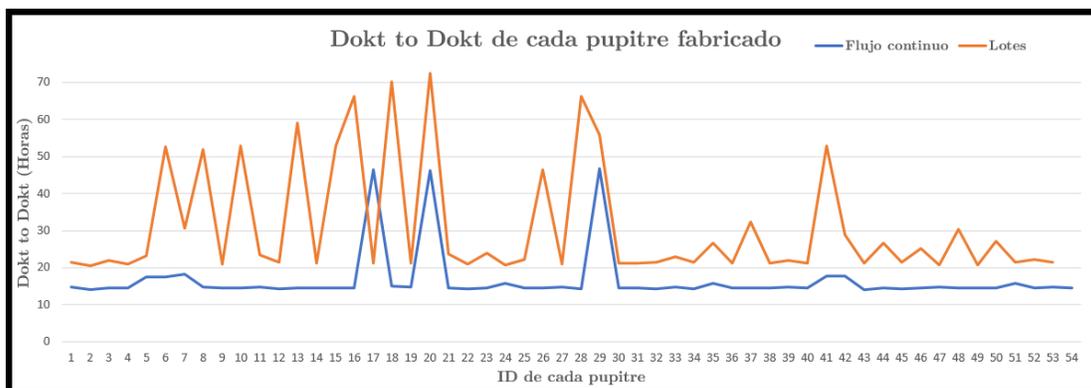


Figura 7.10: Dock to Dock de cada pupitre fabricado en los ensayos 1 y 2. Fuente: Elaboración propia.

De la gráfica se observa cómo la fabricación en lotes de los pupitres, provoca un aumento muy significativo del tiempo que permanece el producto en el taller. La causa de este aumento radica en el tiempo de fabricación. Al fabricar un lote de dos unidades, cuando se está realizando la operación en una de ellas, la otra queda en espera hasta recibir la misma operación y viceversa. De este modo, aunque los tiempos de operación se puedan llegar a reducir un porcentaje cercano al 10 %, estos tiempos de espera provocan que el tiempo en la estación de ensamblaje aumente.

Otro punto de vista que es interesante resaltar, es la utilización de las estaciones para el en-

samblaje de los pupitres. Observando el porcentaje respecto al tiempo total de simulación, donde las estaciones están ocupadas con el montaje de estas estructuras, se pueden obtener resultados destacables. En la figura 7.11 se muestra este nivel de utilización de cada una de las estaciones de ensamblaje en los dos primeros ensayos realizados.

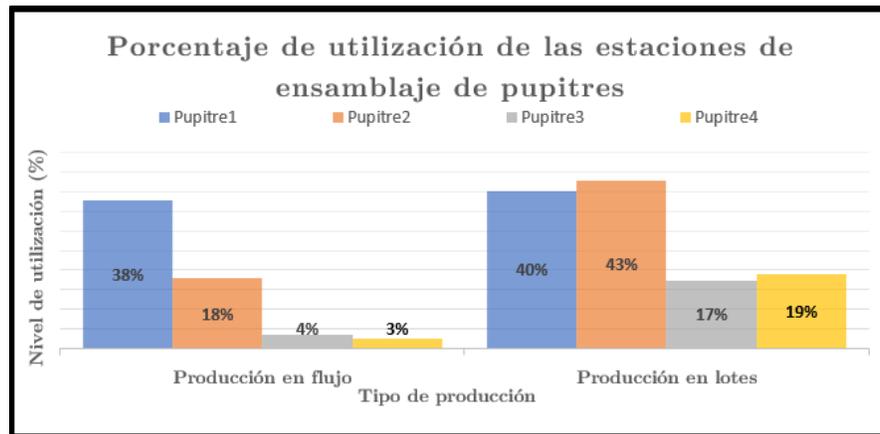


Figura 7.11: Nivel de utilización de las estaciones de ensamblaje de pupitres en los escenarios 1 y 2. Fuente: Elaboración propia.

La utilización de las estaciones de ensamblaje en la producción en lotes es significativamente mayor. Puesto que los lotes tienen el tamaño de 2 unidades, las parejas de estaciones 1-2 y 3-4 tienen una utilización muy similar, ya que operan de manera síncrona. Es muy relevante este aumento en la utilización, ya que para un nivel de demanda como la actual donde la planta con el sistema flujo continuo presenta una gran capacidad de trabajo sobrante, en el caso de la producción en lotes este exceso no es tan amplio. Para un número de productos ensamblados similar, 54 pupitres en flujo continuo frente a los 53 en lotes, la fabricación en flujo continuo presenta una utilización de recursos considerablemente menor respecto a la fabricación en lotes. Esto es debido al tiempo de "set-up" y que cada producto ha de esperar que se realice la operación en todo el lote antes de continuar a la siguiente.

Comparación con el doble de la demanda actual. Ensayos 3 y 4.

Una vez se han analizado las diferencias más significativas en la primera pareja de experimentos, se va a duplicar la demanda para observar el comportamiento del sistema con mayor saturación de la producción. El hecho de utilizar la distribución exponencial, provocará grandes picos de demanda donde se supere la producción máxima, y a su vez periodos de pedidos reducidos.

El primer análisis a realizar se centrará en la producción. En la figura 7.12 se muestra la evolución de la producción durante las 700 horas de simulación, en los experimentos 3 y 4. Con ello se podrá evaluar y comparar ambos métodos de producción y cómo responden a las variaciones en la demanda.

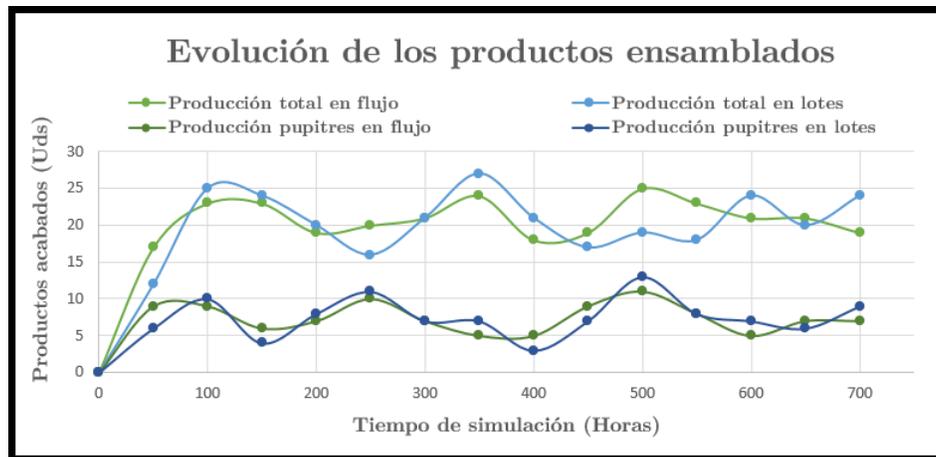


Figura 7.12: Evolución de la producción en la planta durante los escenarios 3 y 4. Fuente: Elaboración propia.

El resultado más significativo es la nivelación de la producción. El escenario en el cuál la producción de los pupitres se realiza mediante lotes, muestra una oscilación del nivel de producción más amplia respecto al correspondiente con la producción en flujo continuo. Se puede observar este comportamiento tanto en la producción total como en la producción únicamente de pupitres. Esto se debe a que el modelo de producción en flujo continuo se adapta mejor a la demanda, y permite nivelar la producción.

Para cambiar el enfoque sobre la producción, en la figura 7.13 se representa la evolución de la cola de productos que se mantienen a la espera de poder entrar al sistema. Esta cola se genera porque el almacén no dispone de más espacio a ocupar por lo que los productos han de esperar a la entrada del almacén sin ubicarlos. Con esta representación se puede observar cómo el taller es capaz de absorber los picos en la demanda que generan estos pedidos retrasados.



Figura 7.13: Evolución de la cola de productos a la entrada de la planta durante los escenarios 3 y 4 respecto a la demanda (en amarillo). Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica se puede comparar la evolución de la cola generada en cada uno de los experimentos, respecto a la demanda común a ambos. El principal análisis que se puede realizar sobre

este resultado es que el sistema de producción en flujo continuo presenta un desempeño mucho mejor que su contrario. Observando los periodos donde la demanda aumenta, hasta superar la producción máxima de la planta, la producción en flujo se adapta mejor a este escenario. Con el flujo continuo se consiguen unos máximos más pequeños en la evolución de la cola de la planta. Además, no solo es importante los máximos alcanzados, sino también el tiempo en el que el sistema absorbe este retraso cuando la demanda desciende. En los periodos llamados periodos valle por su descenso en la demanda, la planta funcionando en flujo continuo absorbe la cola anteriormente generada mucho más rápido que con el modelo de producción en lotes.

Respecto al **inventario**, en el almacén únicamente se observa un descenso desde el 93 % de ocupación media del ensayo en lotes, hasta un 89 % en el de flujo continuo. Sin embargo el verdadero inventario que se consigue reducir drásticamente con la producción en flujo continuo, es el inventario intermedio de componentes necesarios para el ensamblaje de los productos. La gran diferencia en este inventario radica en las estanterías de las estaciones de montaje, donde en lugar de guardar los componentes necesarios para el ensamblado de una unidad, se ha de disponer del doble de ellos. Este inventario se incrementa conforme se aumente el tamaño de lote, y representa mucho dinero almacenado en las estanterías del taller.

7.4.3. Conclusiones del estudio

Realizados los experimentos planteados y una vez analizado los resultados más importantes obtenidos, se resumirán los descubrimientos más significativos. Se enunciarán los conocimientos adquiridos y finalmente las recomendaciones resultantes de este estudio, todo ello reflejado en la tabla 7.10.

Descubrimientos, conocimientos y recomendaciones que derivan del estudio 2.	
Categoría	Desarrollo de la categoría
Descubrimientos	Se ha descubierto que para fabricar el mismo número de unidades, la fabricación por lotes precisa de una utilización de las estaciones de ensamblaje mucho mayor y un nivel de ocupación del almacén considerablemente superior. También que el Dock to Dock en la producción en lotes se ve perjudicado, y aumenta respecto al flujo continuo. Además, se observa cómo la fabricación en lotes presenta una producción con oscilaciones más pronunciadas que la de flujo continuo, que se asemeja más a la demanda.

Continúa en la siguiente página

Conocimientos	De los descubrimientos se ha demostrado que la fabricación en flujo continuo tiene una capacidad de producción máxima mucho mayor que la de lotes, debido a la menor utilización de las estaciones de ensamble, por evitar las esperas entre operaciones y tiempos de "set-ups". Se demuestra además, cómo la producción en flujo continuo se adapta mucho mejor a la demanda, ajustando la producción a esta de forma más precisa y con oscilaciones mucho menores respecto a la fabricación en lotes. También es capaz de absorber con mayor velocidad los retrasos debidos a acumulación de pedidos y presenta un nivel de ocupación en el almacén mucho menor.
Recomendaciones	Como resultado del segundo estudio se establece la fabricación en flujo continuo como mejor alternativa posible. Tanto para periodos de baja demanda, como periodos de alta demanda, este método se adapta mejor al a demanda, dota al taller de una mayor capacidad de producción y reduce el inventario. Una planta como la de Stadler, donde la demanda anual es conocida salvo pequeñas incertidumbres, es necesario que se emplee este método de producción en flujo continuo debido a todas las ventajas mostradas. Una producción orientada al "Just in Time".

Tabla 7.10: Conclusiones del segundo estudio del capítulo. Fuente: Elaboración propia.

7.5. Estudio 3. Mejora del almacén. Redistribución y oportunidades

7.5.1. Descripción del estudio

En el análisis de la situación actual de la planta, se observa que el estado del almacén no es el adecuado. Centrando la atención sobre el almacén externo del taller eléctrico, se detecta que las referencias almacenadas sobre suelo se encuentran localizadas arbitrariamente. Esta falta de orden, junto con un nivel de ocupación aparentemente elevado, genera la necesidad de abordar esta situación.

Estudiando las posibles causas que generan este problema, se descubre que en ningún momento se ha planificado la ubicación de referencias en el almacén en cuestión, ni planificado ningún aspecto relacionado con este espacio. Conocida esta situación, es el momento de abordar todo lo relacionado con el almacén de la planta. El objetivo de este estudio es ofrecer cambios o modificaciones sobre el almacén para conseguir mejorar su funcionamiento interno y, en consecuencia, de la planta completa.

En la primera etapa del estudio se va a realizar una redistribución de los espacios. A partir de la distribución en planta actual, se reubicarán las diferentes localizaciones del almacén sobre suelo. Las estanterías se encuentran mejor organizadas y localizadas, por lo que el centro de atención se centrará sobre la parte sobre suelo. Con esto se pretende mejorar el flujo de transporte, así como mejorar el aprovechamiento del espacio.

Se parte de la distribución actual reflejada en la figura 7.14. En ella se puede observar cómo las referencias se encuentran distribuidas sin localización preestablecida, y no existen rutas claras para el tránsito del vehículo de manutención.

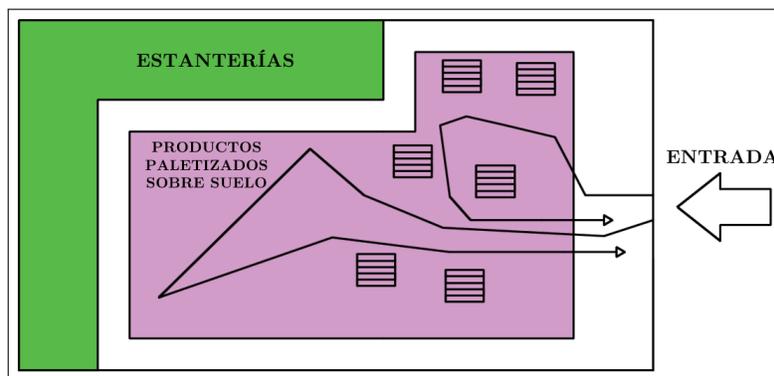


Figura 7.14: Distribución actual del almacén con ejemplos de flujo de manutención. Fuente: Elaboración propia.

Al no existir un orden predeterminado, esta distribución en planta se modifica cada semana prácticamente. Conforme se liberan espacios, se rellenan por otra referencia en una ubicación si-

milar o diferente. La ruta de la carretilla es muy irregular, se adapta a la situación de cada momento atravesando prácticamente por donde el conductor piense que no colisiona con ningún obstáculo.

El primer paso será organizar los espacios y crear un flujo lógico de transporte que será utilizado siempre por los vehículos de mantenimiento. Para comenzar se define el espacio unitario, destinado a localizar la unidad de carga, el pallet. En la figura 7.15 se muestran las dimensiones seleccionadas para este espacio. Como se puede observar, se dejan 30 cm por cada lateral a excepción del perfil donde se carga y descarga la referencia, esto se debe a que los productos en varias ocasiones superan las dimensiones del pallet.

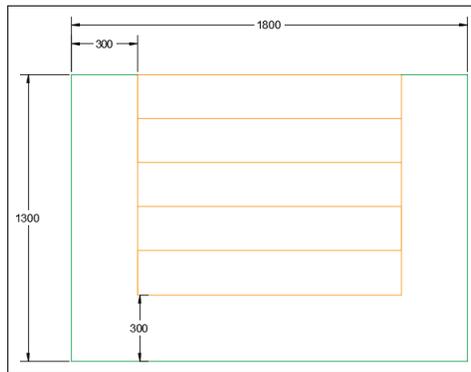


Figura 7.15: Espacio destinado a localizar una referencia. Fuente: Elaboración propia.

Lo siguiente que hay que considerar es el flujo del vehículo de mantenimiento. Teniendo en cuenta la imposibilidad de modificar la entrada/salida del almacén, el flujo tendrá la forma de U donde la entrada y la salida estarán en la misma fachada. Se ha de respetar al menos 2,5m de anchura de pasillo para que la carretilla pueda operar adecuadamente. Para asegurar este valor, se establece como anchura mínima 2,8m de modo que exista cierto margen de seguridad. Las estanterías convencionales se mantienen en su localización, puesto que no suponen un problema y se ahorran recursos en esta redistribución. El resto del espacio libre se ocupa por los espacios cuya geometría se ha definido en la anterior figura 7.15. En la figura 7.16 se ilustra el resultado del rediseño de la zona de inventario sobre suelo del almacén.

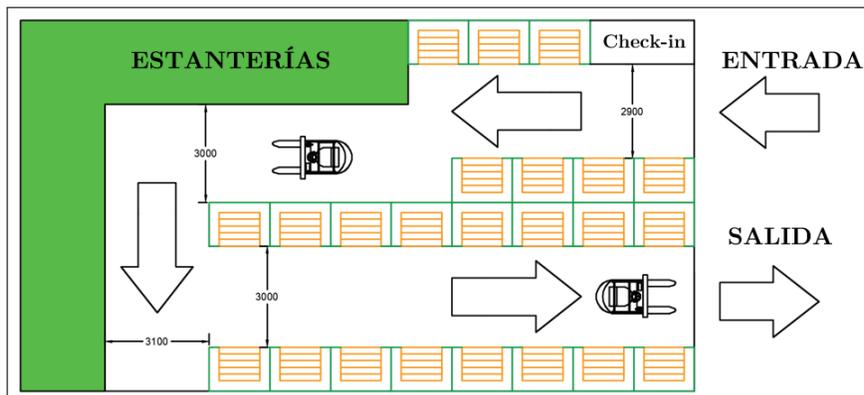


Figura 7.16: Nueva distribución del almacén del taller eléctrico. Fuente: Elaboración propia.

En el estudio se comparará las ventajas que la nueva distribución introduce en el sistema. Al margen de la comparación física, se realizará una comparativa con la simulación del modelo. En la tabla 7.11 se expone la primera batería de experimentos a realizar, destinada a comparar el desempeño de la nueva distribución respecto a la anterior. Se utilizará el doble de la demanda actual, para observar ante un nivel más saturado de producción el comportamiento del modelo.

Batería de experimentos 1. Estudio de la redistribución del layout.	
Número de escenario	Condiciones del escenario
Escenario 1	Distribución actual del almacén. Doble de la demanda actual.
Escenario 2	Nueva propuesta de rediseño del almacén. Doble de la demanda actual.

Tabla 7.11: Batería de experimentos para comparar las distribuciones en planta del almacén. Fuente: Elaboración propia.

Además de analizar la nueva distribución respecto a la presente, el siguiente bloque del estudio consistirá en analizar cómo mejorar el cuello de botella detectado en este almacén en el apartado 7.3.2. Aunque con la nueva distribución se logre aumentar la capacidad del almacén, solo conllevará que la cola que se produce en la entrada al sistema se traslade a este. En los periodos de alta demanda, en lugar de generar la cola a la entrada del almacén se generará en el propio almacén. Por tanto, se ha de plantear cómo evitar que el almacén sea el cuello de botella de la producción.

La idea propuesta radica en las horas que permanece la materia prima desde que llega a planta hasta que se manda a taller (8 horas). Si se consigue reducir este tiempo, el almacén dejaría de ser una restricción en el sistema de producción. Para comprobar esta hipótesis, se lanzará la segunda batería de experimentos del estudio recogida en la tabla 7.12.

Batería de experimentos 2. Estudio de mejora en el sistema.	
Número de escenario	Condiciones del escenario
Escenario 1	Situación actual. Tiempo en almacén 8 horas.
Escenario 2	Reducción del 25 %. Tiempo en almacén 6 horas.
Escenario 3	Reducción del 50 %. Tiempo en almacén 4 horas.
Escenario 4	Eliminación del inventariado. Tiempo en almacén 0 horas.

Tabla 7.12: Batería de experimentos para comparar las distribuciones en planta del almacén. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se buscará, de la misma forma que en el primer estudio del capítulo, la demanda máxima que el nuevo modelo con las mejoras introducidas, es capaz de satisfacer. Con todo lo planteado se completaría el tercer estudio propuesto. A continuación se expondrán los resultados obtenidos y se remarcarán las conclusiones más importantes.

7.5.2. Análisis de los resultados

Comparativa entre el nuevo diseño propuesto y el actual. Batería de experimentos 1.

El primer bloque de análisis será la comparativa entre la nueva distribución del almacén propuesta, con la disposición actual. Se analizarán las diferencias desde el punto de vista general, y posteriormente se expondrá la comparativa de las simulaciones de ambas distribuciones.

La nueva distribución propuesta no implica una gran inversión. Únicamente precisa marcar cada localización visualmente mediante marcas en el suelo y adaptar el inventario a su nueva disposición. La nueva redistribución no solo supone una mejora organizativa y visual, en la tabla 7.11 se recogen las diferencias generales más significativas.

Características	Layout actual	Layout rediseñado
Espacio ocupado (%)	30,02 %-33,36 %	51,45 % (Aumento 18,09 %-21,43 %)
Nº ubicaciones (Uds)	7-10 (irregulares)	23 (Aumento 13-16 uds)
Flujo de transporte	Irregular y obstaculizado	Fijo y sin obstáculos
Localizar una referencia	Búsqueda visual	A través de Base de Datos

Tabla 7.13: Comparativa entre la distribución actual del almacén y la propuesta. Fuente: Elaboración propia.

No solo se aprovecha mejor el espacio, dejando menos superficie en suelo vacía, sino que la nueva distribución duplica la capacidad de almacenaje respecto a la anterior. La búsqueda de referencias se ve muy beneficiada, gracias a que en todo momento se mantiene registrado en el sistema informático la localización de cada producto.

Siguiendo el hilo de la comparativa, es el momento de observar las diferencias más importantes encontradas en la simulación de la primera batería de experimentos expuesta en la tabla 7.11. En primer lugar se compara el nivel de ocupación en porcentaje, durante la simulación. La figura 7.17 muestra la distribución del nivel de inventario con la distribución actual y el nuevo diseño, respecto al porcentaje del tiempo de simulación que abarca cada nivel de ocupación.

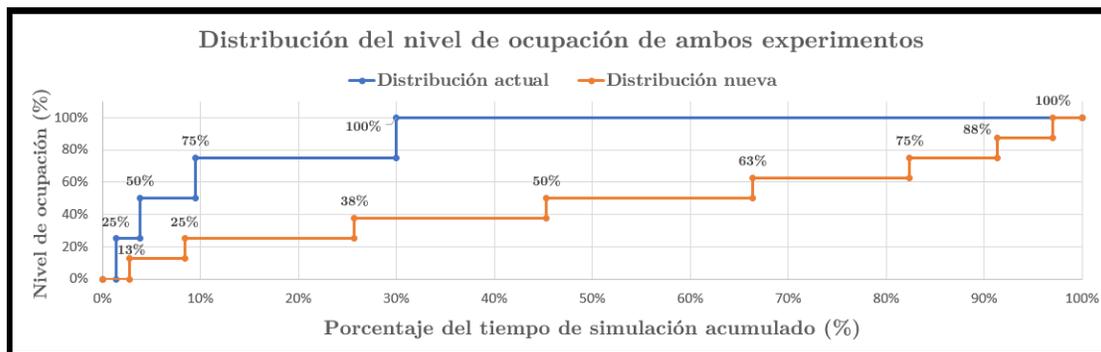


Figura 7.17: Comparación nivel de ocupación del almacén durante los escenarios 1 (azul) y 2 (naranja) de la batería de experimentos 1. Fuente: Elaboración propia.

Con el nuevo diseño propuesto, el almacén reduce drásticamente su nivel de ocupación. El resultado más destacable se observa en que durante la simulación con el almacén actual, el almacén permanece al 100 % de ocupación durante el 70 % del tiempo, mientras que con el nuevo diseño únicamente el 3 % del experimento. Esta idea se reafirma observando el inventario medio en la tabla 7.14.

Experimento	Nivel de ocupación medio (%)
Escenario 1 (Almacén actual)	88,82 %
Escenario 2 (Nuevo diseño)	47,59 %

Tabla 7.14: Nivel de inventario medio de la batería de experimentos número 1. Fuente: Elaboración propia.

Este resultado reafirma el análisis planteado anteriormente. Con el nuevo diseño, el nivel de ocupación es mucho menor ya que el nuevo almacén dispondrá de una capacidad considerablemente mayor al actual. Puesto que el almacén deja de estar saturado, la cola de productos a la entrada de la planta debe de desaparecer y ser absorbida en el almacén. A continuación, en la figura 7.18, se observa la evolución de la cola durante los experimentos realizados.



Figura 7.18: Evolución de la cola de productos a la entrada de la planta durante los escenarios 1 y 2 de la batería de experimentos 1. Fuente: Elaboración propia.

Tal y como se esperaba, con la nueva distribución de almacén la acumulación de productos a la entrada de la planta desaparece. Esto es debido a que el almacén dispone de la capacidad necesaria para absorber las fluctuaciones que se producen en la demanda. A continuación, en la tabla 7.15 se muestra el número de productos ensamblados en cada uno de las simulaciones.

Experimento	Productos ensamblados (Unidades)
Escenario 1 (Almacén actual)	294
Escenario 2 (Nuevo diseño)	295

Tabla 7.15: Número de productos elaborados en los escenarios 1 y 2 de la batería de experimentos 1. Fuente: Elaboración propia.

El motivo por el cuál la producción no varía en cada uno de los ensayos realizados es conocido. Su justificación se debe a que el nivel de demanda al finalizar la simulación, está por debajo de la capacidad de producción de la planta en ambos ensayos, por lo que ambos modelos son perfectamente capaces de satisfacer el número de productos. Sin embargo, la evolución de la producción durante la simulación puede aportar más información acerca de la comparativa. En la figura 7.19 se recoge la evolución de la producción desde las 400 horas de simulación hasta el final de los experimentos. Se escoge este tramo debido a que la demanda presenta el pico más alto de pedidos requeridos (este pico es observable también en la figura 7.18), y se puede observar cómo responden a él ambos ensayos.

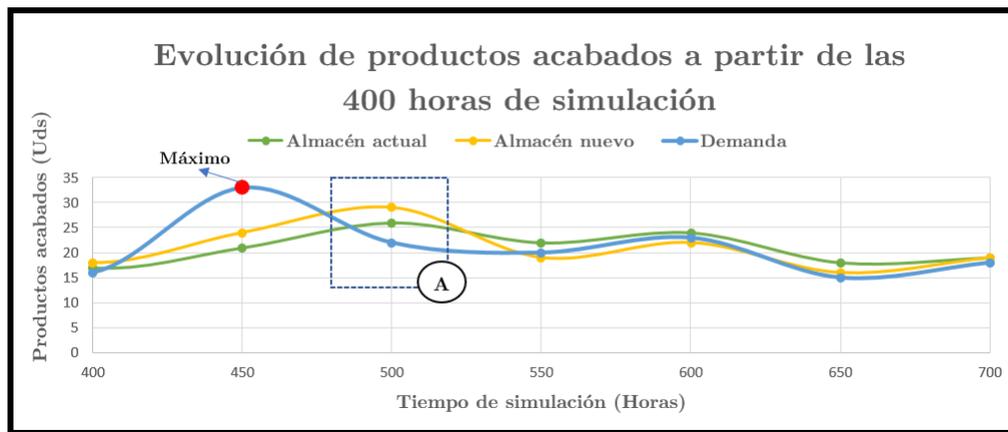


Figura 7.19: Extracto de la evolución de la producción durante los escenarios 1 y 2 de la batería de experimentos 1. Fuente: Elaboración propia.

En el recuadro marcado como "A", se puede observar cómo el modelo con el nuevo almacén, es capaz de responder con más antelación que el actual. Ante el pico de pedidos, satisface este aumento de producción con más velocidad que el actual. A pesar de todo ello, la diferencia en cuanto a producción no es muy significativa. Esto indica que la capacidad del almacén, ni la organización de este son las restricciones que limitan la producción del sistema.

Propuesta de mejora: Reducción del tiempo en almacén. Batería de experimentos 2.

Tal y como se introduce en la descripción del presente estudio (apartado 7.5.1), los productos procedentes del proveedor permanecen en el almacén unas 8 horas de media. Esto genera un parón en el flujo ininterrumpido de producción que se desea obtener. Para observar las ventajas en la planta de reducir este tiempo, se realiza la batería de experimentos número 2 expuesta en la tabla 7.12.

Para unificar los resultados obtenidos de la segunda batería de experimentos del estudio, en primer lugar se va a exponer las variaciones del nivel de inventario, junto con el grado de utilización total de las estaciones de ensamblaje. Con este análisis se puede comprobar si existen beneficios asociados a la reducción del tiempo de permanencia en el almacén. En la figura 7.20 se recogen los resultados de los indicadores enunciados.

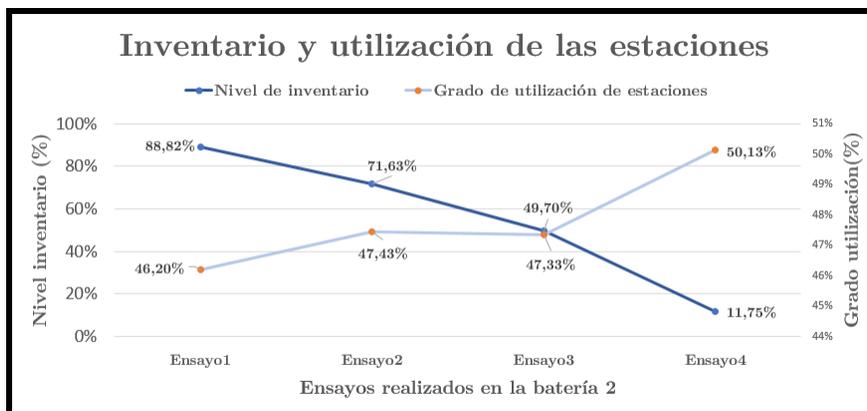


Figura 7.20: Resultados de la batería de experimentos 2. Fuente: Elaboración propia.

El resultado más significativo es la drástica reducción de inventario, que provoca disminuir hasta el 100 % el tiempo de permanencia en almacén (conforme entra al almacén, sale a su estación de destino). Conociendo con antelación la fecha de entrega por parte del proveedor, y eliminando el paso por el almacén de la estructura inicial de los productos, se conseguiría un flujo continuo que genera grandes ventajas. Reducir en más del 70 % el nivel de inventario actual, supone reducir el coste de tener producto no acabado en la planta considerablemente. Además se logra reducir directamente el Dock to Dock de cada producto en más del 40 % de su valor actual, un producto permanecería en la planta mucho menos tiempo.

Se observa que la utilización de las estaciones de ensamblaje aumenta, sin embargo, este incremento es más acotado debido a que el nivel de demanda no es lo suficientemente exigente como para visualizar una mayor utilización.

Cálculo de la nueva capacidad máxima de producción. Batería de experimentos 3.

Con la nueva distribución del almacén, junto con la eliminación del tiempo de espera, se han demostrado dos mejoras que repercutirán positivamente al funcionamiento de la planta. Para observar cuantitativamente el beneficio en cuanto a la capacidad de producción de la planta, se realizará una última batería de experimentos. Se va a obtener, mediante la metodología seguida en la tercera batería de ensayos del primer estudio de este capítulo (figura 7.1), la nueva capacidad productiva máxima del taller.

En la tabla 7.16 se recoge la lista de experimentos que se han realizado hasta lograr obtener el resultado deseado.

Batería de experimentos 3.		
Número de escenario	Condiciones del escenario	Resultado
Escenario 1	Aumento al 400 % de demanda	Cola de 34 productos
Escenario 2	Reducción al 285 % de demanda	Sin colas de retraso
Escenario 3	Aumento al 330 % de demanda	Sin colas de retraso

Continúa en la siguiente página

Escenario 4	Aumento al 345 % de demanda	Sin colas de retraso
Escenario 5	Aumento al 355 % de demanda	Sin colas de retraso
Escenario 6	Aumento al 370 % de demanda	Cola de 22 productos
Escenario 7	Incremental desde 355 % en intervalos de 5 %	Cola en 360 %

Tabla 7.16: Batería de experimentos para obtener la capacidad de producción máxima de la planta introducidas las mejoras en el almacén. Fuente: Elaboración propia.

Se ha precisado de 7 ensayos hasta obtener el resultado deseado. Finalmente, mediante la batería de ensayos expuesta en la tabla 7.16, se ha obtenido que para alcanzar el estado de saturación de la planta, se ha de incrementar la demanda actual en un 360 %. Esto significaría superar el triple de capacidad respecto a la demanda presente.

Para observar cómo se alcanza la saturación en la producción, se aporta la figura 7.21 donde se representa la evolución de la producción a lo largo del ensayo número 7. Durante este ensayo se realizan incrementos en la demanda y se observa la reacción del modelo.

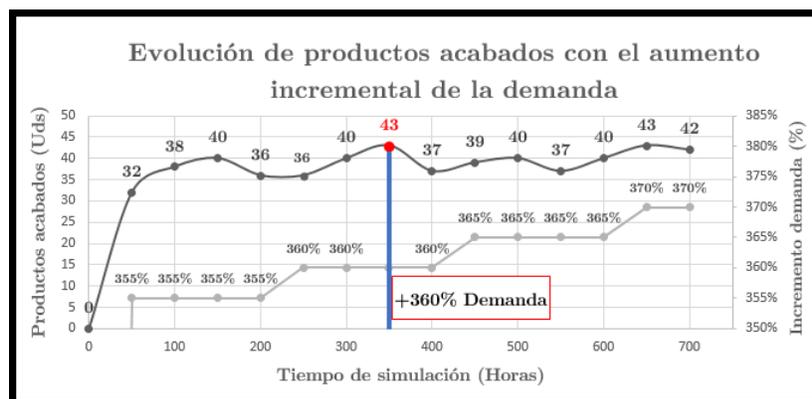


Figura 7.21: Evolución de la producción en el escenario 7 de la batería de experimentos 3. Fuente: Elaboración propia.

A partir de superar el 360 % respecto a la demanda actual, la curva de producción llega a su máximo. El resto de simulación, a pesar de que la demanda continúe incrementándose, no se supera este máximo de productos. Se demuestra por tanto, que se ha alcanzado la saturación del sistema. En la tabla 7.17 se recoge la capacidad de producción máxima obtenida del nuevo sistema.

Tipo de producto	Producción (horas/unidad)
Pupitres cabina	3,10 h/ud
Armarios eléctricos	2,19 h/ud

Tabla 7.17: Máxima capacidad de producción del taller con las mejoras en almacén añadidas. Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 7. Diseño y desarrollo de investigaciones

Para finalizar el apartado, se analizará la situación del nuevo sistema en estado de saturación. Con el nivel de demanda obtenido (+360 % de la actual), se destacarán los resultados más significativos.

En la figura 7.22 se muestra por un lado, el nivel de ocupación durante toda la simulación, y junto a ello, se muestra la evolución del inventario a lo largo del tiempo de ejecución.

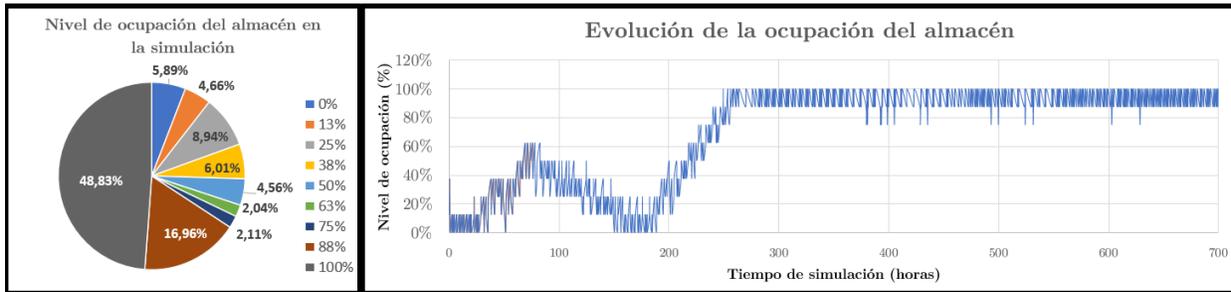


Figura 7.22: Nivel de ocupación y evolución del almacén durante el ensayo a capacidad máxima. Fuente: Elaboración propia.

El almacén permanece al 100 % de ocupación prácticamente la mitad del tiempo de simulación. Esto puede desembocar en dos posibles análisis: El almacén es incapaz de suministrar lo suficientemente rápido los productos por lo que se acumulan, o bien el proceso siguiente al almacén actúa como cuello de botella impidiendo que el inventario continúe su flujo. Puesto que se ha eliminado el tiempo de espera en el almacén, a los productos en cuanto entran en él se les asigna una estación de ensamblaje destino. Si todas las estaciones se encuentran ocupadas, el producto permanece en almacén a la espera de que quede libre una. Esto genera un aumento en el tiempo llamado de "no valor añadido", y en consecuencia, del Dock to Dock de cada producto que espera. Este hecho se puede observar en la figura 7.23 donde se recoge este tiempo sin valor añadido o tiempo no productivo.



Figura 7.23: Tiempo no productivo de cada producto acabado del ensayo a capacidad máxima. Fuente: Elaboración propia.

Se observa que conforme aumenta la saturación del inventario, a su vez aumenta el tiempo no productivo. Nuevamente hay que repetir que este tiempo es un cúmulo de esperas: Espera a la entrada de la planta cuando no hay sitio en almacén, espera cuando no existe una estación

disponible, espera a que el vehículo de mantenimiento llegue para su transporte, o retrabajos y reenvíos a proveedor. En la figura 7.24 se observa la utilización de cada una de las estaciones, con ella se podrá observar si verdaderamente son las causantes de la limitación del sistema.

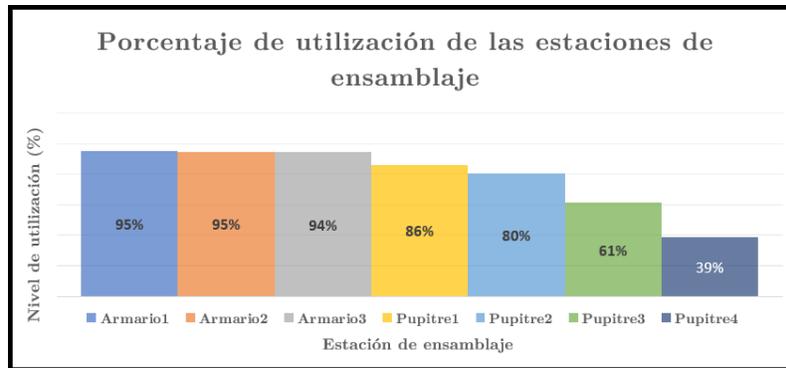


Figura 7.24: Porcentaje de utilización de las estaciones de ensamble del ensayo a capacidad máxima. Fuente: Elaboración propia.

Con la figura 7.24 se demuestra que las estaciones de ensamble de armarios eléctricos están al máximo de su capacidad de producción. Por encima del 94 % cada una de ellas, constituyen el nuevo cuello de botella de la planta, por tanto el almacén deja de ser la restricción que limita el sistema, como se observó en el estudio 1.

Como resultado de las mejoras propuestas, se ha logrado ofrecer un sistema donde el almacén deja de ser la limitación que impide aumentar la producción de la planta. Además, se ha logrado conocer que el siguiente paso de mejora será centrado en las estaciones de ensamble de armarios. Con las mejoras propuestas se logra incrementar la capacidad de producción de la planta en más de un 163 % de todos los productos en cuestión, respecto a la capacidad calculada actual.

7.5.3. Conclusiones del estudio

En la tabla 7.18 se recogen los descubrimientos, conocimientos y recomendaciones obtenidas en el tercer estudio del capítulo.

Descubrimientos, conocimientos y recomendaciones que derivan del estudio 3.	
Categoría	Desarrollo de la categoría
Descubrimientos	El nuevo diseño representa una disposición que gana capacidad de almacenamiento (más del doble que la actual) , mejor organización y facilidad de búsqueda de referencias. Además, se ha descubierto que reducir el tiempo de permanencia en el almacén reporta grandes beneficios a la planta.

Continúa en la siguiente página

Conocimientos	Proponer una nueva distribución de almacén, mejora la organización y la capacidad máxima de almacenaje. Este estudio ha permitido conocer que mediante la reducción del tiempo en almacén y crear un flujo continuo, el inventario se reduce, y aumenta la producción un 163 %.
Recomendaciones	Con el estudio se ha demostrado que implementar estas mejoras, permitirá eliminar el almacén como cuello de botella del sistema de producción. Crear un flujo continuo y disponer de un almacén con suficiente capacidad y organización, permitirá mejorar la capacidad de producción de la planta, reducir inventario acumulado, y a su vez reducir el Dock to Dock de cada producto ensamblado.

Tabla 7.18: Conclusiones del tercer estudio del capítulo. Fuente: Elaboración propia.

7.6. Estudio 4. Control de calidad a la entrada del almacén

7.6.1. Descripción del estudio

Para finalizar el capítulo se va a realizar un breve estudio de cómo afecta crear un control de calidad a la entrada de los productos en la planta. Después de analizar el taller, se observa que debido a defectos de calidad por parte del proveedor, los ensamblajes se ven interrumpidos a mitad de su montaje. Esto genera una importante repercusión negativa en el sistema debido a la larga espera (varios días) que el montaje queda pausado en la estación de ensamblaje. No solo alarga el tiempo hasta su entrega del producto en cuestión, sino que anula una estación de ensamblaje durante largos periodos, lo que reduce la capacidad productiva del taller.

Como solución a este incidente, y además evitar que se repita en varios productos del mismo tipo, se propone crear un control de calidad previo a la entrada del almacén. Con ello se evitará que el ensamblaje quede interrumpido a mitad de su producción y anule una estación de trabajo por completo.

Con este estudio se pretende demostrar las ventajas que este nuevo control, aporta al sistema de producción. Se ha de comparar el estado actual del taller, con el escenario donde se presente este control a la entrada del almacén del taller. Para esta comparación, se plantea la batería de experimentos expuesta en la tabla 7.19. Se simularán ambos escenarios bajo el nivel de demanda actual, y para además observar su comportamiento bajo gran demanda, se ensayará bajo el doble de la presente demanda.

Batería de experimentos. Estudio de crear un control de calidad.	
Número de escenario	Condiciones del escenario
Escenario 1	Demanda actual. Sin control de calidad.
Escenario 2	Demanda actual. Control de calidad previo a almacenaje.
Escenario 3	Doble demanda. Sin control de calidad.
Escenario 4	Doble demanda. Control de calidad previo a almacenaje.

Tabla 7.19: Batería de experimentos para evaluar la introducción de un control de calidad previo. Fuente: Elaboración propia.

Este control de calidad ha de ser ágil, y no debe de suponer una operación de larga duración, se establece en unos 25 minutos de media. La gran mayoría de retrabajos son causados por errores que a simple vista se pueden detectar. El control de calidad será principalmente visual, y estará estandarizado para que el operario que lo realice sepa en todo momento qué pasos ha de seguir. Este control de calidad está destinado a que se realice en cada lote que envíe el proveedor.

Para crear un ejemplo de cómo se ha de proceder en este control de calidad, y que sirva de hoja estándar para este tipo de operaciones, se va a mostrar un ejemplo de cómo sería la hoja de operaciones del control de los pupitres y armarios. Nuevamente remarcar que el objetivo es detectar precozmente los errores, evitando que el proveedor fabrique más productos con el mismo fallo.

En la figura 7.25 se muestran los ejemplos creados para este tipo de hojas estandarizadas destinadas al control de calidad. En el anexo se adjuntarán para facilitar su visualización.

Control de calidad				Taller eléctrico			
Producto	Descripción de la Parte	Proyecto	Serie	Proyecto	Serie	Figura No.	1/1
Amario		Armario eléctrico	3830-EURODUAL	Pupitre cabina		3826-EURODUAL	38301002
No.	Operación	Diagramas / Fotos / etc.					
1	Recuento de componentes	Verificar que toda la lista de componentes del pedido se recepciona.					
2	Revisión estructura	Verificar que no existen deformidades, y todos los mallas remache, como los agujeros se encuentran en buen estado.					
3	Revisión de pintura y soldaduras	Comprobar el estado de la pintura y soldaduras de la estructura y componentes. Especial atención a las zonas cercanas a soldaduras.					
4	Revisión soporteria	Comprobar que los soportes encajan en sus huecos correspondientes.					
5	Revisión puertas	Confirmar que cada puerta del armario cabe sin problemas en el espacio destinado de la estructura.					
6	Revisión paneles eléctricos	Comprobar que el número de guías y huecos de conexión corresponden con el indicado de cada panel.					
Emitido		Revisado	Verificado	Aprobado			
Nombre:		Nombre:	Nombre:	Nombre:			
Fecha:		Fecha:	Fecha:	Fecha:			

Control de calidad				Taller eléctrico			
Producto	Descripción de la Parte	Proyecto	Serie	Proyecto	Serie	Figura No.	1/1
Pupitre		Pupitre cabina	3826-EURODUAL	Pupitre cabina		3826-EURODUAL	38301002
No.	Operación	Diagramas / Fotos / etc.					
1	Recuento de componentes	Verificar que toda la lista de componentes del pedido se recepciona.					
2	Revisión estructura	Verificar que no existen deformidades, y todos las mallas remache, como los agujeros se encuentran en buen estado.					
3	Revisión paneles consola	Verificar que todos los paneles caben sin holgura en sus alojamientos.					
4	Revisión etiquetas y poliéster	Comprobar que el etiquetado de los paneles es limpio y los agujeros no quedan tapados. Y los embudilladores se encuentran en correcto estado.					
5	Revisión puertas	Confirmar que cada puerta del pupitre cabe sin problemas en el espacio destinado de la estructura.					
6	Revisión soporteria	Comprobar que los soportes encajan en sus huecos correspondientes.					
7	Revisión pintura y soldaduras	Comprobar el estado de la pintura y soldaduras de la estructura y componentes. Especial atención a las zonas cercanas a soldaduras.					
Emitido		Revisado	Verificado	Aprobado			
Nombre:		Nombre:	Nombre:	Nombre:			
Fecha:		Fecha:	Fecha:	Fecha:			

Figura 7.25: Hojas estándar guías de control de calidad. Fuente: Elaboración propia.

Estas hojas estándar no son permanentes en el tiempo, son un documento "vivo" que ha de ser actualizado y mejorado continuamente, con el objetivo de facilitar y agilizar el trabajo del operario. Sin embargo, no requiere la elaboración personalizada para cada nuevo proyecto donde los productos varíen. Con los planos del conjunto externo y algunos específicos que sean de especial interés, el departamento de compras en colaboración con el jefe de taller, señalarán las partes más importantes a revisar o las que más comúnmente suelen ser origen de errores. Estas hojas se

utilizarán como recordatorio de los pasos que se ha de seguir para completar el control, y serán añadidos más etapas o eliminadas algunas cuando sea preciso.

7.6.2. Análisis de los resultados

Tras la descripción del estudio, se van a exponer los resultados más importantes que derivan de la batería de experimentos propuesta en la tabla 7.19.

Comparativa al nivel de demanda actual.

En la primera pareja de experimentos, al tener una demanda significativamente por debajo de la capacidad máxima del taller, no se muestran grandes diferencias entre un experimento u otro. Como es de esperar, al colocar el control de calidad en el almacén, las estaciones de ensamblaje dejan de estar ocupadas largos periodos de tiempo hasta que finalice el retrabajo. Esto se ha de traducir en una reducción de utilización de las máquinas, y a su vez, un aumento en el tiempo de permanencia en el almacén de los productos retrabajados. Este último fenómeno se comprueba en la figura 7.26 donde se representa el tiempo que cada producto permanece en el almacén en el ensayo 2.

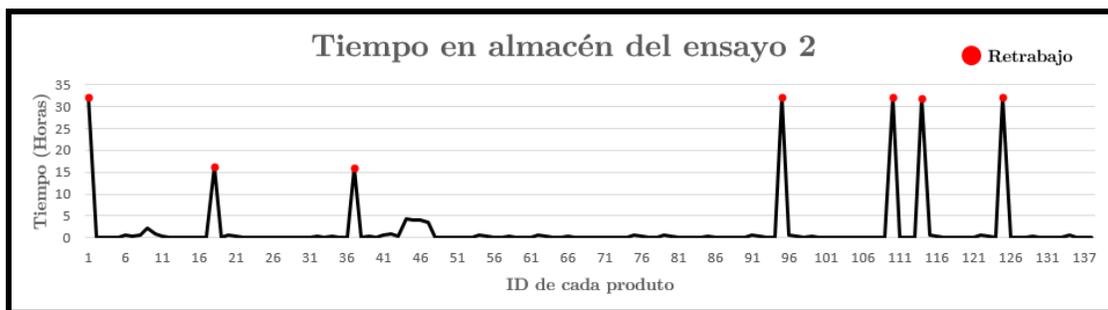


Figura 7.26: Tiempo transcurrido en almacén de cada producto. Fuente: Elaboración propia.

En el primer ensayo, el tiempo de almacenaje no presenta estos grandes picos ya que los retrabajos se detectan en taller. Además de lo mencionado, la utilización de las estaciones de trabajo dista un porcentaje significativo en ambos ensayos. El ensayo realizado con el control de calidad nuevo, presenta un grado de utilización de las estaciones de ensamblaje un 2 % menor que en el ensayo sin este control. El Dock to Dock de los productos no presenta diferencias considerables como para destacarlas, el valor medio es similar y la desviación se asemeja de igual forma, por tanto, no se tienen las suficientes pruebas como para obtener conclusiones de este resultado.

Respecto a la presente comparativa, se observa que cuando el nivel de demanda no es muy elevado, el taller tiene capacidad de producción suficiente como para no sufrir repercusiones negativas importantes con los retrasos debidos a los retrabajos. Es por ello que para observar diferencias más destacables se ha de someter al modelo a un nivel de demanda más exigente, de modo que las estaciones de ensamblaje comiencen a ser un recurso más explotado.

Comparativa al nivel de demanda duplicado.

Una vez se ha duplicado la demanda, se puede observar de forma más clara si con el nuevo control de calidad, se consigue reducir la utilización de las estaciones de ensamblaje y en consecuencia, liberar estos recursos para que puedan montar más productos en lugar de quedar interrumpidos por los retrabajos. En la figura 7.27 se muestra el nivel de utilización de cada una de las estaciones de ensamblaje durante los ensayos 3 y 4.

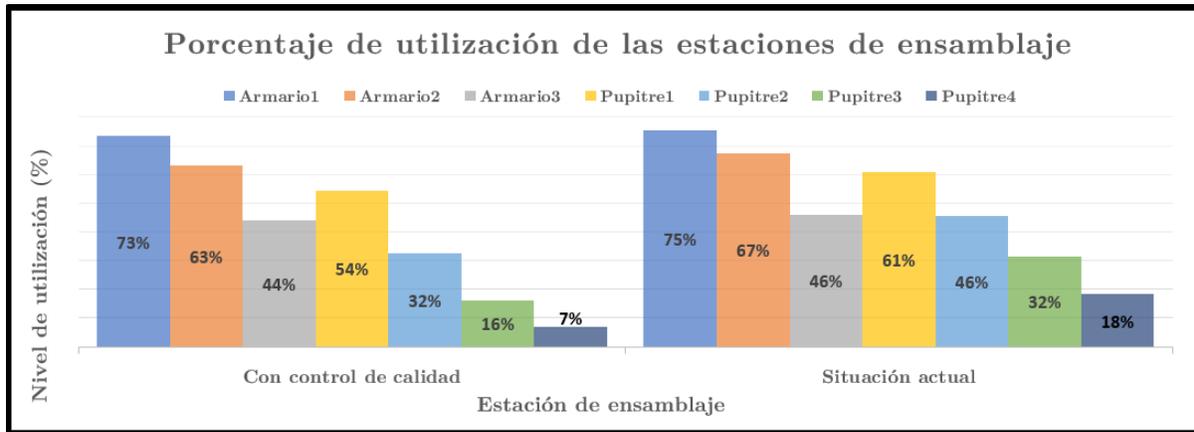


Figura 7.27: Grado de utilización de las estaciones de ensamblaje durante los escenarios 3 y 4. Fuente: Elaboración propia.

Prácticamente en todas las estaciones de ensamblaje se observa una reducción en la utilización de cada una. Para observar de forma más general el taller, en la tabla 7.20 se muestra el nivel de utilización medio de todas las estaciones unificadas.

Número de escenario	Nivel de utilización medio (%)
Escenario 3	49,30 %
Escenario 4	41,51 %

Tabla 7.20: Nivel de utilización medio de las estaciones de trabajo en los escenarios 3 y 4. Fuente: Elaboración propia.

Un 7,78 % de diferencia en la utilización de las estaciones, es una desviación importante. Traducido a número de horas, equivale a un total de 381 horas de trabajo. Teniendo en cuenta que el taller aún se encuentra considerablemente por debajo de la capacidad máxima, este margen se ampliará aún más.

El nuevo control de calidad no presenta únicamente ventajas. Como desventaja principal se encuentra el nivel de ocupación del almacén, donde el producto espera en proceso de retrabajo hasta recibir todos sus componentes modificados. En la tabla 7.21 se muestra el nivel de ocupación medio durante los dos escenarios 3 y 4.

Número de escenario	Nivel de ocupación medio del almacén (%)
Escenario 3	10,77 %
Escenario 4	5,13 %

Tabla 7.21: Nivel de ocupación medio del almacén en los escenarios 3 y 4. Fuente: Elaboración propia.

Se detecta un aumento del 5 % en la ocupación media del almacén. Este efecto era el que se esperaba como consecuencia de los largos periodos que cada unidad en retrabajo ha de permanecer en él. Con este resultado se observa que los retrabajos, aunque sean diferidos a zonas menos críticas del sistema, siguen siendo un problema que se ha de eliminar. Para ello se ha de concienciar a los proveedores y trabajar conjuntamente, para lograr alcanzar la cifra deseada de 0 retrabajos.

Finalmente se expone en la tabla 7.22, el Dock to Dock medio y su desviación estándar de cada producto en los ensayos 3 y 4 de la comparativa.

Dock to Dock (horas) de batería de experimentos.				
Escenario	Condiciones escenario	Producto	Promedio	Desv. estándar
Ensayo 3	Control de calidad y mejoras en almacén.	Pupitre	8,93	6,84
		Armario	8,62	3,72
Ensayo 4	Sin control y con mejoras en almacén.	Pupitre	10,12	9,50
		Armario	8,03	4,22

Tabla 7.22: Promedio y desviación estándar del Dock to Dock en los escenarios 3 y 4. Fuente: Elaboración propia.

Se observa una reducción importante del Dock to Dock promedio en los productos pupitre. Este hecho lo justifica la eliminación de los retrabajos en las estaciones de ensamblaje destinadas al montaje de pupitres. Este tipo de producto es el que más suele presentar fallos, por lo que al eliminar las interrupciones en producción, se aprecia la reducción en el tiempo de permanencia en la planta. Observando la desviación estándar, cabe mencionar el decremento en ambos productos de este valor en el ensayo con control de calidad, respecto al de sin control. Este resultado es beneficioso para el sistema ya que se reduce la variabilidad del tiempo Dock to Dock, y en consecuencia, esto permite mejorar la precisión con la que se planifican los pedidos y la fabricación.

7.6.3. Conclusiones del estudio

El último estudio del capítulo surge tras detectar interrupciones en la producción, en las estaciones de ensamblaje del taller eléctrico. Como solución provisional e inmediata, cuyo objetivo es evitar estas interrupciones en la producción, se propone crear un control de calidad a la entrada

del almacén. En la tabla 7.23 se recogen los descubrimientos, conocimientos y recomendaciones que se han obtenido del último estudio del capítulo.

Descubrimientos, conocimientos y recomendaciones que derivan del estudio 4.	
Categoría	Desarrollo de la categoría
Descubrimientos	Ante un nivel de demanda bajo como el presente, el taller dispone de capacidad suficiente como para no sufrir repercusiones negativas por las interrupciones de los retrabajos. Con el doble de demanda, el escenario con el control de calidad reduce la utilización de las estaciones de trabajo y estas absorben más pedidos a montar. El Dock to Dock promedio se ve reducido a causa de este cambio.
Conocimientos	Es preciso un nivel de demanda más alto para observar ventajas considerables en la producción al introducir este control de calidad. Eliminar las interrupciones en las estaciones de ensamblaje, traslada las paradas al almacén, que aumenta su nivel de ocupación. Liberar las estaciones de trabajo permite al taller aumentar su producción y eliminar colas de pedidos con mayor rapidez.
Recomendaciones	A pesar de que el control propuesto no implique grandes ventajas en la situación actual, puede repercutir muy positivamente si aumentara la producción. Además con este control se impone presión sobre el proveedor, trasladando a este los informes de no calidad con el objetivo de en un futuro a medio plazo reducir los retrabajos a cero.

Tabla 7.23: Conclusiones del cuarto estudio del capítulo. Fuente: Elaboración propia.

7.7. Conclusión

En el anterior capítulo de la memoria, se diseña el modelo de la simulación del taller eléctrico. Tras someter el modelo a un análisis de sensibilidad, el siguiente paso a continuación es utilizar esta herramienta como base para el desarrollo de diferentes investigaciones sobre el sistema modelado. El objetivo del capítulo es por un lado, conocer mejor el desempeño y rendimiento de la planta ante diferentes escenarios, y por otro, ofrecer mejoras que posibiliten solucionar los problemas actuales y mejorar la producción.

Con el **primer estudio** del capítulo se observa el comportamiento del taller ante diferentes niveles de demanda. Esto permite conocer el tiempo que cada producto permanece en el sistema aproximadamente, y por otro lado, conocer cómo se comporta el taller ante diferentes escenarios

donde o bien la demanda es muy elevada o viceversa. Uno de los resultados más importantes que derivan de este estudio ha sido conocer la capacidad máxima de la planta, que junto con el estudio del Dock to Dock, permitirá mejorar la planificación y tener información más fiable del taller en cuestión.

El **segundo estudio** dista radicalmente del anterior. Surge al observar que en el taller varía el sistema de producción irregularmente, y se crean lotes de tamaño incontrolado. Con este estudio se someten a comparación el sistema de producción por lotes y el de flujo continuo. El resultado de la segunda investigación concluye con la elección del flujo continuo como solución ante cualquier nivel de demanda. Con este sistema se reduce el inventario y el Dock to Dock, la planta se adapta y reacciona a los cambios de la demanda más rápidamente, y se detectan con mayor antelación los fallos de calidad evitando que sean numerosos.

Siguiendo la línea del primer estudio, se observa que el almacén es una limitación del sistema de producción, restringiendo así el número de productos máximo que se puede ensamblar. Esto junto con la necesidad de organización y desorden que se detectó en el análisis de problemas, lleva a centrar el foco en el almacén. En el **tercer estudio** se propone un rediseño de la distribución actual del almacén. Con esta propuesta, se demuestra las ventajas en cuanto a capacidad y organización, que esta nueva distribución aporta a la planta. Además, se introduce otra mejora basada en reducir al máximo la espera que cada producto permanece en el almacén, creando así un flujo continuo. Tras el estudio, se demuestra que tanto la nueva distribución, como la mejora propuesta, reportan grandes beneficios al sistema productivo, como la mejora de más del 160 % de la capacidad de producción máxima actual.

Finalmente el **cuarto y último estudio** que se recoge en el capítulo, tiene el objetivo de demostrar si introducir un control de calidad en la recepción de los pedidos de proveedores, deriva en mejorar el sistema productivo. Debido a que los retrabajos causan interrupciones en las estaciones de ensamblaje, se ha demostrado que creando este control a la entrada del almacén, se logra liberar las estaciones de trabajo considerablemente. Este efecto se verá incrementado ante escenarios de demanda mucho más grandes al actual, pero permite además, forzar al proveedor a mejorar la calidad de sus entregas hasta conseguir que no sean necesario ningún retrabajo.

Con todo lo expuesto, se finaliza el capítulo de las investigaciones sobre el modelo con un resultado adecuado a lo que se deseaba: Cumpliendo con el objetivo de conocer mejor el sistema actual, y proponer mejoras que permitan progresar a la planta eléctrica de Stadler. En el siguiente capítulo de la memoria se enunciarán las conclusiones del trabajo académico, seguido de los trabajos futuros que siguen la línea del presente proyecto.

Capítulo 8

Conclusiones

En el capítulo octavo del proyecto se va a realizar una síntesis de todo lo que se ha expuesto en la memoria en orden cronológico. Se evaluará la consecución de los objetivos propuestos, y se expondrán los conocimientos adquiridos. Finalmente se abordarán las futuras líneas de trabajo.

8.1. Conclusiones de la memoria

Con el segundo capítulo se contextualiza el proyecto. Se ofrece una visión general del funcionamiento de Stadler Raíl y su sede valenciana, permitiendo así entender mejor los objetivos y el objeto del trabajo. Una vez expuesto el entorno empresarial, en el tercer capítulo se enuncia la teoría en la que se apoya el proyecto para su realización.

Sumamente ligado a los anteriores capítulos, se encuentra el análisis de la situación actual desarrollado en el capítulo cuarto. Aplicando la metodología VSM, se precipita un análisis del sistema productivo del taller eléctrico objeto. Este análisis es un importante resultado del proyecto, pues permite comprender desde una perspectiva general, el funcionamiento de la planta estudiada en la actualidad. De este análisis se desprende además, una serie de problemas que merman el rendimiento de esta sección de la empresa. A partir de técnicas de identificación y resolución de problemas, se puede centrar el foco sobre las principales causas raíces que originan los problemas detectados.

Localizados y descritos los problemas, en el capítulo siguiente se proponen diferentes soluciones a cada uno, para poder reducir o eliminar su efecto. Tras analizar las posibles opciones, se engloban bajo una misma propuesta: La elaboración de un modelo de simulación. Con esto, el quinto capítulo finaliza unificando las posibles soluciones de mejora, puesto que con este modelo se puede abordar un profundo estudio sobre la producción de la planta y su capacidad, plantear una redistribución del almacén, o estudiar introducir un nuevo control de calidad.

A continuación, en el capítulo sexto se describe la construcción de este modelo de simulación. Mediante la arquitectura de cuatro capas, se ha elaborado la herramienta de simulación que repre-

senta el funcionamiento del taller eléctrico. Inmediatamente a continuación de su elaboración, se realiza un análisis de sensibilidad que permite validar el modelo. Como resultado del capítulo se obtiene una herramienta que permite representar con el suficiente rigor, el comportamiento del sistema físico, y puede ser utilizada para las investigaciones que se requieran. Una vez se dispone del modelo de simulación, se realizan en el capítulo séptimo cuatro investigaciones: Un estudio del taller eléctrico en su estado actual, la comparación entre la producción en lotes y en flujo continuo, las ventajas que reporta una nueva distribución del almacén con mejoras propuestas, y finalmente el efecto que provoca introducir un control de calidad previo a la planta.

Inicialmente, los objetivos del proyecto que se proponían se basaban en: Describir el taller eléctrico y su comportamiento, diagnosticar los posibles problemas que presente, predecir el comportamiento del taller ante posibles escenarios futuros y finalmente proponer soluciones realistas que permitan mejorar el sistema. Con la realización de este capítulo, y por ende, del proyecto completo, se ha conseguido conocer la capacidad de producción real de la planta, sus restricciones, así como su desempeño ante diferentes escenarios de demanda. Con este mayor conocimiento, tanto el jefe de taller, como el departamento de compras, planificarán de forma más ajustada los pedidos y la producción. Con la nueva distribución y mejoras del almacén, se ha demostrado que el almacén puede dejar de ser la restricción de la planta y aumentar considerablemente la capacidad de producción y la organización. También se consigue estandarizar el modelo de producción en flujo continuo, puesto que reporta numerosas ventajas en cuanto a capacidad de producción, reducción de inventario y mejora de calidad. Introducir un control de calidad, exige además al proveedor un mayor estándar de calidad y a su vez, elimina las interrupciones en las estaciones de ensamblaje.

Con todo lo enunciado se puede declarar que se han cumplido con los objetivos establecidos. Se ha completado un proyecto que partiendo de un análisis de situación, se han detectado una serie de problemas. Analizando la causa y proponiendo una serie de posibles soluciones, se establece una línea de acción a seguir para mejorar el sistema en estudio. Finalmente se lleva a cabo la solución elegida, reportando importantes beneficios a la planta.

8.2. Lecciones aprendidas

Por la parte académica se ha logrado mejorar la capacidad de auto-gestión del tiempo. Además, se ha aprendido a desarrollar una metodología estandarizada de resolución de problemas que puede ser extendida a cualquier situación y empresa.

La construcción del modelo de simulación ha permitido adquirir otra perspectiva a la hora de entender la planta en estudio. Al margen de aprender a desarrollar y programar la lógica de la planta, este proyecto ha ayudado a comprender la influencia que determinados cambios en las operaciones, pueden tener en el funcionamiento del sistema productivo.

8.3. Futuras líneas de trabajo

Este proyecto constituye el punto de partida para establecer una filosofía de mejora continua en el taller eléctrico de Stadler Rail. Supone el inicio de conocer adecuadamente el estado de la planta productiva, y a partir de su análisis, localizar oportunidades de mejora para avanzar de forma constante a la meta deseada del lean: la excelencia y desperdicio cero.

Dicho esto, la línea principal de trabajo que se ha de seguir por parte de todo empleado de la empresa es familiarizarse con Kaizen. Conseguir involucrar a todo el personal de la planta en el proceso de mejora continua, reportará grandes beneficios a corto, medio y largo plazo, además de mejorar el ambiente de trabajo.

Si se centra el foco de atención sobre el sistema productivo, existen varios caminos a seguir para progresar en la mejora de la planta. En primer lugar poner en práctica las medidas de mejora propuestas en este proyecto, y demostrar que reportan un beneficio real a la producción. Seguidamente, una vez se hayan implantado, el siguiente paso será centrar el estudio en las estaciones de ensamblaje de los armarios eléctricos que constituirán la siguiente restricción del sistema. El proceso es cíclico, una vez se detecte la restricción, se trabaja para solventarla y continuar en el camino de mejora continua.

Respecto al modelo de simulación, la línea de trabajo que continua con el proyecto será estudiar el abastecimiento de la estaciones de ensamblaje. El siguiente bloque que se implementará será el suministro de materia prima y maniqués de cable a los puntos de ensamblaje de los productos en el taller. Se ha de centrar el estudio en esta parte del proceso, para corroborar que el aumento de producción puede ser absorbido por esta sección del sistema. El modelo es una herramienta que está en evolución constante, con el fin de ayudar a entender la planta física y progresar de la mano de la filosofía Kaizen.

Bibliografía

- [1] Stadler Raíl AG. *Código de Conducta del Grupo Stadler Rail*. 2018. URL: https://www.stadlerrail.com/media/pdf/20180701_verhaltenskodex_stadler_rail_group_es.pdf.
- [2] Stadler Raíl AG. *Modern slavery act statement*. 2015. URL: https://www.stadlerrail.com/media/pdf/modern_slavery_act_statement.pdf.
- [3] Stadler Raíl AG. *Stadler Raíl: Sobre nosotros*. 2020. URL: <https://www.stadlerrail.com/es/sobre-nosotros/>.
- [4] Isabel Domingo. “La valenciana Stadler opta al megacontrato de Renfe para renovar la flota de Cercanías”. En: *Las provincias* (2020). DOI: <https://www.lasprovincias.es>.
- [5] ELIYAHU M. GOLDRATT. *La Meta*. Estados Unidos: North River Press, 1984.
- [6] Jeffrey K. Liker. *The Toyota Way*. Nueva York: McGraw-Hill, 2004.
- [7] Aída Sáes Más, José P. García-Sabater y Joan Morant Llorca. “Using 4-Layer Architecture to simulate product and information flows in manufacturing system”. En: *International Journal of Simulation Modelling* 17.1 (2018), págs. 30-41. DOI: 10.2507/IJSIMM17(1)408.
- [8] Aída Sáes Más y col. “Metodología de simulación data driven utilizando una arquitectura de 4 capas de simulación por eventos discretos”. En: *Working Papers on Operations Management* 7.1 (2016), págs. 22-30. DOI: <http://dx.doi.org/10.4995/wpom.v7i1.4727>.
- [9] Mike Rother y John Shook. *Learning to see*. Massachusetts: The Lean enterprise Institute, 1999.
- [10] José Pedro García Sabater. *Clasificación Cadenas de Suministro*. 2014.
- [11] Stadler Raíl SAU. *Declaración ambiental*. 2018. URL: https://www.stadlerrail.com/certifications/stav/declaracion_ambiental_2018.pdf.
- [12] James P. Womack y Daniel T. Jones. *Lean Thinking*. Estados Unidos: Taylor y Francis, 1996.

PRESUPUESTO

1. Consideraciones generales

El presente documento constituye el presupuesto del proyecto titulado "Análisis de situación y propuestas de mejora en la distribución en planta del taller eléctrico de Stadler Rail". El proyecto se enmarca en el ámbito de la consultoría. Esta denominación se justifica debido a que el proyecto consiste en analizar la situación de la planta de producción objeto, y seguidamente plantear oportunidades de mejora. Dicho esto, el activo principal será la Mano de Obra de las personas que se han involucrado en el proyecto.

Las consideraciones que se han tenido en cuenta a la hora de la elaboración del presupuesto han sido las siguientes:

- **Costes Indirectos:** Se trata de todo coste que es de difícil evaluación y necesitan ciertos criterios de reparto por ser utilizados simultáneamente por dos o más objetos de coste. Se establece un 1 % del Presupuesto de Ejecución de Material y se incluirán desglosados en cada unidad de coste.
- **Gastos Generales:** Ascienden al 17 % respecto al Presupuesto de Ejecución de Material. En este apartado se incluirán los gastos asociados a los siguientes conceptos:
 - Material de oficina
 - Electricidad
 - Teléfono
 - Equipo de fotografía
 - Licencias de software
 - Equipos informáticos
- **Beneficio Industrial:** Se establece el valor del 6 % del P.E.M en concepto de Beneficio Industrial.

En la siguiente tabla se muestra el coste unitario por hora de la mano de obra que ha participado en el desarrollo del proyecto.

Agente implicado	Precio Mano de Obra (€/h)
Jefe de taller	22
Ingeniero Junior	25
Ingeniero Senior	50

2. Presupuestos parciales

Capítulo 1. Descripción del entorno y análisis de la situación actual

Número	Código	Uds (h)	Descripción	Coste unitario	Total (€)
1.1.	P01.01		Estudio del entorno del proyecto		
	MOJT1	10	Jefe de taller	22	220,00
	MOI11	30	Ingeniero Industrial Junior	25,00	750,00
	MOI12	1	Ingeniero Industrial Senior	50	50,00
			C.Indirecto (1%)	1020,00	10,20
			Coste total.....		1030,20
1.2.	P01.02		Elaboración del VSM AS-IS		
	MOI11	34	Ingeniero Industrial Junior	25,00	850,00
	MOI12	0,5	Ingeniero Industrial Senior	50	25,00
			C.Indirecto (1%)	875,00	8,75
			Coste total.....		883,75
1.3.	P01.03		Análisis y evaluación de impacto de los problemas detectados		
	MOI11	28	Ingeniero Industrial Junior	25,00	700,00
	MOI12	0,5	Ingeniero Industrial Senior	50	25,00
			C.Indirecto (1%)	725,00	7,25
			Coste total.....		732,25
1.4.	P01.04		Planteamiento de oportunidades		
	MOI11	9	Ingeniero Industrial Junior	25,00	225,00
			C.Indirecto (1%)	225,00	2,25
			Coste total.....		227,25

Capítulo 2. Propuesta de oportunidades y selección de soluciones

Número	Código	Uds (h)	Descripción	Coste unitario	Total (€)
2.1.	P02.01		Propuesta de oportunidades de mejora		
	MOI11	21	Ingeniero Industrial Junior	25,00	525,00
	MOI12	0,25	Ingeniero Industrial Senior	50	12,50
			C.Indirecto (1%)	537,50	5,38
			Coste total.....		542,88
2.2.	P02.02		Análisis y selección de soluciones a desarrollar		
	MOI11	15	Ingeniero Industrial Junior	25,00	375,00
	MOI12	0,5	Ingeniero Industrial Senior	50	25,00
			C.Indirecto (1%)	400,00	4,00
			Coste total.....		404,00

Capítulo 3. Construcción del modelo de simulación y validación

Número	Código	Uds (h)	Descripción	Coste unitario	Total (€)
3.1.	P03.01		Planificación del diseño		
	MOI1	15	Ingeniero Industrial Junior	25,00	375,00
	MOI2	1	Ingeniero Industrial Senior	50	50,00
			C.Indirecto (1%)	425,00	4,25
			Coste total.....		429,25
3.2.	P03.02		Diseño infraestructura del modelo		
	MOI1	32	Ingeniero Industrial Junior	25,00	800,00
	MOI2	0,25	Ingeniero Industrial Senior	50	12,50
			C.Indirecto (1%)	812,50	8,13
			Coste total.....		820,63
3.3.	P03.03		Programación de la lógica		
	MOI1	52	Ingeniero Industrial Junior	25,00	1300,00
	MOI2	2	Ingeniero Industrial Senior	50	100,00
			C.Indirecto (1%)	1400,00	14,00
			Coste total.....		1414,00
3.4.	P03.04		Construcción Base de Datos		
	MOI1	33	Ingeniero Industrial Junior	25,00	825,00
	MOI2	0,5	Ingeniero Industrial Senior	50	25,00
			C.Indirecto (1%)	850,00	8,50
			Coste total.....		858,50
3.5.	P03.05		Diseño capa visual		
	MOI1	27	Ingeniero Industrial Junior	25,00	675,00
	MOI2	0,5	Ingeniero Industrial Senior	50	25,00
			C.Indirecto (1%)	700,00	7,00
			Coste total.....		707,00
3.6.	P03.06		Validación y verificación del modelo		
	MOI1	35	Ingeniero Industrial Junior	25,00	875,00
	MOI2	1	Ingeniero Industrial Senior	50	50,00
			C.Indirecto (1%)	925,00	9,25
			Coste total.....		934,25

Capítulo 4. Diseño y desarrollo de investigaciones

Número	Código	Uds (h)	Descripción	Coste unitario	Total (€)
4.1.	P04.01		Planificación y propuestas de hipótesis de estudio		
	MOI1	7	Ingeniero Industrial Junior	25,00	175,00
	MOI2	0,5	Ingeniero Industrial Senior	50	25,00
			C.Indirecto (1%)	200,00	2,00
					202,00
4.2.	P04.02		Estudio 1. Capacidad de la planta y escenarios futuros		
	MOI1	35	Ingeniero Industrial Junior	25,00	875,00
	MOI2	0,12	Ingeniero Industrial Senior	50	6,00
			C.Indirecto (1%)	881,00	8,81
			Coste total.....		889,81
4.3.	P04.03		Estudio 2. Fabricación en lotes frente a flujo continuo		
	MOI1	35	Ingeniero Industrial Junior	25,00	875,00
	MOI2	0,12	Ingeniero Industrial Senior	50	6,00
			C.Indirecto (1%)	881,00	8,81
			Coste total.....		889,81
4.4.	P04.04		Estudio 3. Oportunidades de mejora en almacén.		
	MOI1	35	Ingeniero Industrial Junior	25,00	875,00
	MOI2	0,12	Ingeniero Industrial Senior	50	6,00
			C.Indirecto (1%)	881,00	8,81
			Coste total.....		889,81
4.5.	P04.05		Estudio 4. Control de calidad a la entrada de la planta		
	MOI1	20	Ingeniero Industrial Junior	25,00	500,00
	MOI2	0,12	Ingeniero Industrial Senior	50	6,00
			C.Indirecto (1%)	506,00	5,06
			Coste total.....		511,06

3. Resumen del presupuesto

Descripción del capítulo	Importe
Capítulo 1. Descripción del entorno y análisis de la situación actual	2.873,45 €
Capítulo 2. Propuesta de oportunidades y selección de soluciones	946,88 €
Capítulo 3. Construcción del modelo de simulación y validación	4.343,00 €
Capítulo 4. Diseño y desarrollo de investigaciones	3.382,49 €
Presupuesto de Ejecución de Material	11.545,82 €
<hr/>	
Presupuesto de ejecución de material.....	11.545,82 €
+ 17% Gastos generales.....	1.962,79 €
+ 6% Beneficio Industrial.....	692,75 €
Presupuesto de Ejecución por Contrata	14.201,35 €
Impuestos: + 21% IVA.....	2.982,28 €
<hr/>	
Presupuesto base de licitación	17.183,64 €

**El presupuesto de base de licitación asciende a la cantidad de DIECISIETE MIL
CIENTO OCHENTA Y TRES EUROS CON SESENTA Y CUATRO
CÉNTIMOS**

4. Retorno de inversión

En la tabla siguiente se adjunta el Cash Flow del grupo Stadler Raíl completo, así como el de su filial valenciana.

Ejercicio	2016	2017	2018	2019
Flujo S.R. AG	135.709.677,42 €	184.838.709,68 €	128.161.290,32 €	138.215.053,76 €
Flujo S.R. SAU	3.050.003,00 €	28.310,00 €	18.477.470,00 €	33.244.020,05 €

Fuente: Stadler Rail Financial Report

Puesto que utilizar los flujos de caja de la sede valenciana no es útil para ver el impacto en el taller eléctrico, se aproximará el estudio a los ingresos de la planta eléctrica. En la siguiente tabla se muestra en función de su producción, los ingresos asociados a cada tipo de producto fabricado.

Referencias	Unidades	Ingresos
Armario BT	87	522.000,00 €
Armario AC	87	505.000,00 €
Pupitre y consola	174	609.000,00 €
Cajas eléctricas	87	130.500,00 €
Cajas interc.	41	61.500,00 €
Armario pasajeros	82	492.000,00 €
Arañas	5	5.000,00 €
Armario eléctrico PAG	5	30.000,00 €
Canal de cableado	5	11.500,00 €

Fuente: Stadler Raíl

Estableciendo un conservador 4,8 % de cash flow sobre ventas, puesto que la compañía supera el 6 % anual, se obtiene el siguiente resultado de la tabla adjunta.

Total Ingreso	2.376.500,00 €
Cash Flow/ventas	4,8 %
Cash flow anual	114.058,00 €
Inversión	17.183,64 €
Resultado del primer año	96.264,36 €

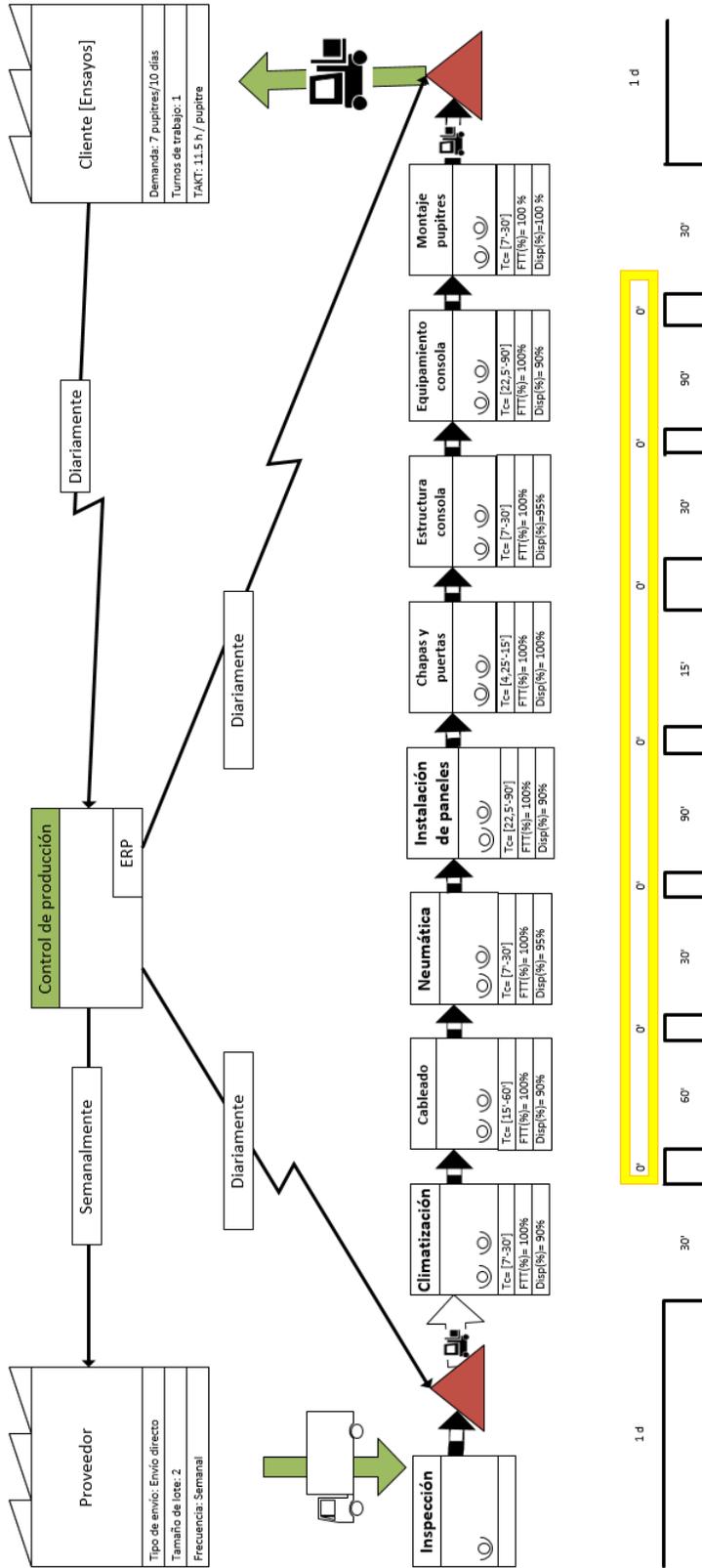
Fuente: Elaboración propia

La inversión de este proyecto para la empresa suponer un 0,72 % de sus ingresos anuales, y aproximadamente un 15 % de su flujo de caja anual. Resulta una inversión muy rentable puesto que se amortizaría con un aumento del 0,72 % en las ventas anuales. Y como se ha mostrado en las investigaciones, se han aportado propuestas de mejora que pueden incrementar hasta un 163 % la capacidad de producción.

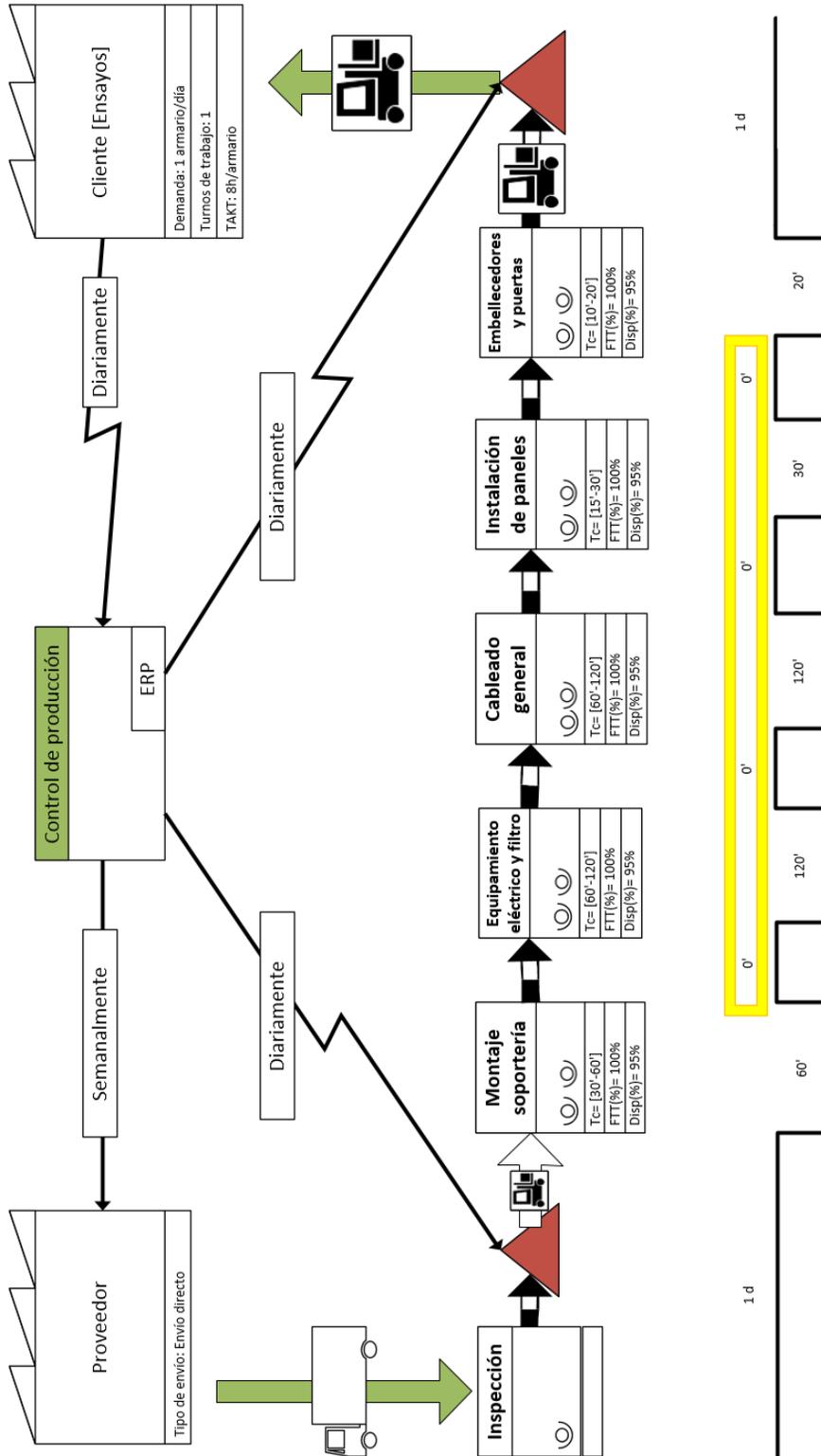
ANEXOS

1. Anexo 1

VSM TO-BE del montaje de pupitre cabina



VSM TO-BE del montaje de armarios eléctricos.



2. Anexo 2

Hoja de operación estándar de control de calidad de armarios eléctricos

Control de calidad		Taller eléctrico	
Producto	Descripción de la Parte:	Proyecto	Serie
Armario	Armario eléctrico	3830-EURODUAL	38301001
No.	Operación	Diagramas / Fotos / etc.	
1	Recuento de componentes	<p>Verificar que toda la lista de componentes del pedido se recepciona.</p> 	
2	Revisión estructura	<p>Verificar que no existen deformidades, y todos las masas remache, como los agujeros se encuentran en buen estado.</p>	
3	Revisión de pintura y soldaduras	<p>Comprobar el estado de la pintura y soldaduras de la estructura y componentes. Especial atención a las zonas cercanas a soldadura.</p> 	
4	Revisión soportería	<p>Comprobar que los soportes encajan en sus huecos correspondientes</p>	
5	Revisión puertas	<p>Confirmar que cada puerta del armario cabe sin problemas en el espacio destinado de la estructura.</p>	
6	Revisión paneles eléctricos	<p>Comprobar que el número de guías y huecos de conexión corresponden con el indicado de cada panel.</p> 	
Emisor		Firma/fecha	
Nombre:		Nombre:	
Función:		Función:	
Verifico		Aprobo	
Nombre:		Nombre:	
Función:		Función:	

Hoja de operación estándar de control de calidad de pupitres cabina

Control de calidad		Taller eléctrico	
Producto	Descripción de la Parte:	Proyecto	Serie
Pupitre	Pupitre cabina	3826-EURODUAL	38301002
No.	Operación	Diagramas / Fotos / etc.	
1	Recuento de componentes	<p>Verificar que toda la lista de componentes del pedido se recepciona.</p>	
2	Revisión estructura	<p>Verificar que no existen deformidades, y todos las masas remache, como los agujeros se encuentran en buen estado.</p>	
3	Revisión paneles consola	<p>Verificar que todos los paneles caben sin holgura en sus alojamientos.</p>	
4	Revisión etiquetas y poliéster	<p>Comprobar que el etiquetado de los paneles es limpio y los agujeros no quedan tapados. Y los embellecedores se encuentran en correcto estado</p>	
5	Revisión puertas	<p>Confirmar que cada puerta del pupitre cabe sin problemas en el espacio destinado de la estructura.</p>	
6	Revisión soportería	<p>Comprobar que los soportes encajan en sus huecos correspondientes</p>	
7	Revisión pintura y soldaduras	<p>Comprobar el estado de la pintura y soldaduras de la estructura y componentes. Especial atención a las zonas cercanas a soldadura</p>	
Emissor		Firma/fecha	
Nombre:		Aprobo	
Función:		Nombre:	
		Función:	

