



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:



“Si no eres capaz de describir lo que estás haciendo como un proceso entonces no sabes lo que estás haciendo”.

W. Edwards Deming

Agradecer a mi familia y amigos por estar siempre a mi lado. Han creído en mí en todo momento y me han apoyado incondicionalmente. Todo lo que soy es gracias a ellos. Mis logros y victorias no son nada sin ellos.

Agradecer también a la empresa Stadler Rail Valencia S.A.U. por permitirme desarrollar este TFM junto a ellos, en especial a toda la plantilla del Taller de Bogies y al Jefe de Taller. Su trabajo diario me ha servido de inspiración y ayuda, no sólo académicamente para este trabajo, sino también personal y técnicamente para comenzar mi carrera laboral.

Por último, y no por ello menos importante, agradecer a mi Tutor del TFM, por su ayuda, consejos y exigencia. Sin duda, uno de los mejores docentes que he conocido. Me llevo conmigo docenas de lecciones y, más aún, un amigo.

RESUMEN

El presente Trabajo de Fin de Máster trata de estudiar el actual sistema de captura de datos de la producción en una Fábrica de Vehículos Ferroviarios. En él se expone el actual sistema, manual y laborioso, y se propone un nuevo método digital y automático, más acorde al nivel de tecnología y desarrollo de las industrias del sector de hoy en día. Todo ello se lleva a cabo utilizando los conceptos teóricos estudiados en el Máster de Ingeniería Industrial y, más concretamente, en la Especialidad de Organización y Gestión Industrial.

Para conseguir dicho objetivo, es necesario desarrollar un nuevo estándar de trazabilidad de los diferentes proyectos, para así conocer de primera mano el avance de obra y la fase de construcción en la que se encuentran cada uno de ellos. Así, se pretende mejorar la captura de datos de producción para actualizar de manera más rápida y certera la Planificación de la Producción. De la misma manera, se pretende mejorar la estimación económica y proyectar el coste de cada uno de los proyectos hasta su finalización.

PALABRAS CLAVE

Diagrama de Ishikawa, Trazabilidad, Programación de la Producción, Círculo de Deming, Diagrama PACE, Resolución 8D, 5 por qué



RESUM

Aquest Treball de Fi de Màster tracta sobre l'estudi de l'actual sistema de captura de dades de la producció en una Fàbrica de Vehicls Ferroviaris. En ell s'exposa l'actual sistema, manual i laboriós, i es proposa un nou mètode digital i automàtic, més a prop del nivell de tecnologia i desenvolupament de les indústries del sector actuals. Tot açò es fa emprant els conceptes teòrics estudiats al Màster d'Enginyeria Industrial i, més concretament, a la Especialitat d'Organització i Gestió Industrial.

Per aconseguir dit objectiu, es necessari desenvolupar un nou estàndard de tratzabilitat dels diferents projectes, per així conèixer amb més precisió l'avanç d'obra i la fase de construcció en que es troben cadascun d'ells. Així, es pretén millorar la captura de dades de producció per actualitzar de manera més ràpida i precisa la Planificació de la Producció. De la mateixa manera, es pretén millorar la estimació econòmica i projectar el cost de cadascun dels projectes fins a la seua finalització.

PARAULES CLAU

Diagrama d'Ishikawa, Tratzabilitat, Programació de la Producció, Cercle de Deming, Diagrama PACE, Resolució 8D, 5 per qués



ABSTRACT

This Master's Thesis is about studying the current data capture system in a Railway Vehicle Factory. It exposes the current manual and laborious system, and proposes a new digital and automatic method, more in line with the technology and development level of the industries of today's sector. All this is carried out using the theoretical concepts studied in Master's Degree in Industrial Engineering and, more specifically, in the Speciality of Organization and Industrial Management.

To achieve this goal, it is mandatory to develop a new standard of traceability of the different projects, in order to know firsthand the progress of the work and the and the construction phase in which each of them is located. Thus, it is intended to improve the capture of production data to update production planning more quickly and accurately. In the same way, it is intended to improve the economic estimate and project the cost of each of the projects.

KEYWORDS

Ishikawa diagram, Traceability, Production Planning, Deming Cycle, PACE diagram, 8D solving, 5 whys



ÍNDICE GENERAL

MEMORIA	XIV
PRESUPUESTO.....	XXVIII
ANEXOS.....	XLIV



MEMORIA



ÍNDICE DE LA MEMORIA

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Contexto del trabajo	1
1.2	Objeto y motivación del trabajo.....	1
1.3	Objetivo del trabajo	2
1.4	Estructura del documento.....	2
2.	DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO DEL PROBLEMA	3
2.1	Introducción	3
2.2	Misión, visión y valores de la empresa.....	3
2.3	Historia de la empresa	4
2.4	Organigrama de la empresa	7
2.5	Productos	9
2.5.1	Locomotoras.....	10
2.5.2	Vehículos de pasajeros.....	12
2.5.3	Bogies	13
2.5.4	Servicios.....	18
2.6	Procesos	18
2.6.1	Proceso de fabricación general	19
2.6.2	Proceso de fabricación del Taller de Bogies.....	20
2.7	Conclusiones.....	25
3.	MARCO TEÓRICO.....	27
3.1	Introducción	27
3.2	Herramientas para definir y analizar problemas.....	27
3.2.1	Diagrama de Ishikawa	27
3.2.2	Los 5 por qué.....	28
3.2.3	Círculo de Deming o PDCA	28
3.2.4	Diagrama PACE.....	29
3.2.5	Diagramas de afinidad.....	30
3.2.6	Resolución 8D.....	31
3.2.7	AMFE de proceso	32
3.3	Trazabilidad	33
3.3.1	Tipos de trazabilidad	34

3.3.2	Códigos de trazabilidad	35
3.4	Programación de la producción	37
3.4.1	Planificación agregada de la producción.....	37
3.4.2	Planificación maestra de la producción	39
3.4.3	Planificación de requerimientos de materiales.....	41
3.4.4	Técnica del valor ganado.....	42
3.5	Método AHP (Analytic Hierarchy Process).....	43
3.6	Conclusiones.....	46
4.	ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL	47
4.1	Introducción	47
4.2	Contexto del análisis	47
4.3	Recogida de datos de los indicadores de productividad.....	48
4.3.1	Cierre de bonos de fabricación	49
4.3.2	Índice General de Productividad (IGP)	50
4.4	Recogida de datos de la producción	51
4.4.1	Proyección del coste de proyecto	51
4.4.2	Control del avance de obra	54
4.5	Planificación de la producción	55
4.6	Conclusiones.....	57
5.	ANÁLISIS DE LAS CAUSAS RAÍZ, VALORACIÓN Y PRIORIZACIÓN DE PLANES DE MEJORA... 59	
5.1	Introducción	59
5.2	Objetivos	59
5.3	Análisis de las causas raíz	59
5.3.1	Material	60
5.3.2	Método.....	60
5.3.3	Máquina	61
5.3.4	Mano de Obra	62
5.3.5	Entorno.....	62
5.4	Posibles planes de mejora.....	65
5.5	Estudio de mercado	66
5.6	Priorización de un plan de mejora	68
5.7	Conclusiones.....	69
6.	DEFINICIÓN DE UN NUEVO SISTEMA DE RECOGIDA DE DATOS DE LA PRODUCCIÓN	71

6.1	Introducción	71
6.2	Objetivo	71
6.3	Requisitos del sistema	71
6.4	Sistema de codificación y trazabilidad	74
6.4.1	Alternativas	74
6.4.2	Elección mediante método AHP.....	75
6.5	Plan de implantación.....	83
6.6	Implantación del sistema	84
6.7	Resultados	88
6.8	Conclusiones.....	88
7.	PROPUESTAS FUTURAS DE MEJORA	91
7.1	Introducción	91
7.2	Nuevo software de gestión	91
7.3	Cierre de bonos productivos	91
7.4	Secuenciación de la producción	93
7.5	Logística de materiales.....	95
8.	CONCLUSIONES	97
8.1	Conclusiones parciales	97
8.2	Dificultades encontradas.....	98
8.3	Lecciones aprendidas	98
8.4	Futuras líneas de trabajo.....	98
9.	REFERENCIAS	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Eje temporal de la empresa. [Fuente: Elaboración propia]	4
Figura 2: Naves de MACOSA. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]	5
Figura 3: Vista aérea de la planta de Albuxech. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.].....	7
Figura 4. Organigrama de Stadler Rail Valencia [Fuente: Stadler Rail S.A.U.].....	8
Figura 5. Organigrama del Área Industrial de Stadler Rail Valencia [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]	8
Figura 6: Mercados actuales y futuros. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]	9
Figura 7: EURO4000. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.].....	10
Figura 8: EUROLIGHT. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]	10
Figura 9: ASIALIGHT. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]	10
Figura 10: EURO3000 AC. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.].....	11
Figura 11: EURO3000. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.].....	11
Figura 12: F125. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]	11
Figura 13: EURODUAL. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.].....	11
Figura 14: Locomotora ancho vías estrecho. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.].....	12
Figura 15: Locomotora Dual UK. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.].....	12
Figura 16: CITYLINK. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]	12
Figura 17: TRAMLINK. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]	13
Figura 18: TUBELINK. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]	13
Figura 19. Plano general de Stadler Rail Valencia. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]	14
Figura 20. Distribución en Planta del Taller de Bogies. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]	15
Figura 21: Bogie. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]	16
Figura 22: Conjuntos principales de un bogie. [Fuente: Wikipedia y elaboración propia]	16
Figura 23: Bastidor de un bogie. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.].....	17
Figura 24: Ejemplos de Traviesas bailadoras de un bogie. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]	17
Figura 25: Proceso general. [Fuente: Elaboración propia].....	18
Figura 26: Proceso general de fabricación de un vehículo ferroviario. [Fuente: Elaboración propia]	19
Figura 27: Proceso de fabricación general del Taller de Bogies [Fuente: Elaboración propia]...	20
Figura 28: Procesos de fabricación del Taller de Bogies [Fuente: Elaboración propia]	21
Figura 29: Plantillas de oxicortes [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]	21
Figura 30: Recepción de material [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]	22

Figura 31: Montaje de larguero sobre útil y mármol [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]	22
Figura 32: Bastidor motor con soportes en virador de doble columna [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]	23
Figura 33: Estación robotizada de soldadura de largueros [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]	23
Figura 34: Estación de Mecanizado [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]	24
Figura 35: Diagrama de Ishikawa [Fuente: Elaboración propia]	28
Figura 36: Ciclo PDCA. [Fuente: Elaboración propia]	29
Figura 37: Diagrama PACE. [Fuente: Elaboración propia].....	30
Figura 38: Diagrama de Afinidad [Fuente: Elaboración propia].....	31
Figura 39. Impacto de los efectos en un AMFE de proceso. [Fuente: ROGLE. Universitat Politècnica de València]	32
Figura 40. Ejemplo de Trazabilidad [Fuente: [12]]	34
Figura 41. Ejemplo de cadena de suministro [Fuente: [14]]	35
Figura 42. Ejemplo de código de barras [Fuente: [15]].....	36
Figura 43. Ejemplo de Etiqueta RFID [Fuente: [16]].....	37
Figura 44. El PdP dentro de la empresa [Fuente: Elaboración propia]	38
Figura 45. Ejemplo de BOM de un Bogie equipado [Fuente: Elaboración propia]	41
Figura 46. Ejemplo de MRP de un Bogie equipado [Fuente: Elaboración propia].....	42
Figura 47. Curvas de coste de un proyecto usando la Técnica del Valor Ganado. [Fuente: Departamento de Proyectos de Ingeniería. ETSII-UPV]	43
Figura 48. Ejemplo de soldadura manual con hilo. [Fuente: [31]].....	48
Figura 49. Metodología basada en Bonos de Trabajo. [Fuente: Elaboración propia].....	49
Figura 50. Índice General de Productividad (IGP). [Fuente: Elaboración propia]	50
Figura 51. Proyección estimada del coste de MOD de un proyecto. [Fuente: Elaboración propia]	52
Figura 52. Horas concedidas en un Proyecto en Centro de Coste del Taller. [Fuente: Elaboración Propia]	53
Figura 53. Bonos repetidos en números de serie. [Fuente: Software SAP]	53
Figura 54. Identificación actual de una unidad producida. [Fuente: Elaboración propia].....	54
Figura 55. Ficha de Autocontrol. [Fuente: Stadler Rail Valencia].....	55
Figura 56. Planning de Producción de un Proyecto de Fabricación del Taller de Bogies. [Fuente: Stadler Rail Valencia y Elaboración Propia].....	55
Figura 57. Planificación Multiproyecto del Taller de Bogies. [Fuente: Stadler Rail Valencia].....	56

Figura 58. Diagrama de Ishikawa de los factores que producen Desperdicio en los Bonos Productivos. [Fuente: Elaboración propia]	60
Figura 59. Ejemplo de útil de calderería [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]	61
Figura 60. Equipo de soldadura obsoleto [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]	62
Figura 61. Hojas de Autocontrol en diferentes piezas. [Fuente: Stadler Rail Valencia].....	64
Figura 62. Diagrama de Afinidad de los problemas detectados. [Fuente: Elaboración propia] .	66
Figura 63. Diagrama PACE de los Planes de Mejora. [Fuente: Elaboración propia]	68
Figura 64. Ejemplo de RFID utilizado en la sede de Winterthur [Fuente: Stadler Winterthur AG]	75
Figura 65. Jerarquía del Método AHP [Fuente: Elaboración propia]	76
Figura 66. Prioridades globales del método AHP [Fuente: Elaboración propia].....	81
Figura 67. Identificación de pieza en el Taller de Bogies. [Fuente: Elaboración propia]	81
Figura 68. Significado de la codificación propuesta. [Fuente: Elaboración propia].....	82
Figura 69. Identificación de conjunto en el Taller de Bogies [Fuente: Stadler Rail S.A.U.].....	83
Figura 70. Soporte para identificación de piezas. [Fuente: Elaboración propia]	85
Figura 71. Chapa identificativa en larguero. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.].....	86
Figura 72. Detalle de la chapa identificativa. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.].....	86
Figura 73. Propuesta de Cierre de Bonos Productivos. [Fuente: Elaboración propia].....	92
Figura 74. Entorno software para la asignación de Bonos. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]	92
Figura 75. Proceso de Captura de Datos y Planificación de la Producción. [Fuente: Elaboración propia]	94
Figura 76. Secuenciación de la producción mediante imanes. [Fuente: Stadler Rail Valencia]..	94
Figura 77. Software Weldcube [Fuente: Fronius© 102[32]].....	99



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ejemplo de matriz de comparación con 3 elementos [Fuente: Elaboración propia]	45
Tabla 2. Problemas detectados en el Taller de Bogies. [Fuente: Elaboración propia].....	47
Tabla 3. Resumen de los problemas detectados en el Taller de Bogies. [Fuente: Elaboración propia]	57
Tabla 4. Importancia de los factores que producen Desviación de Bono. [Fuente: Elaboración propia]	63
Tabla 5. Resumen de los planes de mejora. [Fuente: Elaboración propia].....	68
Tabla 6. Requisitos del nuevo sistema de recogida de datos. [Fuente: Elaboración propia]	72
Tabla 7. Requisitos del soporte/etiqueta. [Fuente: Elaboración propia].....	72
Tabla 8. Stakeholders del nuevo sistema de recogida de datos. [Fuente: Elaboración propia] .	74
Tabla 9. Comparación pareada de criterios [Fuente: Elaboración propia]	76
Tabla 10. Matriz de comparación de alternativas para el Criterio 1 [Fuente: Elaboración propia]	77
Tabla 11. Matriz de comparación de alternativas para el Criterio 2 [Fuente: Elaboración propia]	78
Tabla 12. Matriz de comparación de alternativas para el Criterio 3 [Fuente: Elaboración propia]	78
Tabla 13. Matriz de comparación de alternativas para el Criterio 4 [Fuente: Elaboración propia]	79
Tabla 14. Vector propio del Criterio 1 [Fuente: Elaboración propia].....	79
Tabla 15. Vector propio del Criterio 2 [Fuente: Elaboración propia].....	79
Tabla 16. Vector propio del Criterio 3 [Fuente: Elaboración propia].....	80
Tabla 17. Vector propio del Criterio 4 [Fuente: Elaboración propia].....	80
Tabla 18. Matriz de prioridades globales [Fuente: Elaboración propia]	80
Tabla 19. Campos identificativos del nuevo sistema de codificación. [Fuente: Elaboración propia]	82
Tabla 20. Plan de implantación [Fuente: Elaboración propia]	84

**Por motivos de confidencialidad, todos los datos mostrados sobre la empresa se encuentran multiplicados por un factor K y los nombres de los Proyectos modificados.*



1. INTRODUCCI3N

1.1 Contexto del trabajo

El presente trabajo se enclava dentro de una empresa de fabricaci3n de vehculos ferroviarios, tales como locomotoras, vehculos de pasajeros y *bogies*. Dicho trabajo se ha realizado durante las pràcticas formativas del alumno Jorge Grande Ramàrez, alumno del Màster en Ingenierìa Industrial y especialidad Organizaci3n y gesti3n Industrial, en la empresa Stadler Rail Valencia.

Las pràcticas duraron 9 meses y se localizaron en el Àrea Industrial de la empresa, concretamente en la Producci3n del Taller de Bogies. Las tareas realizadas en las pràcticas se centraban, de forma general, en dar apoyo como Asistente al jefe del Taller y, màs concretamente, en las siguientes tareas:

- i. Seguimiento y control econ3mico de proyectos.
- ii. Planificaci3n y seguimiento de entregas.
- iii. Seguimiento de la productividad e indicadores de Taller.
- iv. Seguimiento y mejora de costes.
- v. Proyectos especiales de inversi3n y expansi3n.

Es durante la realizaci3n de dichas pràcticas donde se advierte la oportunidad de mejora y se comienza la elaboraci3n del presente Trabajo Fin de Màster. Al terminar las pràcticas, la empresa ofreci3 continuar la labor como trabajador de la empresa, realizando las mismas tareas. Màs tarde, en Octubre de 2019, se produjo la promoci3n al puesto de Asistente Ejecutivo del Director Industrial de la empresa, labor que continua hoy en dìa.

1.2 Objeto y motivaci3n del trabajo

La captura de datos de producci3n en la empresa se lleva haciendo desde hace mucho tiempo de forma manual, debido al difìcil y cambiante entorno productivo que supone una fàbrica pesada destinada a la fabricaci3n de vehculos ferroviarios, con un alto componente de trabajos manuales por parte de operarios cualificados.

A pesar de que la empresa ha implantado herramientas y plataformas para mejorar la gesti3n de la informaci3n interna, la gran cantidad de variables y proyectos gestionados por la misma ha hecho necesario destinar una apreciable cantidad de tiempo en tramitar y gestionar toda dicha informaci3n a travàs de los sistemas informàticos. Todo ello resulta en la dificultad en disponer de datos de la producci3n de manera eficiente en un corto periodo de tiempo y poder disponer fàcilmente de actualizaciones a cerca del estado del avance de obra.

Con una captura de datos màs eficiente y sencilla serìa màs fàcil conocer el estado global de los proyectos de fabricaci3n y detectar desviaciones en los mismos. Con ello, serà posible apoyarse en los sistemas de gesti3n actuales y poner el foco màs ràpidamente en aquella àrea o àreas de la empresa en la que es necesario tomar decisiones, cambiar la programaci3n o alterar los

recursos destinados en ella. Es decir, recoger datos productivos de manera más rápida para poder tomar decisiones lo antes posible que se alineen con la estrategia de la organización.

1.3 Objetivo del trabajo

El objetivo que persigue este documento es la mejora de la trazabilidad y la captura de datos productivos de los diferentes proyectos llevados a cabo dentro de la empresa. Para ello, se estudiará el sistema empleado en la actualidad para monitorizar el avance de las diferentes obras y se propondrá un nuevo sistema que mejore la eficiencia de dicha recogida de datos. Con todo ello, se conseguirá además una actualización más rápida de los programas de producción y una evaluación económica más rápida del estado de avance de los diferentes proyectos.

1.4 Estructura del documento

En primer lugar, se describirá la historia y entorno de la empresa hasta llegar a la actualidad en el Capítulo 2. También se describirán los procesos productivos que se llevan a cabo dentro de ella, detallando aquellas áreas en las que se enclava el estudio de este Trabajo de Fin de Máster.

A continuación, se presentarán los conceptos teóricos necesarios para entender el estudio y resolución de los problemas detectados en el Capítulo 3. Todos ellos enclavados dentro del temario académico del Máster en Ingeniería Industrial y, concretamente, en la Especialidad en Organización y Gestión Industrial de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universitat Politècnica de València.

Después se describirá detalladamente el área donde se enclava el estudio, haciendo hincapié en aquellas particularidades que hacen este Caso de Estudio singular, único y necesario. En los Capítulos 4 y 5, mediante los conceptos teóricos anteriormente descritos, se podrán identificar y analizar los problemas detectados para, posteriormente, en el Capítulo 6, definir una solución integrada en el área de trabajo estudiada.

Por último, se presentarán las conclusiones del documento en el Capítulo 8, se citarán las referencias bibliográficas utilizadas y se adjuntarán diversos anexos, para así, cerrar este Trabajo de Fin de Máster.

2. DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO DEL PROBLEMA

2.1 Introducción

Para entender los procesos y métodos que forman parte del contexto en el que se ubica el presente Trabajo Fin de Máster, es necesario presentar y explicar con detalle la empresa y las etapas de fabricación que se llevan a cabo dentro de ella. En este apartado se intenta acercar el complicado y cambiante contexto que rodea el funcionamiento diario de una empresa real de fabricación de vehículos ferroviarios. Sin ello sería imposible comprender y situar el estudio que se presenta en capítulos posteriores.

Para ello, se describe brevemente la historia de la organización hasta nuestros días en el Capítulo 2.3 y se explican los productos que fabrica en el Capítulo 2.5, haciendo hincapié en los Bogies. A continuación, en el Capítulo 2.6 se presentan todos los procesos productivos llevados a cabo en la empresa y se finaliza presentando las conclusiones en el Capítulo 2.7.

2.2 Misión, visión y valores de la empresa

La empresa Stadler Rail Valencia S.A.U. pertenece al grupo multinacional Stadler Rail AG con sede en Bussnang (Suiza) y comparte con ella la misión y visión empresarial de construir trenes desde la perspectiva de sus clientes. Stadler “escucha” al cliente y, conjuntamente, diseña y fabrica el vehículo ferroviario óptimo para éste, siendo para Stadler cada pedido un reto personal. Su lema “soluciones inteligentes sobre raíles” (en alemán, *“Clevere Lösungen auf der Schiene”*) resume bien dicha misión de empresa.

La visión de la empresa se describe a través de los siguientes compromisos:

- **Tecnología de vanguardia.** “Stadler no se para nunca. Perfeccionamos continuamente nuestras tecnologías para que todos los vehículos incorporen siempre las últimas novedades”.
- **Rentabilidad.** “Stadler es sinónimo de rentabilidad: gracias a una alta disponibilidad, unos costes de mantenimiento reducidos, la eficiencia energética y un bajo ciclo de vida”.
- **Colaboración.** “Stadler está junto con sus clientes como un importante socio, desde el primer contacto hasta la entrega del vehículo y aún después. Nuestras numerosas relaciones a largo plazo son la mejor prueba de ello”.
- **Fiabilidad.** “Puede confiar en Stadler. Como socio experimentado y competente, suministramos la máxima calidad, en plazo y bajo las condiciones acordadas”.
- **Flexibilidad.** “Stadler defiende un lema muy claro: Todo es posible. Nuestros ingenieros y diseñadores se esfuerzan al máximo para satisfacer los deseos de los clientes”.
- **Independencia.** “La independencia tiene gran importancia para Stadler. El presidente administrativo, Peter Spuhler, es accionista principal y tiene una participación mayoritaria en la empresa con empleados de alto rango y la Fundación RAG”.

Los valores que posee la empresa Stadler Rail Valencia S.A.U. y, que intenta transmitir diariamente a sus empleados son los siguientes:

- Espiritu emprendedor:
 - Innova y mejora de forma individual y colectiva.
 - Sé proactivo/a. El cambio es positivo, hay que vivir con él.
 - Delega, cree en tu gente y en tu mismo/a.
 - Practica la cooperación y la transparencia.
 - Sé optimista y constante. Gana quien resiste.
- Excelencia:
 - Predica con el ejemplo.
 - Realiza bien tu trabajo.
 - Aprende de los errores y aprende de los/las demás.
 - Hazlo bien a la primera.
 - Mide continuamente para mejorar.
 - Esfuérzate en escuchar al cliente.
- Confianza y compromiso:
 - Trata a los/las demás como tú quieres ser tratado/a.
 - Dedica tiempo a tu equipo. Tu trabajo afecta a los/las demás, piensa en ellos/as.
 - Escucha a tus colaboradores/as, que sean partícipes de tus decisiones.
 - Comunica, comunica y comunica. No generes rumores, pregunta.
 - Haz tuyas las decisiones de tu equipo.
 - Consigue la fidelidad de los clientes.
- Pasión:
 - Disfruta de tu trabajo.
 - Crea ilusión para llegar al objetivo marcado.
 - Siente que aportas valor, que merece la pena venir a trabajar cada día.
 - Utiliza el sentido del humor para crear un buen ambiente.

2.3 Historia de la empresa

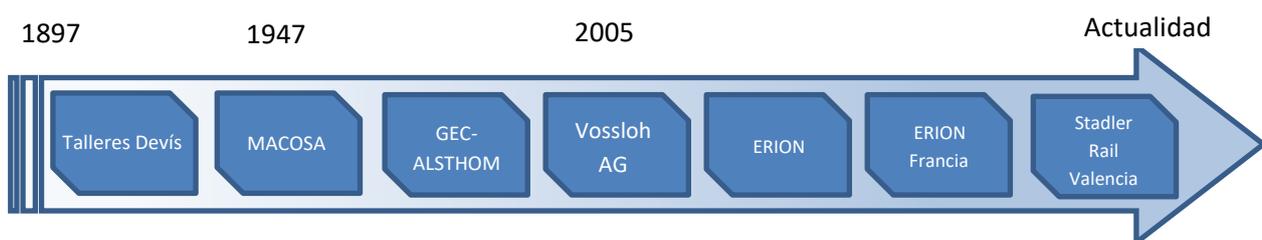


Figura 1: Eje temporal de la empresa. [Fuente: Elaboración propia]

Los inicios de la empresa se remontan a finales del siglo XIX, cuando Miguel Devís Pérez y José Noguera Chuliá, de profesión caldereros, crearon la sociedad “Devís y Noguera”. En ella se fabricaban máquinas industriales tales como calderas de vapor y bombas elevadoras, algunas de ellas presentadas en la Exposición Regional Valenciana de 1909.

Tras la disolución de la empresa en 1911, se constituye “Devís e Hijos” y se adquieren nuevos terrenos que expanden el negocio inicialmente situado en el barrio de Marchalenes de la ciudad de Valencia. El nuevo emplazamiento, conocido como “Talleres Devís”, corresponde a la actual

calle de San Vicente en Valencia, mejor situados y comunicados con la red ferroviaria y tranviaria de la ciudad. La producción de la empresa por aquel entonces iba destinada a la industria agrícola y a las estructuras metálicas.

En la segunda década del siglo XX, se crea en el España el Consejo Superior de Ferrocarriles, el cual ayuda a promover dicha industria en nuestro país. Ello provoca que la empresa comience a fabricar material ferroviario, para lo cual debe adaptarse, sucediéndose varias ampliaciones y cambios de distribución en la organización.

Más tarde llegaría un periodo de gran expansión, con la firma de nuevos contratos para la fabricación de vehículos ferroviarios, bajo la firma "Construcciones Devís". Se construyeron todo tipo de vehículos para las compañías ferroviarias Norte, MZA, Andaluces, Oeste, Central de Aragón, y diversos propietarios particulares de vagones.

La Guerra Civil Española paralizaría durante varios años la producción, hasta la creación de RENFE (Red Nacional de Ferrocarriles Españoles), la cual realizaría numerosos pedidos a los fabricantes ferroviarios del país, con tal de reactivar dicho sector. En concreto, se le adjudicaron a la empresa la construcción de 250 unidades de vagones tipo "J", para lo cual se hizo necesaria la ampliación de la capacidad de la fábrica con la adquisición de unas bodegas en Alcázar de San Juan (Ciudad Real).

Tras la fusión en 1947 con otra empresa, se forma "Material y Construcciones S.A", conocida como MACOSA, cuyos talleres se muestran en la Figura 2. La misma poseía sedes por todo el país, centrándose en Valencia a la construcción y reparación de locomotoras de ferrocarril, vehículos de pasajeros, vagones, tranvías y trenes suburbanos.



Figura 2: Naves de MACOSA. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]

Fue entonces cuando comenzó la comercialización a otros países, también en el mercado de equipos industriales y en materia de verificación y ensayo de materiales y productos.

A mediados de siglo, se cierran diversos acuerdos con la estadounidense General Motors – EMD, comenzándose así una colaboración tecnológica que resultaría en el diseño y fabricación de locomotoras diésel-eléctricas. Con ello, la empresa se colocaría por aquel entonces como la sexta empresa exportadora española.

Durante los 70, la empresa se traslada a la población de Albuixech, cerca de la capital, para expandir sus instalaciones, tras lo cual comenzaría un periodo de declive.

Tras la aprobación del Plan de Transporte Ferroviario en 1987, se crean nuevos acuerdos para la fabricación de vehículos ferroviarios y tratar de sacar al sector de la crisis. Justo dos años después, MACOSA se convierte en GEC-ALSTHOM tras la realización de diversos acuerdos con otra organización. Así se reactiva la producción de locomotoras y vehículos ferroviarios, propiciando el aumento de la capacidad tecnológica de la empresa.

A mediados de la década de los 90, la imagen corporativa y la presencia en el sector de la empresa se refuerzan enormemente, tras importantes contratos como el del Metro de Valencia. Tras ello, toda la fabricación de la empresa se desplaza a la nueva ubicación de Albuixech, pasando a ser esta la sede oficial de la organización, la cual se muestra en la Figura 3.

Posteriormente, aumentan de manera importante las exportaciones al extranjero, superando así a la producción destinada al mercado inicial. Ejemplo de ello son los contratos firmados con países como Israel, Reino Unido o Estados Unidos.

Con la llegada del siglo XXI, llega una importante crisis al grupo, viéndose obligado a vender terrenos de la empresa para generar liquidez. En 2004 tal sería la crisis que necesitarían un plan de rescate para salir adelante.

En 2005, el grupo alemán Vossloh AG se haría con el control de la fábrica, firmándose de nuevo importantes acuerdos nacionales e internacionales de diseño, fabricación y mantenimiento de todo tipo de vehículos ferroviarios.



Figura 3: Vista aérea de la planta de Albuixech. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]

Nueve años más tarde, la multinacional alemana decide poner a la venta su división de transporte, momento en el cual el grupo suizo Stadler Rail AG adquiere la fábrica valenciana. Es en ese momento cuando se constituye Stadler Rail Valencia S.A.U., abriéndose una nueva etapa de fabricación de locomotoras, vehículos de pasajeros y *bogies*.

2.4 Organigrama de la empresa

Como se ha adelantado anteriormente, Stadler Rail Valencia S.A.U. pertenece al grupo multinacional Stadler Rail AG con sede en Suiza y forma en sí misma la División España del grupo. El organigrama de la empresa se muestra en la Figura 4. Como el trabajo se enclava dentro del área industrial, se muestra también su organigrama en la Figura 5.

STADLER

Stadler Division Spain STAV

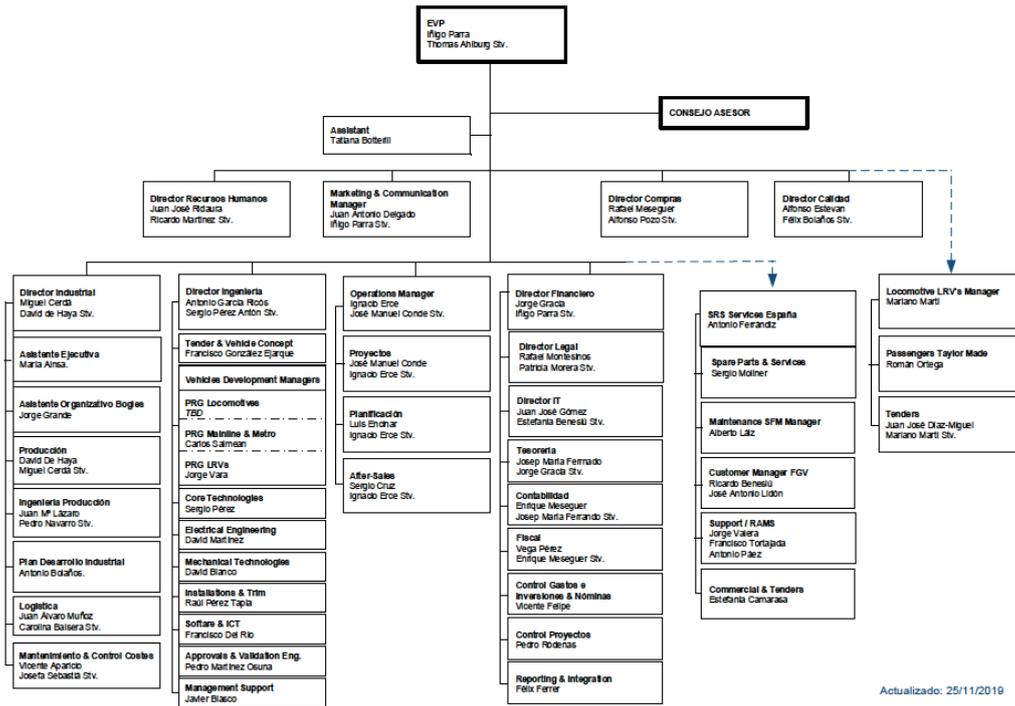


Figura 4. Organigrama de Stadler Rail Valencia [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]

STADLER

Stadler Valencia Organigrama

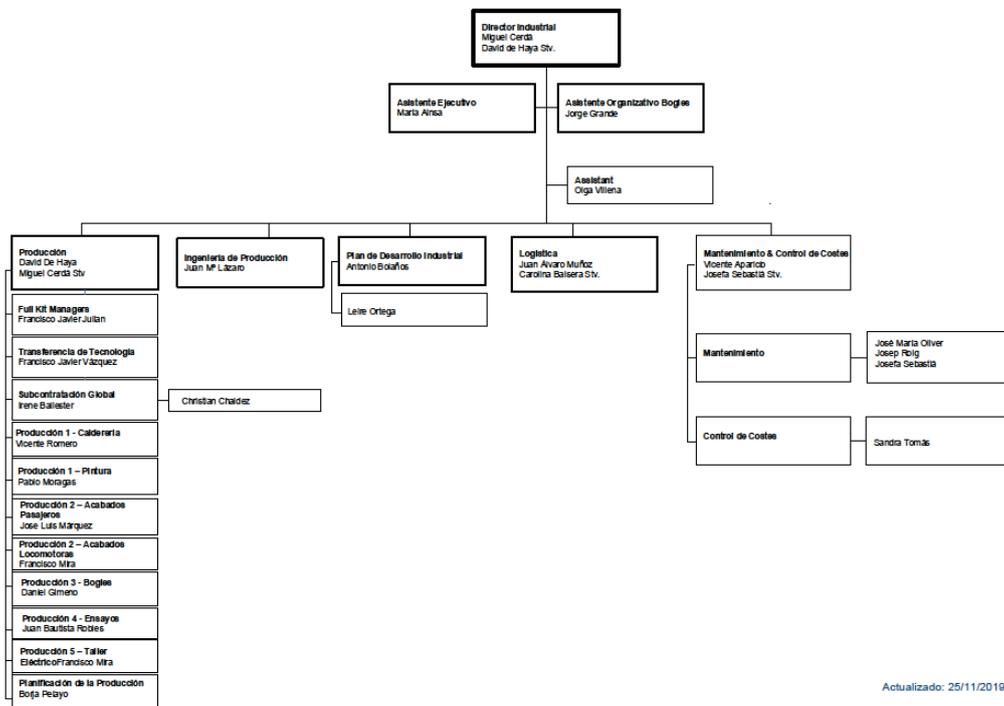


Figura 5. Organigrama del Área Industrial de Stadler Rail Valencia [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]

2.5 Productos

En Stadler Rail Valencia S.A. son diseñadas y fabricadas tres gamas de productos: locomotoras, vehículos de pasajeros y *bogies*.

Son muchos los países alrededor del mundo a los que la empresa distribuye sus productos, siendo la intención de la empresa seguir dicha expansión hacia nuevos mercados, tal y como se puede ver en la Figura 6.

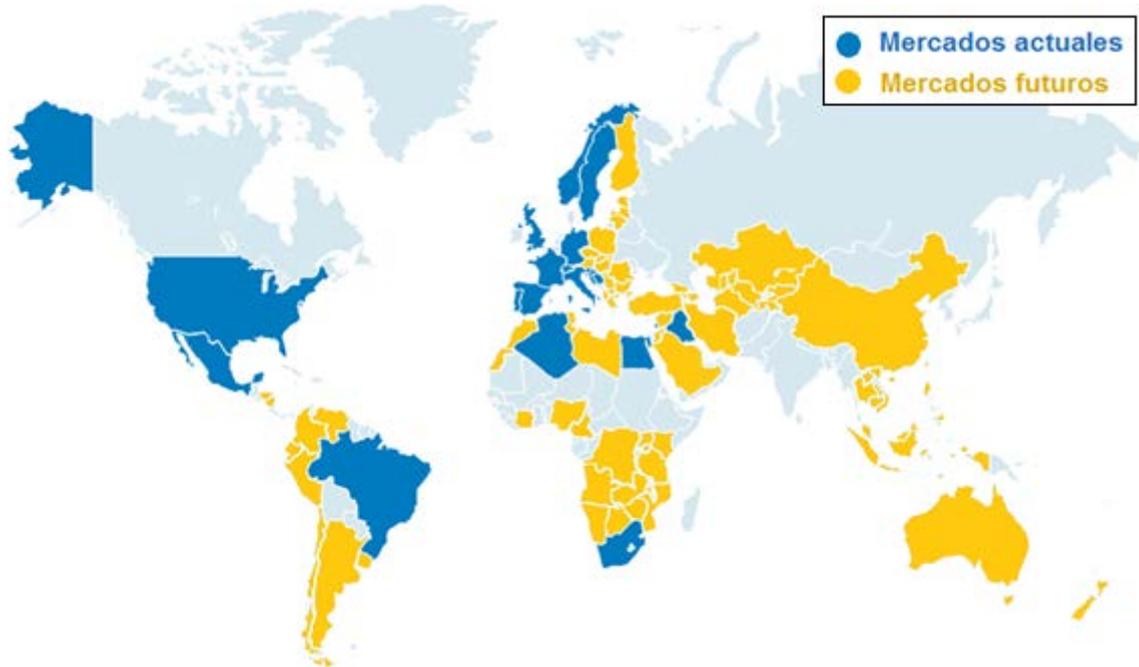


Figura 6: Mercados actuales y futuros. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]

La principal forma de trabajo de la empresa es bajo pedido del cliente, adaptando su producción a los requisitos y exigencias de este. Mejor dicho, realiza un constante trabajo de “*Engineer-To-Order*”, es decir, diseñando soluciones bajo pedido, ya que cada proyecto posee unas características y requerimientos únicos. Aunque dentro de cada tipología de vehículos ferroviarios existan algunos que compartan diferentes características constructivas, cada proyecto es único en su diseño y fabricación. El número de unidades por proyecto suele ser entre 5 y 10 en el caso de las locomotoras, hasta alrededor de 50 en el caso de vehículos de pasajeros. Además, el Taller de *Bogies*, al encontrarse dentro de la División Componentes de la compañía, fabrica bastidores sin equipamiento y bogies equipados para otras fábricas del grupo en Suiza, Polonia y Alemania.

Al haber una gran variedad de proyectos con unos altos requerimientos de calidad, existe una gran dificultad a la hora de estandarizar o medir el desempeño del trabajo. De esta manera, cada vez que se comienza un nuevo proyecto, comienza con él la curva de aprendizaje de los operarios que aumenta los tiempos productivos en las primeras unidades de cada serie. Es por ello por lo que se hace necesaria una rápida y eficiente medida del desempeño que capture los datos de la producción durante todas las fases del proyecto.

A continuación, se presentan los diferentes productos que realiza la compañía, estando agrupados aquellos con características similares.

2.5.1 Locomotoras

En cuanto a locomotoras, se presentan a continuación los distintos tipos y sus principales características. Las siguientes imágenes pertenecen a la empresa donde se desarrolla este trabajo:

- **EURO4000:** Locomotora diésel-eléctrica de gran potencia.



Figura 7: EURO4000. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]

- Más de 100 locomotoras vendidas
- Locomotora de 6-ejes basadas en componentes robustos probados en el servicio comercial.
- Operaciones transfronterizas, homologadas en la mayoría de los países europeos.
- Servicio de mercancías y pasajeros
- Distintos anchos de vía (1067mm, 1435mm, 1668mm)

- **EUROLIGHT / UKLIGHT:** Locomotora diésel-eléctrica con mejor ratio potencia/peso



Figura 8: EUROLIGHT. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]

- La locomotora DE de 4 ejes, 2800 kW y menos de 20 t/eje
- Diseñada para el mercado europeo (cumplimiento de ETIs). Versión disponible para Reino Unido.
- Respetuosa con el medioambiente de acuerdo con los requerimientos más exigentes.
- Flexible y personalizable: el servicio de pasajeros y mercancías; distintos anchos de vía.

- **ASIALIGHT:** Locomotora Ligera y potente sobre vía estrecha.



Figura 9: ASIALIGHT. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]

- Locomotora de 6-ejes basada en la plataforma de EUROLIGHT diseñada para vía estrecha de Asia suroriental (1000mm y 1067mm)
- Potente: por encima de 2800 kW
- Ligera: desde 16 t/eje
- Servicio de pasajeros y mercancías

- **EURO3000 AC:** Push-pull locomotive



Figura 10: EURO3000 AC. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]

- La más ligera y rápida (por encima de 200 km/h) con cadena de tracción AC de EMD
- Flexibilidad: diseñada para prestar servicio de transporte de mercancías y pasajeros a alta velocidad en un ambiente adverso.
- Motor diésel y sistema de tracción muy fiables.

- **EURO3000:** Power car



Figura 11: EURO3000. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]

- Compatible con distintos coches de pasajeros
- Diferentes soluciones de HEP según cliente
- Diseñada para condiciones medioambientales extremas

- **F125:** Locomotoras de pasajeros para el mercado de EE. UU.



Figura 12: F125. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]

- Estructura ligera en mono-coque que cumple la normativa FRA /APTA
- Normativa PRIIA (incluyendo el control de la energía de choque)
- Trenes de alta velocidad (por encima de 125 mph)
- 4700 HP Tier IV Motor Diésel con inversor AC del sistema de control de tracción.

- **EURODUAL:** Versatilidad para los operarios europeos



Figura 13: EURODUAL. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]

- 6MW en el modo eléctrico. Opción multisistema (diferentes tipos de voltaje)
- Diferentes soluciones IIIb para la tracción diésel: uno o dos motores, de 700kW hasta 2.8MW
- Operaciones transfronterizas por Europa
- Basado en los subsistemas desarrollados en nuestras otras plataformas de locomotoras diésel

- **Locomotoras de tracción Duales para ancho de vía estrecho**



Figura 14: Locomotora ancho vías estrecho. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]

- Solución de 4 y 6-ejes para anchos de vía métrico y del Cabo (África, Australia)
- Solución de 3kV (25kV opcional)
- Servicios de pasajeros y mercancías

- **Locomotora de tracción Dual para Reino Unido**



Figura 15: Locomotora Dual UK. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]

- Estructura acuerdo con el gálibo de Reino Unido
- Cumplimiento de ETIs & GM/RT (el estándar de Reino Unido)
- Locomotora de 4-ejes para los servicios de Pasajeros y Mercancías (HEP incluido)
- 4MW en el modo eléctrico y 700kW en el modo diésel

2.5.2 Vehículos de pasajeros

- **CITYLINK**



Figura 16: CITYLINK. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]

- Tram Tren con plataforma de un nivel más bajo de su clase (340mm).
- 10 amplias puertas dobles y más de 100 asientos (en la configuración de 3 coches).
- Normativa *Crash* (EN15227 Category C-III).
- Homologación (EBO / BOStrab / GM/RT).
- Bogie giratorio, equipado con la suspensión de aire, con 720mm de diámetro de rueda.
- Diferentes aplicaciones del suministro de energía: Mono o bitensión, diésel o híbrido.

- **TRAMLINK**



Figura 17: TRAMLINK. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]

- Tranvías articulados de varios módulos y 100% piso bajo
- *Bogie* con ejes y ruedas de gran diámetro (por encima de 600mm). Diseño registrado
- El mejor confort y dinámica (incluso en curvas con radio pequeño)
- Máxima capacidad posible sobre *bogies* con 16 asientos sin rampas ni escalones
- Cumple la normativa *crash* y certificado *BOStrab*.
- Opcional: sistema *free-catenary* embarcado (baterías o *supercaps*)

- **TUBELINK**



Figura 18: TUBELINK. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]

- Tecnologías probadas
- Gran capacidad, flexible y diseño
- Preparado para servicio operacional suburbano o en la superficie, urbano o interurbano
- Altos requerimientos de seguridad.
- Sistemas redundantes operación automática de tren ATP/ATO
- La configuración de equipo orientada al mantenimiento

2.5.3 *Bogies*

En Stadler Rail se diseñan y fabrican *bogies* para distintos tipos de locomotoras y trenes de pasajeros. El *bogie* se trata de la estructura rodante sobre la cual descansan los vagones, coches de ferrocarril y locomotoras de los trenes actuales. En este apartado merece la pena describir de forma básica los componentes principales de un *bogie*, ya que es en este elemento en el que se centrará el estudio del presente trabajo. En la Figura 19 se muestra un plano general de las instalaciones de Stadler Rail Valencia, en las que aparecen resaltadas las naves y talleres destinados a la fabricación de *Bogies*.

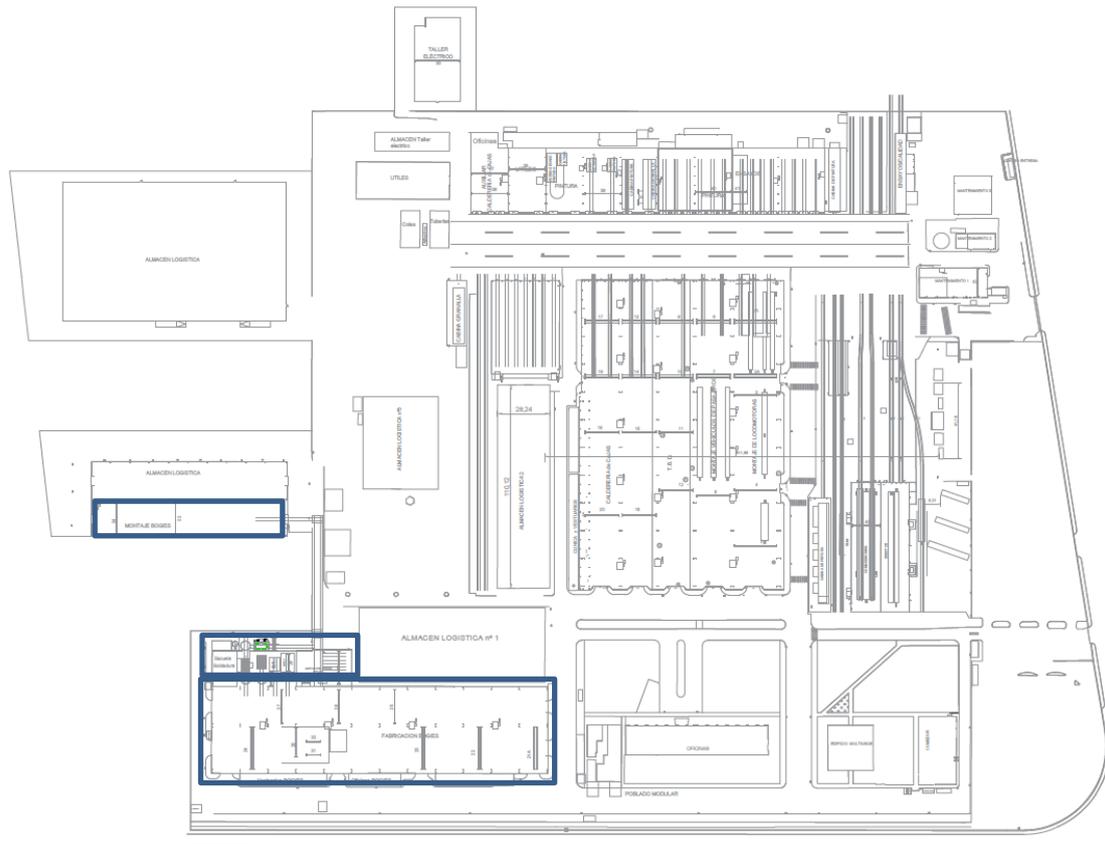


Figura 19. Plano general de Stadler Rail Valencia. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]

A continuación, se muestra en Figura 20 la distribución en planta del Taller de Bogies, indicando el flujo normal de materiales y los diferentes procesos que en él se realizan, siendo los más importantes:

- Despieces.
- Fabricación de Bastidores.
- Mecanización de Bastidores.
- Pintura.
- Equipamiento.

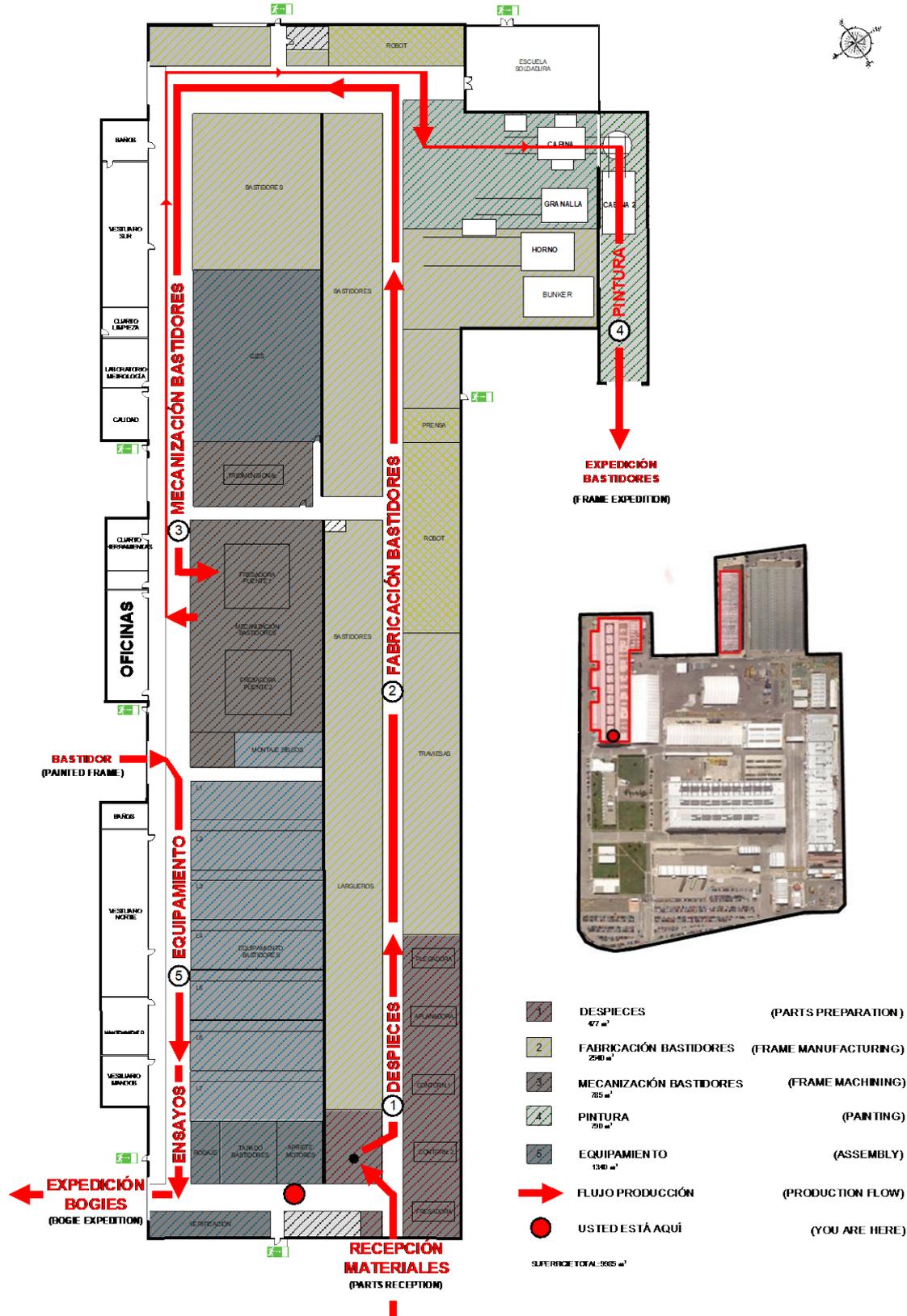


Figura 20. Distribución en Planta del Taller de Bogies. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]



Figura 21: Bogie. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]

Como se muestra en la Figura 21, un *bogie* está formado por conjuntos soldados de acero que sustentan toda la estructura del vehículo, además de los sistemas auxiliares y de tracción, y transmiten los esfuerzos del vehículo a la vía. Estos conjuntos se muestran en la Figura 22.

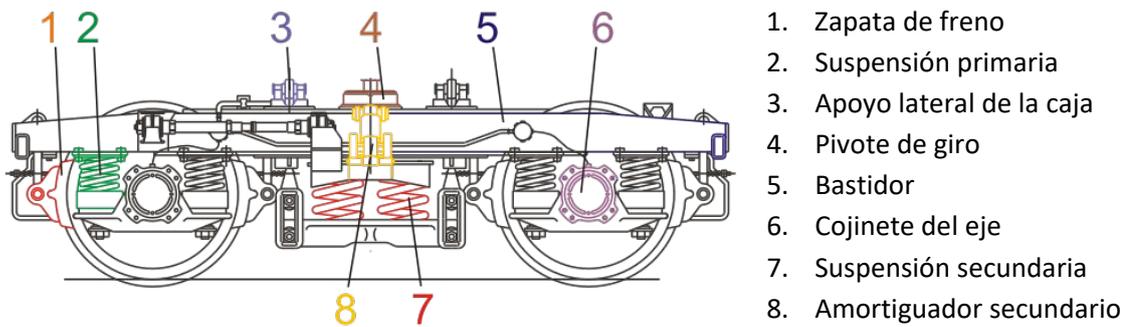


Figura 22: Conjuntos principales de un bogie. [Fuente: Wikipedia y elaboración propia]

Esta estructura es el *bogie* equipado que posteriormente será abrochado con la caja para conformar el tren completo. El bastidor es la estructura principal que soporta todos los esfuerzos y en el que se instalan los diferentes equipos mecánicos, eléctricos y neumáticos que permiten el correcto funcionamiento del vehículo. Dependiendo de si el *bogie* incorpora o no sistema de tracción, los *bogies* y sus bastidores se diferencian en Motores y Remolques. Tal y como se muestra en la Figura 23, el bastidor se compone principalmente de dos largueros de acero, que se apoyarán sobre los correspondientes cojinetes, y una o más traviesas. El bastidor es a menudo llamado "H", debido a que la mayoría de ellos poseen dicha forma al situarse la traviesa del bastidor entre los dos ejes del *bogie*.



Figura 23: Bastidor de un bogie. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]

Dependiendo de la tipología de vehículo ferroviario, el número, disposición y configuración de los *bogies* varían considerablemente. Una gran mayoría de vehículos destinados al transporte de viajeros por ciudad, como por ejemplo los modelos Tren-Tram, Citylink y Tramlink, se configuran con *bogies* dispuestos entre los diferentes vagones del vehículo. De esta manera, se consigue un menor radio de giro mediante la colocación entre *bogie* y caja de la denominada “travesa bailadora”, la cual se muestra en la Figura 24. Dicho elemento es cada vez más utilizado en vehículos de pasajeros, ya que permite realizar curvas más cerradas al servir como pivote entre ambos elementos.



Figura 24: Ejemplos de Travesas bailadoras de un bogie. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]

2.5.4 Servicios

La empresa además presta los siguientes servicios de mantenimiento y postventa:

- 2 primeros años de garantía en operación para los vehículos.
- Soporte técnico: programa de formación, ingeniería de mantenimiento, soporte técnico de los equipos, documentación.
- Logística de repuestos.
- Modificación de vehículos: reparaciones, transformaciones, renovación y modernización, renovación de componentes.
- Mantenimiento integral o completo: mantenimiento correctivo o preventivo, asistencia en la vía, puesta en marcha diaria, acondicionamiento de las unidades, afilamiento de ruedas.

2.6 Procesos

A continuación, se va a describir brevemente el proceso general llevado a cabo en la empresa, tal y como se muestra en la Figura 25.

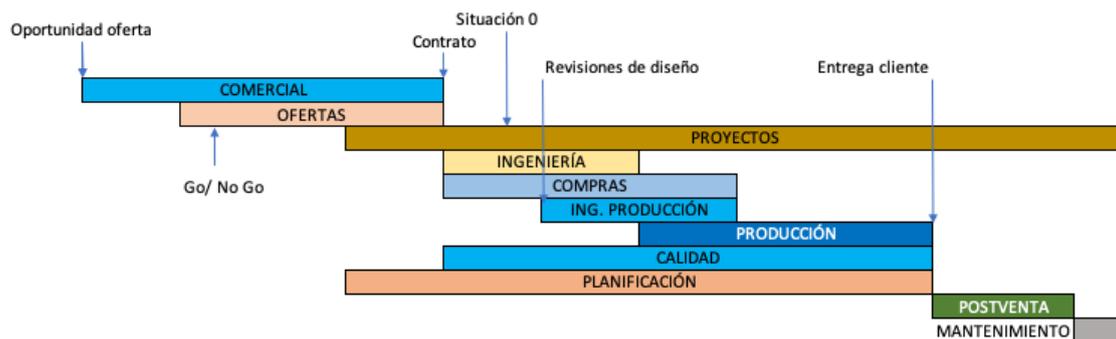


Figura 25: Proceso general. [Fuente: Elaboración propia]

Primero, se realiza un estudio de mercado para detectar la oportunidad de realizar una oferta. Entonces se estudia en profundidad y se analiza si seguir adelante o abandonar el proceso.

Al ser adjudicada una oferta, se firma un contrato con el cliente. En ese momento, se incluye este nuevo proyecto de diseño y fabricación junto con los existentes.

El departamento de planificación, paralelamente, comienza el proceso de planificar las etapas del proyecto, así como los hitos clave del proyecto. De esta manera, se definen los plazos y las holguras que deben existir entre las diferentes fases y así coordinar los distintos departamentos.

Posteriormente, es definida la “situación cero” del proyecto. Es entonces cuando comienzan a trabajar de forma paralela los departamentos de Ingeniería de Diseño, Compras y Calidad en dicho proyecto. Ingeniería se hace cargo del diseño de producto, según los requisitos y requerimientos del cliente. Compras abastecerá de materia prima y premontajes a los talleres.

Por otro lado, Calidad garantizará que el producto es fabricado conforme a las especificaciones del cliente.

Tras diferentes revisiones de diseño, ingeniería de producción, estudiará cómo debe de ser la fabricación material del producto, definiendo los tiempos estándar de las diferentes operaciones y construyendo útiles como apoyo a la fabricación.

A continuación, comienza la fabricación del producto en los diversos talleres de la fábrica, tal y como se explica más adelante. Durante la fabricación del producto, se realizarán junto al cliente varias inspecciones llamadas FAI (en inglés, “*First Article Inspection*”) en las primeras unidades, para asegurar los requerimientos del cliente tanto en calidad, cumplimiento de normativa como trazabilidad documental.

Tras entregar el producto al cliente, comienza el periodo de garantía, donde se enclavan los departamentos de postventa y mantenimiento.

2.6.1 Proceso de fabricación general

La Figura 26 representa el proceso de fabricación general de un producto, ya sea locomotora o vehículo de pasajeros.

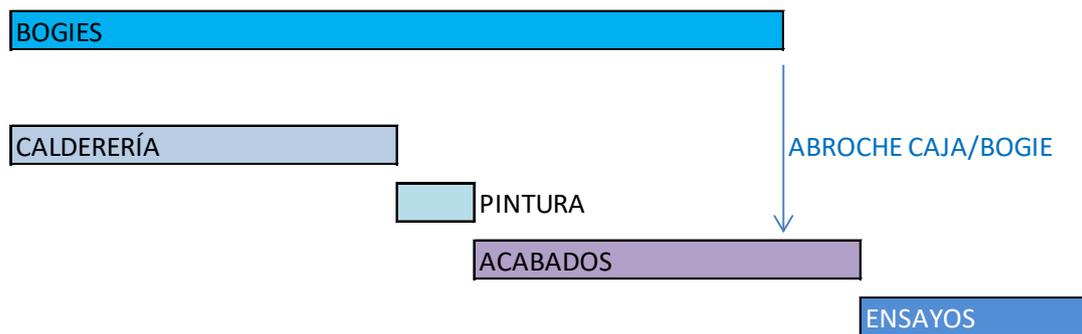


Figura 26: Proceso general de fabricación de un vehículo ferroviario. [Fuente: Elaboración propia]

Cada una de las etapas del proceso anterior se corresponde con los diferentes talleres de la fábrica, por lo que se hace muchas veces imprescindible la correcta sincronización entre todos ellos para asegurar el cumplimiento de los diferentes hitos de producción de los proyectos. En el proceso de fabricación general se pueden diferenciar dos caminos principales que transcurren de forma paralela, que son los procesos de **fabricación del bogie y de la caja**.

En el Taller de *Bogies* se realiza la fabricación del bastidor, equipamiento y ejes de este, así como su pintado. En el siguiente apartado se hará una descripción más detallada de los procesos de este taller.

Simultáneamente, se realiza en el Taller de Calderería la fabricación de la caja, para más tarde pasar al Taller de Acabados, donde se realiza la instalación de los equipos de potencia, interiorismo y seguridad del vehículo, así como el abroche de la caja con el *bogie*.

En último lugar, al vehículo se le realizan una serie de ensayos estáticos y dinámicos para asegurar el correcto funcionamiento de este.

2.6.2 Proceso de fabricación del Taller de Bogies

Como el presente trabajo se centra en los procesos de fabricación que se llevan a cabo en el Taller de *Bogies*, es en este taller donde se va a describir con mayor detalle dichos procesos. A lo largo de la vida de cada Proyecto, los diferentes procesos de fabricación se desarrollan de manera paralela hasta el fin de este. En la Figura 27 se muestran los hitos principales de fabricación de un proyecto de un *bogie* equipado.



Figura 27: Proceso de fabricación general del Taller de Bogies [Fuente: Elaboración propia]

Dichos procesos corresponden a secciones autónomas dentro del taller, salvo la sección de Pintura en la que se enclavan además los tratamientos superficiales. Dicho esto, las diferentes secciones del Taller de *Bogies* son las siguientes:

- Equipo Autónomo de Mecanización Pesada.
- Equipo Autónomo de Calderería, Soldadura y Rectificado.
- Equipo Autónomo de Pintura de *Bogies*.
- Equipo Autónomo de Maquinaria de Calderería de *Bogies*.
- Equipo Autónomo de Montaje de *Bogies*.

Como se ha dicho en apartados anteriores, el Taller de *Bogies* pertenece además a la División Componentes de la compañía, por lo que se encarga además de la fabricación de *bogies* sin equipamiento y *bogies* equipados para otras factorías del grupo. Tan es así que, en la actualidad alrededor del 75% de los proyectos de fabricación llevados a cabo en dicho taller son de bastidores y *bogies* para otras fábricas del grupo. Algunos de ellos son fabricados hasta la fase de pintura, momento en el que son preparados para su expedición por carretera a factorías de toda Europa. El resto de los bastidores continúan el proceso de fabricación para ser equipados y ser también enviados a otras sedes. Los bastidores pintados destinados a proyectos de fabricación internos en Stadler Rail Valencia serán enviados a la Nave contigua de Cajas, donde una vez equipados se procederá a su abroche con una Caja también equipada.

En la Figura 28 se muestra los distintos hitos de fabricación de un proyecto de *bogie* completo.

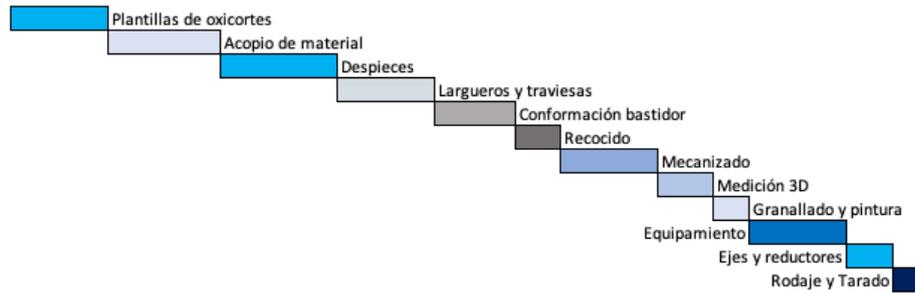


Figura 28: Procesos de fabricación del Taller de Bogies [Fuente: Elaboración propia]

A continuación, se describe con más detalle los procesos de fabricación característicos de los proyectos del taller de *bogies*.

Una vez se ha definido en el departamento de Ingeniería la industrialización del proyecto, la sección de Mecanización y Despieces comienza a definir y trazar las plantillas de materia prima necesarias que formarán parte posteriormente de los primeros subconjuntos del bastidor. Esto facilita y agiliza la repetitividad y calidad de la posterior producción de despieces. En la Figura 29 se muestran algunos ejemplos de plantillas y matrices para los despieces de acero.



Figura 29: Plantillas de oxicortes [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]

Una vez definido esto, se comienza el acopio de material a diferentes proveedores de acero moldeado, oxicortado o fundido, tal y como se muestra en la Figura 30.



Figura 30: Recepción de material [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]

Este material es mecanizado o plegado en diferentes estaciones y se crean así los primeros despieces de los subconjuntos que en la siguiente fase serán montados y soldados para conformar las diferentes partes del bastidor.

Es ahora cuando empieza el proceso de calderería y soldadura de los largueros y traviesas que forman parte del bastidor. Dentro del taller se diferencia entre ambos procesos ya que son efectuados además por diferentes categorías de operarios. Los caldereros son los encargados de montar los diferentes subconjuntos mediante puntos de soldadura y calibrarlos geoméricamente. Las altas temperaturas y esfuerzos a los que son sometidas las piezas de acero hacen imprescindible una correcta calibración para evitar deformaciones u holguras. Esto se lleva a cabo en mármoles taladrados en los que se instalan útiles diseñados para cada proyecto y etapa de fabricación para ayudar a la colocación y calibración de los conjuntos soldados. La Figura 31 muestra un ejemplo de montaje de un larguero que formará parte de un bogie.



Figura 31: Montaje de larguero sobre útil y mármol [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]

A continuación, los soldadores realizan las diferentes uniones mediante técnicas TIG/MIG con hilo tubular o macizo para conformar la pieza y dotar de resistencia mecánica al conjunto. Hay que recordar que estos elementos soportarán los esfuerzos del vehículo y los transmitirán a la vía, por lo que todas las uniones críticas son inspeccionadas mediante ensayos no destructivos, como por ejemplo partículas magnéticas, líquidos penetrantes, ultrasonidos o rayos X. Es por eso que todos los soldadores del taller están homologados para realizar las uniones soldadas en

múltiples configuraciones y orientaciones, según los estándares y procedimientos que elabora el departamento de Ingeniería.

Para facilitar y hacer más eficientes dichos procesos de soldadura, se utilizan distintas tipologías de manipuladores y viradores que permiten elevar, inclinar o voltear los conjuntos en función de la unión a realizar. Además, en el taller se dispone de dos puestos de soldadura robotizada que permiten realizar las soldaduras más sencillas en un tiempo menor y asignar a los soldadores a las uniones más críticas o aquellas que no es posible automatizar. En la Figura 33 se muestra una de las estaciones de soldadura robotizada que dispone la empresa.

Los soldadores con mayor cualificación son los encargados de realizar la conformación del bastidor, uniendo los largueros y traviesas correspondientes para conformar la "H".



Figura 32: Bastidor motor con soportes en virador de doble columna [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]



Figura 33: Estación robotizada de soldadura de largueros [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]

En la Figura 32 se puede observar un bastidor prácticamente acabado, con la mayoría de las uniones y soportes ya soldados. Una vez terminado, se procede a su calibración, comprobando que se cumplen todas las restricciones geométricas del mismo.

Las uniones soldadas producen tensiones internas en el acero que deben de ser aliviadas. Esto se lleva a cabo mediante un tratamiento de recocido en un horno de revestimiento cerámico, en el que se somete a los bastidores a un calentamiento progresivo durante horas. Una vez finalizado, el personal de calidad aplica diferentes técnicas de inspección para confirmar que las uniones soldadas cumplen con los estándares requeridos. En este sentido cabe apreciar cómo la empresa ha conseguido inculcar la cultura de autocontrol en los operarios, para que sean ellos mismos los primeros que inspeccionan su trabajo y se mantengan dentro de los elevados requerimientos de calidad impuestos por la empresa y exigidos por el cliente. En apartados posteriores se volverá retomar este aspecto, pues se relaciona directamente con la trazabilidad y el control de producción de los proyectos del taller.

Tras el proceso de recocido, al acero se le debe retirar una capa fina de material carbonizado mediante un primer tratamiento de “pre-granallado”, para evitar la contaminación de la taladrina en el posterior proceso de mecanizado. Dentro de la cabina de granallado se proyecta sobre los bastidores un chorro de arena y grava conocido como “granalla”, que permite retirar dicha capa carbonizada, preparar la superficie del bastidor para el posterior pintado y eliminar tanto aristas como cantos vivos.



Figura 34: Estación de Mecanizado [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]

El taller de *bogies* posee dos estaciones de mecanización pesada con correspondientes carros porta-herramienta donde se contornean, refrentan, planean, extruyen y taladran diferentes partes del bastidor. Ambas estaciones poseen cabezales intercambiables que permiten realizar todas las anteriores operaciones de fresado tanto horizontal como vertical. En la Figura 34 se muestra una de las dos estaciones de mecanizado que posee el taller.

Para comprobar que todas las medidas del bastidor se adecuan a las tolerancias impuestas, se controlan las dimensiones del bastidor en la estación de medición tridimensional. En ella, se opera un palpador automático para referenciar las diferentes caras y cotas del bastidor.

Una vez verificadas las dimensiones del bastidor, se realiza el proceso de granallado que se ha mencionado anteriormente de manera más exhaustiva y se prepara el bastidor para su pintado. Este se lleva a cabo en dos fases, imprimación y acabado.

En último lugar, comienza el proceso de equipamiento del bastidor, para formar el *bogie*. Al bastidor se le instalan en los diferentes soportes los equipos mecánicos, neumáticos y eléctricos que permitirán el correcto funcionamiento del vehículo. De forma paralela, se preparan los diferentes ejes con ruedas y se le instalan los equipos reductores que transmitirán la tracción motora al *bogie*. Para finalizar, el *bogie* se tara ejerciendo la misma fuerza sobre él que la que tendrá una vez se encuentre en servicio y se hace rodar para comprobar el correcto funcionamiento de todos los sistemas.

En este momento, el *bogie* estaría preparado para su envío al taller de acabados y su abroche con la caja.

2.7 Conclusiones

En este Capítulo se ha descrito la historia de la empresa y la diversidad de etapas por las que ha pasado, propietarios que ha tenido y proyectos que ha fabricado.

Una vez llegado a la actualidad, se ha descrito de manera más profunda los procesos de fabricación que se llevan a cabo hoy en día, con especial atención al Taller de *Bogies*. Es en ella donde se centra el estudio del presente trabajo y donde una mayor diversidad y complejidad se encuentra en los procesos.

Una vez conocido el contexto en el que se ubica este trabajo, se puede entender la forma de trabajo y los procesos de fabricación para poder entender de mejor manera el estudio que se presenta en los apartados posteriores.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Introducción

Una vez presentado el contexto en el que se ubica la empresa y los procesos de fabricación que rodean el presente trabajo, es momento ahora de introducir los conceptos teóricos que se van a utilizar para llevar a cabo el estudio propio del trabajo en apartados siguientes. Tal y como se adelantó en el anterior Apartado, el estudio del presente trabajo se enclava en el Taller de Bogies y, por consiguiente, en el Área de Producción. Es por ello que la mayoría de los conceptos teóricos que a continuación se presentan son propios de la Organización y Gestión Industrial, directamente relacionados con el Control y la Planificación de la Producción.

3.2 Herramientas para definir y analizar problemas

Desde hace años existen numerosas técnicas de análisis y resolución de problemas, aunque la mayoría de ellas concuerdan en la existencia de seis herramientas principales, según lo explicado en las referencias [1], [2] y [3]. A continuación, se describen dichas herramientas.

3.2.1 Diagrama de Ishikawa

Para atajar cualquier problema, no importa el ámbito dónde se encuentre, es necesario encontrar en primer lugar su causa raíz, y ello es posible mediante el Diagrama de Ishikawa, también conocido como Diagrama Causa-Efecto, desarrollado por el doctor Kaoru Ishikawa en el año 1943 [4].

Este método trata de profundizar sobre los diferentes aspectos que forman parte del contexto en el que se haya el problema en cuestión y, en la medida de lo posible, buscar posibles causas relacionadas a éste.

El Diagrama de Ishikawa ayuda además a identificar las diferentes áreas de variabilidad que intervienen en un proceso y que, por lo tanto, requieren controlarse. Las más comunes en un ámbito industrial son: el material, el método, la máquina, la mano de obra y el entorno.

El formato en el que se representa es el de una línea horizontal central, a partir de la cual parten las diferentes áreas que intervienen en el contexto del problema y, al final de la cual, se sitúa el problema en cuestión. Debido a la forma que presenta una vez finalizado, también es conocido como “Diagrama de Pez”, tal y como se puede observar en la Figura 35.

En las referencias [5] y [6] se puede encontrar información más detallada sobre de este método de análisis y resolución de problemas.

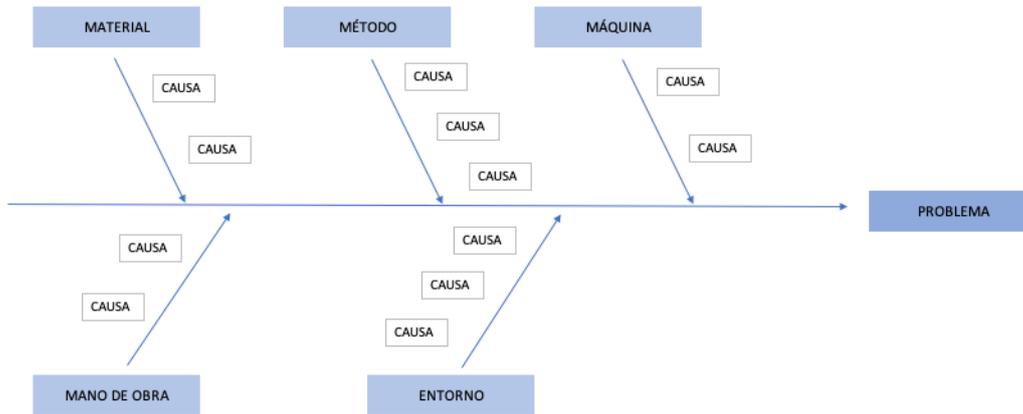


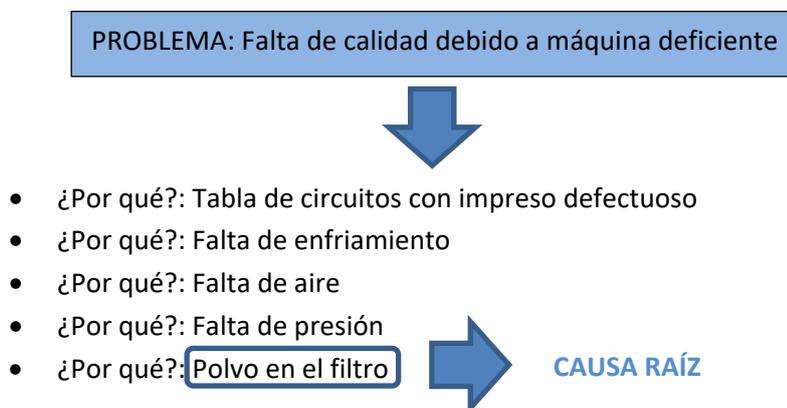
Figura 35: Diagrama de Ishikawa [Fuente: Elaboración propia]

3.2.2 Los 5 por qué

Una vez identificado el problema clave, se puede hacer un análisis de 5 porqués, es decir, un ejercicio en el que se pregunta 5 veces el “por qué” de algo, para revelar la causa de origen.

Cuando se encuentre la causa raíz, es posible enfrentar el problema haciendo uso de los planes de acción que se consideren oportunos para resolver la situación. Normalmente se suelen formular 5 “por qué”, aunque en la práctica se realizarán tantas preguntas como sean necesarias.

Un ejemplo de utilización de este método es el siguiente:



3.2.3 Círculo de Deming o PDCA

El círculo o ciclo de Deming es definido por varios autores como un proceso metodológico elemental, aplicable en cualquier campo de la actividad, con el fin de asegurar la mejora continua de dichas actividades. Desarrollado por Walter A. Shewhart, dicho proceso es muy utilizado por los sistemas de gestión de la calidad y los sistemas de gestión de la seguridad de la información. Para asegurar la mejora continua en un proceso determinado, es necesario realizar el ciclo de Deming repetitivamente con tal de asegurar el mantenimiento de las soluciones implementadas, tal y como se detalla en las referencias [7], [8], [9] y [10].

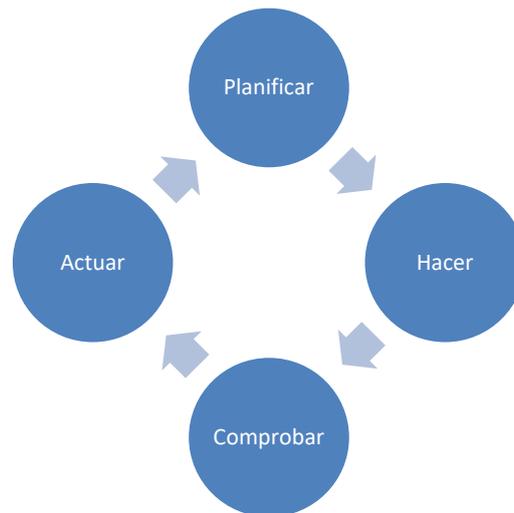


Figura 36: Ciclo PDCA. [Fuente: Elaboración propia]

Tal y como se muestra en la Figura 36, el ciclo PDCA comprende 4 etapas de actuación correspondientes a las siglas en inglés PDCA (*Plan, Do, Check, Act*, en español: Planificar, Hacer, Comprobar y “levantar acta”), las cuales se presentan a continuación:

1. Planificar: Identificar objetivos, métodos, recursos y definir diversos indicadores.
2. Hacer: Implantar las medidas definidas en la fase de planificación
3. Comprobar: Comparar los resultados reales con los objetivos definidos.
4. “Levantar acta” / Actuar: Llevar a cabo acciones para reconducir la situación hacia los objetivos planteados, es decir, asegurar la implantación y el uso de la solución correctiva.

3.2.4 Diagrama PACE

El Diagrama PACE es una herramienta que sirve para priorizar el orden de actuación de diferentes soluciones a un problema concreto. PACE hace referencia a las siglas Priorizar, Actuar, Comprobar y Eliminar.

Este método trata de clasificar los problemas según dos criterios representados en dos ejes: la importancia/gravedad del problema y la inversión/coste de implementación de la solución. Según se ubiquen los problemas dentro de dicho diagrama, se prioriza el orden de actuación de todos ellos. En la referencia [11] se detalla en profundidad dicho método.

En la Figura 37 se muestra un ejemplo de este diagrama.

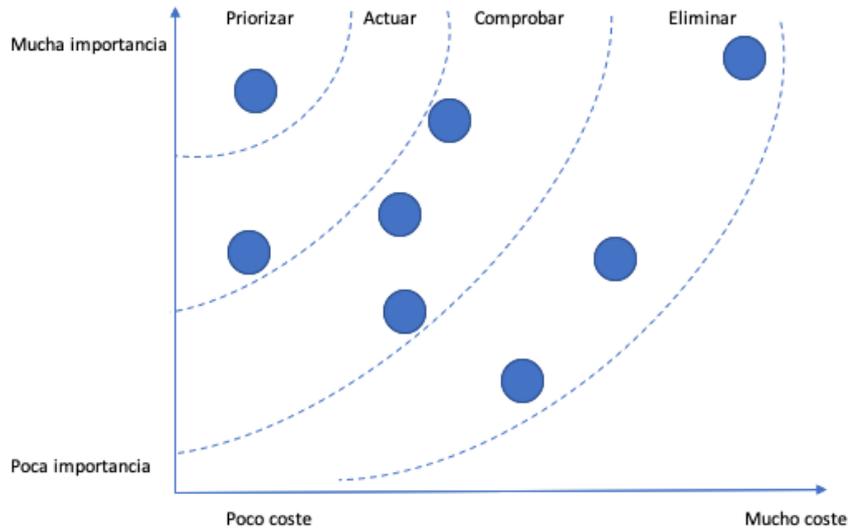


Figura 37: Diagrama PACE. [Fuente: Elaboración propia]

En función de la situación de los puntos que representan cada problema, se prioriza el orden en el que se deben resolver los diferentes problemas. Los problemas localizados en la esquina superior izquierda se abordarán de manera inmediata. Los situados en la siguiente zona se resolverán en segundo lugar. Los de la tercera, deben de ser estudiados con detalle, para valorar si realmente merece la pena abordarlos. Por último, los de la última zona se descartarán automáticamente.

3.2.5 Diagramas de afinidad

Cuando se realiza un *Brainstorming* o “tormenta de ideas”, es necesario agrupar las diferentes ideas que vayan apareciendo en campos comunes para así ordenarlas para su posterior consulta. Como se muestra en la Figura 38, esto es posible mediante los Diagramas de Afinidad, una herramienta utilizada ante un problema concreto, sobre el cual se quiere obtener información, analizar sus causas y buscar posibles soluciones.

El proceso seguido para construir un Diagrama de Afinidad es el siguiente:

1. Formación de un equipo multidisciplinar.
2. Descripción adecuada del problema a resolver.
3. Realización del *Brainstorming* y captación de los datos necesarios.
4. Escritura de los datos sobre Post-Its.
5. Agrupación de ideas mediante los Post-Its.
6. Utilización de tarjetas para poner título a cada agrupación.
7. Trazado del Diagrama de Afinidad recogiendo la información previa.
8. Finalización del proceso mediante una reunión posterior que confirme el diagrama.

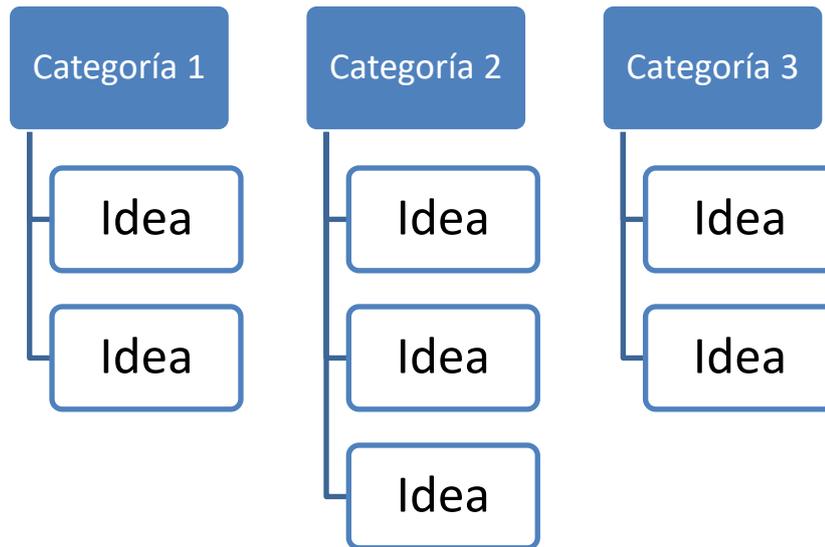


Figura 38: Diagrama de Afinidad [Fuente: Elaboración propia]

3.2.6 Resolución 8D

El proceso de Resolución 8D es un proceso ordenado de resolución de problemas enfocado en el equipo y en la utilización de datos objetivos. Las ocho disciplinas del método tratan de establecer un proceso ordenado de pensamiento que puede ser utilizado para cualquier problema y actividad, tal y como se describe en [22], [23] y [24]. Las disciplinas se describen a continuación:

1. Creación del equipo de trabajo para resolver el problema.

Para enfocar el problema de la mejor manera, es necesario crear un equipo multidisciplinar formado por personas de diferentes departamentos y áreas de la empresa, que puedan aportar diversos puntos de vista al problema en cuestión.

2. Descripción del problema.

Se pueden utilizar distintas herramientas para describir correctamente el problema, como la descritas en este Capítulo, por ejemplo, los 5 por qué.

3. Establecer una solución provisional.

La solución del problema requiere mucho tiempo, por lo tanto, es necesario implementar una medida provisional mientras se realiza el proceso de búsqueda de solución final.

4. Analizar la causa raíz del problema.

Para encontrar el motivo que ha desencadenado el problema en cuestión, se pueden utilizar distintas herramientas, como la descrita en este Capítulo, el Diagrama de Ishikawa.

5. Estudiar soluciones permanentes.

Cuando se ha encontrado la causa raíz del problema, es necesario implementar la búsqueda de la solución final.

En ese momento, se realiza un *Brainstorming* para sugerir distintas soluciones. Tras ello, es posible utilizar el Diagrama de Afinidad con tal de ordenar y agrupar las ideas, para así escoger las propuestas con mayor relación con el problema.

6. Implantar y validar los planes de acción.

Para implantar las soluciones es necesario crear y desarrollar un plan de acción. Para ello, se deben elegir las soluciones que se abordarán en primer lugar y aquellas que se desecharán o realizarán con posterioridad. Tal y como se ha descrito en este Capítulo, la herramienta idónea para ello es el Diagrama PACE.

Posteriormente, será necesario comprobar la satisfactoria implantación de las soluciones llevadas a cabo.

7. Prevenir la recurrencia.

Una vez solucionado el problema, es necesario evitar que aparezca de nuevo. Por ejemplo, utilizando la herramienta PDCA explicada al comienzo de este Capítulo.

8. Felicitar al equipo.

3.2.7 AMFE de proceso

En los llamados procesos de aprobación de componentes de producción (en inglés PPAP, “*production part approval process*”) se suelen emplear un conjunto de herramientas habituales en diseño de productos y de procesos para garantizar al fabricante y/o cliente el cumplimiento de sus requerimientos.

Efecto	Criterio: Severidad o Efecto en el Producto (Efecto con el Cliente)	Rank	Efecto	Criterio: Severidad o Efecto en el Producto (Efecto de manufactura/Ensamble)
Falla en cumplir seguridad y/o requerimientos regulatorios	El modo potencial de falla afecta la seguridad de operación del vehículo y/o envuelve no cumplimiento con regulaciones gubernamentales sin previa alarma	10	Falla en cumplir seguridad y/o requerimientos regulatorios	Puede dañar al operador (maquina o ensamble) sin previa alarma.
	El modo potencial de falla afecta la seguridad de operación del vehículo y/o envuelve no cumplimiento con regulaciones gubernamentales previa alarma	9		Puede dañar al operador (maquina o ensamble) con alarma.
Pérdida o degradación de las funciones primarias	Pérdida de las funciones primarias (Vehículo inoperable, no afecta la seguridad de operación del vehículo)	8	Interrupción mayor	100% del producto podría ser enviado al scrap. Paro de línea o de embarque.
	Degradación de las funciones primarias del vehículo (Vehículo operable, pero reduce el nivel de desempeño)	7	Interrupción significativa	Una porción de la producción podría ser enviada al scrap. Desviación del proceso primario incluyendo reducción de velocidad de línea o agregar mano de obra.
Pérdida o degradación de las funciones secundarias	Pérdida de las funciones secundarias (Vehículo operable, pero las funciones de confort /Conveniencia inoperables)	6	Interrupción moderada	100% de la producción podría ser retrabajada fuera de la línea y aceptada.
	Degradación de las funciones secundarias (Vehículo operable, pero se reduce el nivel de desempeño de las funciones de confort /Conveniencia)	5		Una porción de la producción podría ser retrabajada fuera de la línea y aceptadas.
Molestia	Apariencia o ruidos, vehículo operable, artículo no conforme y notificado por la mayoría de los clientes (>75%)	4	Interrupción moderada	100% de la producción podría ser retrabajada en la estación antes de ser procesada.
	Apariencia o ruidos, vehículo operable, artículo no conforme y notificado por muchos de los clientes (50%)	3		Una porción de la producción podría ser retrabajada en la estación antes de ser procesada.
	Apariencia o ruidos, vehículo operable, artículo no conforme y notificado por casi no notificado por los clientes (<25%)	2		Ligero inconveniente en el proceso, operación o para el operador.
No hay efecto	Efecto no discernible	1	No hay efecto	Efecto no discernible

Figura 39. Impacto de los efectos en un AMFE de proceso. [Fuente: ROGLE. Universitat Politècnica de València]

El AMFE, o Análisis de Modos de Fallo y Efectos, es una herramienta empleada durante el diseño del producto y proceso, que se basa en establecer acciones de mejora para prevenir la aparición de posibles fallos. En ese sentido, se diferencia entre AMFE de diseño de producto, que se centra en el análisis de las funciones de producto, y el AMFE de proceso, que concentra el análisis en los posibles fallos en el proceso de fabricación del producto.

Se dice que el AMFE es un documento vivo, ya que mantiene su vigencia durante toda la vida útil del producto o del proceso, siendo actualizado de forma continua e incorporando mejoras a consecuencia de la aparición de defectos evitables no previstos durante la vida del producto.

Los objetivos del AMFE son:

- Considerar los posibles fallos en cada etapa del proceso.
- Definir los controles necesarios para reducir los riesgos potenciales.
- Implementar acciones preventivas.
- Priorizar acciones correctivas.
- Detectar necesidades en el proceso (maquinaria, personal, herramientas, espacios, etc.)

Los parámetros que se recogen en el AMFE son los siguientes:

1. Proceso u operación.
2. Requerimiento por cumplir en la operación.
3. Modo potencial de fallo.
4. Efectos potenciales del fallo.
5. Severidad.
6. Clasificación.
7. Causas potenciales de fallo.
8. Controles de prevención.
9. Probabilidad de ocurrencia.
10. Controles de detección.
11. Detección.
12. RPN (Número de Prioridad de Riesgo).
13. Acciones recomendadas.
14. Responsable y fecha.
15. Resultado de las acciones.

3.3 Trazabilidad

En todo proceso de fabricación, es imprescindible poder localizar la situación de cada uno de los productos a lo largo de toda la cadena productiva, así como tener registrado el producto final. Todo ello abarca la trazabilidad.

El Comité de Seguridad Alimentaria de AECOC (Asociación Española de Codificación Comercial) dice así, *“se entiende trazabilidad como el conjunto de aquellos procedimientos preestablecidos y autosuficientes que permiten conocer el histórico, la ubicación y la trayectoria de un producto o lote de productos a lo largo de la cadena de suministros en un momento dado, a través de unas herramientas determinadas.”*

Esta definición, aunque enfocada al ámbito alimentario, es aplicable a todo tipo de producto, para poder tener determinada su posición y efectuar su seguimiento a lo largo de la cadena de suministro.

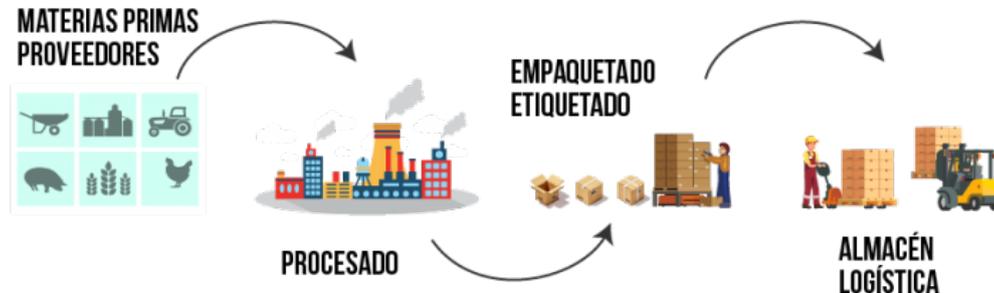


Figura 40. Ejemplo de Trazabilidad [Fuente: [12]]

La Figura 40 muestra un ejemplo sencillo de una cadena de suministro. Desde el principio al fin de la cadena, el producto pasa por una serie de procesos productivos ubicados en diferentes posiciones. Para poder saber el estado del producto en cada momento, es necesario registrar su posición para así conocer el camino que ha recorrido y asegurar su llegada al cliente.

3.3.1 Tipos de trazabilidad

Se pueden encontrar distintos tipos de trazabilidad en función del ámbito de utilización de este concepto o del sentido en el que avanza dentro de la cadena de suministro.

3.1.1.1. Según ámbito de utilización

Trazabilidad interna o de procesos

La trazabilidad interna se lleva a cabo dentro de una empresa en concreto, sin tener en cuenta el resto de la cadena de suministro. Trata de seguir y monitorizar los procesos internos que suceden dentro de la compañía, obviando lo que sucede antes de recibir la materia prima del proveedor y lo que sucede después de entregar el producto final al cliente.

Además, ésta debe de facilitar la gestión y el control de las distintas actividades y procesos que suceden dentro de la empresa, tal y como se muestra en [13].

Trazabilidad externa

La trazabilidad externa se realiza una vez acabado el proceso productivo en la empresa y el producto es entregado al cliente, ya sea el siguiente eslabón de la cadena de suministro o el cliente final. La trazabilidad se relaciona con la información generada en el proceso que ha recorrido el producto, para identificar al mismo una vez ha salido de la empresa. La Figura 41 muestra un ejemplo simple de trazabilidad a lo largo de la cadena de suministro.



Figura 41. Ejemplo de cadena de suministro [Fuente: [14]]

3.1.1.2. Según sentido de recorrido en la cadena de suministro

Trazabilidad ascendente

La trazabilidad ascendente trata en la consulta de la información del producto aguas arriba del cliente final, es decir, hasta el proveedor. Así se halla todo el registro de información del producto en las etapas posteriores a la situación actual.

Cuando se produce un error, se utiliza este tipo de trazabilidad para rastrear la causa de este en las etapas precedentes de la cadena de suministro. Así se conoce las ubicaciones por las que ha pasado el producto, en qué momento y qué procesos ha sufrido.

Trazabilidad descendente

La trazabilidad descendente registra la información futura del producto, a cerca del momento y lugar de expedición al cliente, así como también información del cliente.

Este tipo de trazabilidad es muy útil a la hora de realizar el seguimiento de un determinado producto, comprobando que ha sido entregado en fecha y lugar correctos y, de no ser así, corregir las desviaciones.

3.3.2 Códigos de trazabilidad

Para poder llevar a cabo una adecuada trazabilidad del producto, es necesario utilizar una determinada codificación que permita realizar el seguimiento del producto a lo largo de toda la cadena de suministro. En este sentido se diferencian los siguientes términos:

- Codificación: Referencia numérica del producto, o un conjunto de ellos.
- Simbolización: Representación gráfica de la codificación.

Los dos sistemas de simbolización más utilizados hoy en día son los códigos de barras y el sistema RFID, los cuales se describen a continuación.

3.1.1.3. Códigos de barras

El código de barras es el sistema más utilizado de trazabilidad en el mundo, desde pequeños negocios a grandes industrias multinacionales, a pesar de la irrupción de nuevas tecnologías de simbolización. La Figura 42 muestra un ejemplo de codificación mediante código de barras.



Figura 42. Ejemplo de código de barras [Fuente: [15]]

El código de barras es un sistema de simbolización a base de números que representan cierta información del producto y que se encuentran codificados en forma de líneas paralelas verticales de distintos grosores y espacios entre ellas. De esta manera, se codifica una representación binaria, en la cual las barras representan unos y los espacios ceros. Mediante lectores de códigos de barras se puede obtener la información que contiene dicho código. Esto simplifica en gran medida su utilización, aunque limita el volumen de información que puede contener.

Existen diferentes maneras de relacionar la información representada en el código y su estructura, las cuales se describen a continuación:

Simbología continua o discreta

Esta clasificación depende del comienzo y el fin del código, tal y como se explica a continuación:

- Simbología continua: El código comienza con un espacio, seguido de una barra.
- Simbología discreta: El código comienza y acaba con una barra.

Simbología unidimensional o multidimensional

- Simbología unidimensional: No importa la anchura de las barras del código, únicamente la relación entre el número de barras y espacios.
- Simbología multidimensional: A diferencia de la versión unidimensional, la información puede ser leída tanto en vertical como en horizontal. Esta simbología es conocida actualmente como codificación QR.

3.1.1.4. Etiquetas RFID

La tecnología en materia de trazabilidad ha evolucionado durante los últimos años, proporcionando el descubrimiento del RFID. Como se muestra en la Figura 43, se trata de un dispositivo que emite ondas de radio, habitualmente integrado en adhesivos o pegatinas que se adhieren al producto al que referencian.

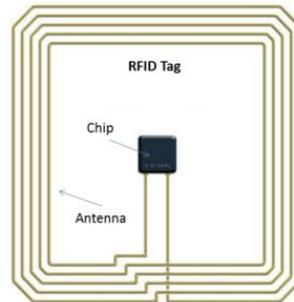


Figura 43. Ejemplo de Etiqueta RFID [Fuente: [16]]

Tienen un coste más elevado que los códigos de barras, ya que, al incorporar un circuito eléctrico, su fabricación es más compleja, el coste de sus componentes mayor y su durabilidad limitada. La ventaja que tienen es que, al usar la radiofrecuencia, no requiere visión directa entre emisor y receptor. Además, permiten guardar un volumen mayor de información sobre el producto que referencian en comparación con el código de barras.

3.4 Programación de la producción

En todo tipo de industria, sea cual sea su tamaño o el ámbito al que se dedique, se debe conocer y controlar los procesos productivos dentro de ella para satisfacer las necesidades de sus clientes a tiempo. Cualquier empresa se encuentra dentro de una cadena de suministro, y debe de ser capaz de integrarse eficazmente dentro de ella, dando respuesta a sus clientes aguas abajo al mismo tiempo que se adapta a la respuesta de sus proveedores aguas arriba.

3.4.1 Planificación agregada de la producción

La programación de la producción es el resultado de una buena dirección de operaciones, la cual se puede definir como *“la utilización de recursos de manera apropiada para crear Outputs a partir de Inputs que cumplan determinados requerimientos de mercado”* [25] y [26].

Es necesario una buena programación de la producción porque habitualmente no es fácil adaptar la capacidad productiva de una empresa al perfil cambiante de la demanda. Un buen PdP (Programa de Producción) o Plan Agregado de Producción, trata de resolver este problema de la manera más eficiente.



Figura 44. El PdP dentro de la empresa [Fuente: Elaboración propia]

El PdP representa el cerebro que debe controlar los procesos productivos para asegurar que cada uno de ellos se produzca en el momento adecuado para no romper la cadena de suministro. Es por ello que debe estar en contacto directo con otras áreas de la empresa, como las que aparecen en la Figura 44. El PdP debe contener toda la información sobre los procesos productivos que gobierna, los requerimientos necesarios de los proveedores y las necesidades de los clientes. Para ello, necesita la siguiente información del resto de áreas de la empresa:

- Operaciones:
 - Capacidad actual de la maquinaria
 - Planes sobre capacidad futura
 - Capacidad fuerza de trabajo
 - Nivel actual de Personal
- Distribución y Marketing:
 - Necesidades cliente
 - Pronósticos demanda
 - Comportamiento competencia
- Compras:
 - Capacidad proveedores
 - Capacidad almacenamiento
 - Disponibilidad de los materiales
- Contabilidad y Finanzas:
 - Datos sobre costes
 - Situación Financiera de la Empresa
- Ingeniería
 - Nuevos productos
 - Cambios de diseño

- Normas para máquinas
- Recursos Humanos:
 - Condiciones del mercado de mano de obra
 - Capacidad en materia de captación

Conociendo toda esa información, el PdP permite adoptar decisiones que sólo se pueden materializar dentro de un determinado horizonte de planificación como, por ejemplo, cantidad a producir, cantidad a subcontratar, niveles de inventario, nivel de plantilla necesario, fechas de entrega, etc.

Los requisitos necesarios para elaborar el PdP son los siguientes:

- Definir adecuadamente una unidad agregada de los productos a fabricar para medir las ventas y la producción.
- Prever la demanda de las unidades agregadas en el periodo planificado.
- Obtener un método para calcular los costes del plan.
- Disponer de un modelo para poder combinar las previsiones y los costes para ayudar a la toma de decisiones.
- Disponer de una estrategia de planificación.

Una vez se obtiene todo lo anterior, es posible planificar una estrategia de producción dentro del horizonte de planificación deseado. De esta manera, se planifican los niveles de producción mediante el nivel de plantilla, las horas normales/extraordinarias al mes, los costes fijos y variables, etc. En un primer análisis, se puede elaborar el PdP escogiendo entre las siguientes tres estrategias:

- **Estrategia de Caza:**
 - El objetivo es ajustar la capacidad productiva a la demanda, reduciendo/aumentando la capacidad hasta ajustar el nivel de producción necesario.
- **Estrategia de nivelación:**
 - El objetivo en este caso es nivelar la capacidad productiva con la demanda, de esta manera se asegura la estabilidad de la producción y de la mano de obra.
- **Estrategia mixta:**
 - El objetivo de esta estrategia es una mezcla de las dos anteriores, tratando de ajustar la capacidad con niveles estables de mano de obra.

Para calcular el PdP se pueden utilizar métodos heurísticos, minimización por programación lineal, reglas de decisión lineal, programación multiobjetivo o simulaciones. Sea cual sea la forma de cálculo del PdP, el resultado de este es el MPS (Master Production Schedule), en español PMP (Plan Maestro de Producción).

3.4.2 Planificación maestra de la producción

Este plan corresponde a la programación temporizada de los artículos que la organización pretende fabricar detallando períodos y unidades [18]. En función del tipo de industria y

mercado en el que se encuentre la organización, se pueden optar por diferentes estrategias para regir el ritmo de producción de sus productos [19]. Estas se llaman estrategias de posicionamiento de producto y son las siguientes:

- Engineer-To-Order (ETO):
 - Las especificaciones del cliente requieren de un diseño de ingeniería único o de una elevada personalización. Los materiales no suelen comprarse hasta que se ha realizado el pedido en firme del cliente.
 - No existen inventarios en esta estrategia.
 - Un ejemplo de esta estrategia sería un taller mecánico.
- Make-To-Order (MTO):
 - Las materias primas y componentes ya están comprados, pero el fabricante no comienza la producción hasta que se recibe el pedido del cliente.
 - En esta estrategia únicamente se dispone de un inventario de materias primas.
 - Un ejemplo de esta estrategia sería una imprenta o un restaurante de lujo.
- Assemble-To-Order (ATO):
 - El producto está integrado por componentes estándar que el fabricante almacena y que son ensamblados cuando llega el pedido del cliente.
 - En esta estrategia se almacenan subensamblajes.
 - Ejemplos de esta estrategia son las fábricas de automóviles o las cadenas de comida rápida.
- Make-To-Stock (MTS):
 - El fabricante produce los productos finales y los mantiene en inventario con antelación a la llegada del pedido del cliente. El pedido del cliente se sirve directamente desde el almacén.
 - El inventario almacenado es de producto final.
 - Ejemplos de esta estrategia son las grandes factorías de acero o las fábricas de cerveza.

En este nivel de planificación son utilizadas las listas de materiales o BOM (del inglés *Bill of Materials*), en el que se representa la relación y cantidad de materiales, componentes y submontajes que son requeridos para conseguir el producto final. Así es posible planificar la necesidad de cada uno de los montajes previos o de materia prima necesaria para comenzar la producción. La Figura 45 muestra un ejemplo de BOM aplicado a la fabricación de un bogie.

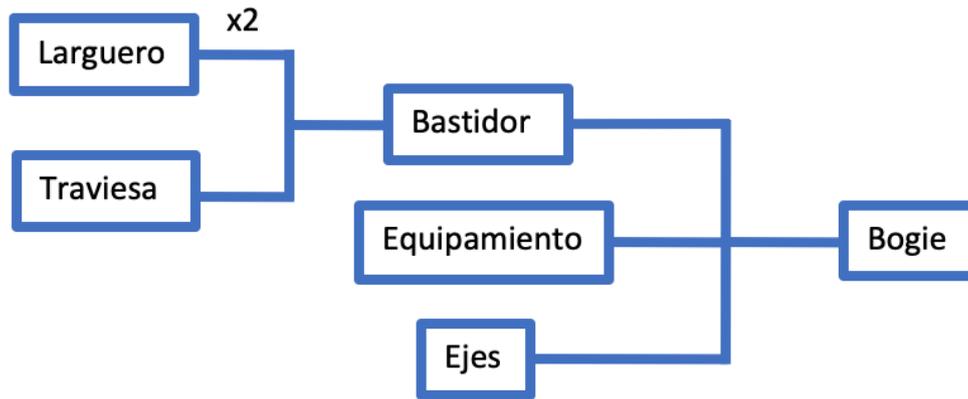


Figura 45. Ejemplo de BOM de un Bogie equipado [Fuente: Elaboración propia]

Los datos de entrada del PMP son los datos de previsión, los pedidos en firme, el inventario actual y el Plan Agregado de Producción. Con estos datos, es posible determinar una primera viabilidad de este mediante un Plan Aproximado de la Capacidad. Este se puede llevar a cabo mediante factores globales, listas de capacidad o perfiles de recurso. El estudio de dichos métodos no es el objetivo de este trabajo, por lo que únicamente se nombran en este Capítulo.

3.4.3 Planificación de requerimientos de materiales

Posteriormente si bajamos un escalón más se encuentra el MRP (*Material Requirements Planning*), el cual baja un nivel de detalle y efectúa las siguientes tareas:

- Crear planes identificando los componentes y materiales necesarios para fabricar artículos finales.
- Determina las cantidades exactas necesarias.
- Determina las fechas en que deben lanzarse las órdenes de fabricación según los plazos de ejecución (lead times).

Estos planes suelen encontrarse dentro de un sistema informatizado debido a la gran cantidad de información que se debe gestionar. En él, se encuentran todos los listados de materiales necesarios, así como el registro del inventario y los plazos de entrega de los productos. Con toda esta información, el sistema es capaz de lanzar órdenes de fabricación y acopio de materiales para asegurar el cumplimiento de todas las necesidades productivas.

Siguiendo con el ejemplo anterior de la Figura 45 Figura 45. Ejemplo de BOM de un Bogie equipado [Fuente: Elaboración propia]y, conociendo los *Lead Times* (tiempo que se tarda en suministrar una unidad desde que es solicitada) de cada submontaje y la fecha de necesidad del producto final, se puede elaborar un MRP en el que aparezcan todas las órdenes de fabricación de los componentes con cantidades y plazos. En la Figura 46 se muestra el MRP resultante de la Lista de Materiales del ejemplo anterior.

		Día						
		1	2	3	4	5	6	7
Bogie LT=1,8	Necesidad							1
	OF					1		
Ruedas LT=0,2	Necesidad				4			
	OF				4			
Ejes LT=0,4	Necesidad				2			
	OF				2			
Bastidor LT=2	Necesidad				1			
	OF		1					
Eq. Mec. LT=1	Necesidad		1					
	OF	1						
Eq. Eléc. LT=0,3	Necesidad		1					
	OF		1					
Larguero LT=1	Necesidad		2					
	OF	2						
Traviesa LT=0,4	Necesidad		1					
	OF		1					

Figura 46. Ejemplo de MRP de un Bogie equipado [Fuente: Elaboración propia]

3.4.4 Técnica del valor ganado

Una vez se ha llevado a cabo la planificación de la producción, es necesario seguir un control durante la ejecución de este de los costes y los plazos incurridos. De esta manera, se puede medir las desviaciones con respecto a lo planificado. Un error común es comparar valores de coste productivo con la misma cantidad de trabajo efectuado, hecho que normalmente difiere de ser verdad. Por todo ello, se introduce el concepto de “valor ganado”, que corresponde con el valor del trabajo realmente realizado y que no tiene por qué coincidir con el coste real invertido en el momento del análisis [27], [28], [29] y [30].

Para utilizar la técnica del valor ganado, en unas determinadas fechas hay que conocer el valor del trabajo que se debería haber realizado según la planificación, el valor que se ha creado y el coste de los trabajos. Con esta información, es posible medir la desviación actual del proyecto con respecto a la planificación y estimar la evolución futura del mismo. Así es posible actuar preventivamente para corregir las desviaciones. En la Figura 47 se muestra un ejemplo genérico del análisis mediante la Técnica del Valor Ganado en un momento determinado de la vida de un proyecto.

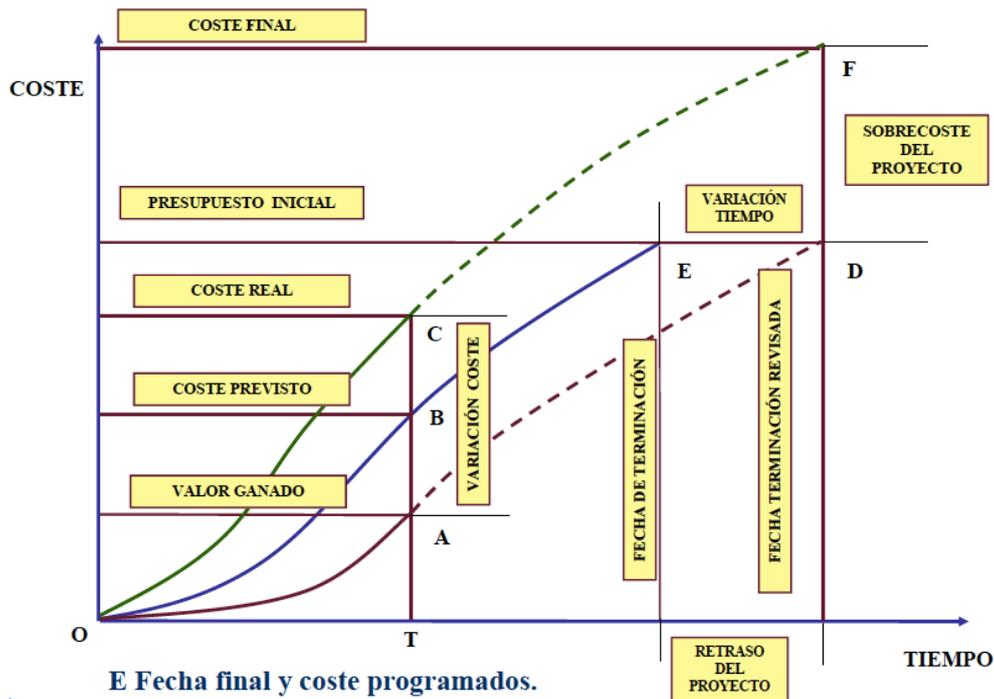


Figura 47. Curvas de coste de un proyecto usando la Técnica del Valor Ganado. [Fuente: Departamento de Proyectos de Ingeniería. ETSII-UPV]

En un momento T del proyecto, se podría pensar que la desviación económica corresponde a la diferencia entre el coste real y el previsto. Sin embargo, analizando el valor previsto del trabajo efectivamente realizado, se calcula que el valor ganado es menor que el previsto, siendo mayor aún la desviación incurrida.

Mediante el uso del Valor Ganado, se pueden unir las dimensiones de costes y de tiempo para situar de manera correcta el proyecto dentro de la planificación realizada con anterioridad. De esta manera, se comparan correctamente los plazos y los costes reales del proyecto durante toda la vida del proyecto.

3.5 Método AHP (Analytic Hierarchy Process)

El proceso analítico jerárquico (en inglés, *“Analytic hierarchy process”*) o método AHP, es una técnica estructurada utilizada para tratar con decisiones complejas. Se trata de un método que trata de evaluar una serie de alternativas en base a unos criterios preestablecidos y, tratando de minimizar el grado de subjetividad, ayudar a tomar la decisión más adecuada.

Desarrollada por Thomas L. Saaty en los años setenta, esta herramienta es comúnmente utilizada para la toma de decisiones en diversos ámbitos (política, industria, negocios, etc.). Se basa en la idea de que la gran complejidad inherente de a un problema de toma de decisiones con criterios múltiples se puede resolver mediante la jerarquización de los problemas planteados. En cada nivel de jerarquía, se realizan comparaciones pareadas entre los elementos que están en el mismo nivel, en base a la importancia o contribución de cada uno de ellos al vértice del nivel superior al que están ligados. Este proceso de comparación conduce a una escala de medida relativa de prioridades o pesos de los elementos. Las comparaciones pareadas

se realizan por medio de ratios de preferencia y ratios de importancia, que se evalúan según una escala numérica propuesta por el método. Además, el método permite analizar el grado de inconsistencia de los juicios del decisor.

El método AHP incorpora los siguientes axiomas básicos:

- **Comparación recíproca.** El Decisor debe ser capaz de realizar comparaciones y establecer la fuerza de sus preferencias. La intensidad de estas preferencias debe satisfacer la condición recíproca: Si A es x veces más preferido que B, entonces B es $1/x$ veces más preferido que A.
- **Homogeneidad.** Los elementos de una jerarquía deben ser comparables. Las preferencias se representan mediante una escala de comparabilidad limitada.
- **Independencia.** Cuando se expresan las preferencias, se asume que los criterios son independientes de las propiedades de las alternativas.
- **Expectativas.** Para el propósito de la toma de decisión, se asume que la jerarquía es completa. Todos los elementos (criterios y alternativas) del problema son tenidos en cuenta por el Decisor.

Para llevar a cabo el método deben de seguirse los siguientes pasos:

1. Jerarquización del problema de decisión multicriterio discreto en tres niveles:
 - a. Nivel 1: Objetivo fundamental
 - b. Nivel 2: Criterios
 - c. Nivel 3: Alternativas
2. Establecimiento de prioridades mediante comparación binaria de los elementos del mismo nivel.

Se compara cada criterio o alternativa "i" con cada criterio o alternativa "j" respondiendo a las siguientes preguntas: *¿Es el criterio "i" igual, ..., más importante que el criterio "j" ?, Respecto al criterio j, ¿es la alternativa "i" igual, ..., más importante que la "j"?*

Se compara el criterio (o la alternativa) "i" con "j" y se asigna:

- 1: igual importancia
- 3: importancia moderada de un elemento sobre otro
- 5: importancia fuerte de un elemento sobre otro
- 7: importancia muy fuerte de un elemento sobre otro
- 9: extrema importancia de un elemento sobre otro
- 2, 4, 6, 8: valores intermedios

Si el criterio (o la alternativa) "i" domina a "j", por ejemplo, con un 5, entonces $a_{ij} = 5$ y $a_{ji} = 1/5$ o viceversa. Si "n" es el número de criterios o de alternativas, entonces sólo es necesario realizar $\frac{n(n-1)}{2}$ comparaciones.

Cabe destacar que cuando se trata con criterios cuantitativos, estos se normalizan dividiendo por la suma.

3. Construcción de la matriz de decisión.

A continuación, se presenta un ejemplo de matriz de comparación pareada con 3 elementos:

Tabla 1. Ejemplo de matriz de comparación con 3 elementos [Fuente: Elaboración propia]

	A1	A2	A3
A1	1	a_{12}	a_{13}
A2	$1 / a_{12}$	1	a_{23}
A3	$1 / a_{13}$	$1 / a_{23}$	1

Las matrices de comparación pareada poseen las propiedades de homogeneidad, reciprocidad y transitividad. Tras verificar la consistencia del Decisor, el vector de prioridades entre elementos será el autovector principal de la matriz de comparaciones pareadas.

A continuación, se multiplica la matriz A original por el vector obtenido B. El vector C resultante se divide entre el vector B componente a componente y se obtiene el vector D. La media aritmética de las entradas del vector D es el valor aproximado de λ_{max} .

Por último, se calcula el ratio de consistencia (CI) se la siguiente manera:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Donde:

λ_{max} : Autovalor principal

n : Dimensión de la matriz

Y se compara con el índice aleatorio de consistencia (RI):

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,525	0,882	1,115	1,252	1,341	1,404	1,452	1,484

El ratio de consistencia es:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

El resultado se acepta si:

- $CR \leq 0,05$ con $n=3$

- $CR \leq 0,08$ con $n=4$
 - $CR \leq 0,10$ con $n \geq 5$
4. Cálculo de prioridades globales asociadas a cada alternativa mediante agregación por suma ponderada de las prioridades obtenidas en cada nivel.

Para el cálculo de prioridades existen varios métodos, utilizándose el método exacto en el caso que nos ocupa. Los pasos son los siguientes:

- a. Se eleva la matriz al cuadrado, se suman los valores en cada fila y se normalizan.
- b. Se resta este vector del obtenido por el mismo procedimiento en la matriz original.
- c. Si la diferencia es un valor alto, se calcula la tercera potencia de la matriz y así sucesivamente hasta que las diferencias de los vectores obtenidos sean despreciables.

Una vez obtenida la matriz de prioridades globales, se obtiene en cada nivel la matriz de comparaciones pareadas. Esto se realiza de manera análoga a la matriz de comparación pareada de los criterios. Se asegura la consistencia de las matrices y, por último, las prioridades globales se obtienen mediante la fórmula:

$$p_i = \sum_{j=1}^n x_{ij} p_j$$

Donde:

- x_{ij} = prioridad entre los elementos "i" y "j"
- p_j = prioridad local del nivel correspondiente
- p_i = prioridad global del elemento "i"

3.6 Conclusiones

En este apartado se han introducido conceptos teóricos relacionados con la Dirección de Proyectos y la Programación de la Producción necesarios para comprender las ideas que se abordan en apartados posteriores. Toda esta información teórica se enclava dentro de la docencia impartida en el Máster de Ingeniería Industrial y, más concretamente, en la Especialidad de Organización y Gestión Industrial. Se ha tratado de abordar más en profundidad aquellos conceptos que tienen más relevancia en el presente trabajo y únicamente comentar y enunciar aquellos otros que no poseen tanta relevancia.

A partir de ahora, se comienza el estudio de la situación actual de proyecto dentro del entorno de la empresa, detallando las particularidades y deficiencias observadas que son objeto de este Trabajo Fin de Máster.

4. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

4.1 Introducción

Tras introducir los conceptos teóricos necesarios para entender adecuadamente este Trabajo de Fin de Máster, se describe en el siguiente apartado la metodología de trabajo seguida en la empresa y se analizan en detalle los problemas detectados. De esta manera, se podrá posteriormente proponer diferentes alternativas para elegir la solución más idónea e implementarla en el sistema de trabajo de la empresa. En primer lugar, se va a introducir el método utilizado actualmente para recoger datos de los indicadores de la productividad, que señalan el rendimiento o eficiencia global del desempeño de los procesos del Taller de Bogies. A continuación, se describe el método actual de recoger datos de producción, que indican el avance de obra de cada uno de los proyectos y permiten estimar el coste final del Proyecto, actualizar la Planificación de la Producción y, de ser necesario, tomar medidas preventivas para revertir las desviaciones.

Para facilitar la comprensión de los siguientes capítulos y acercar el contexto de trabajo de Stadler Rail Valencia a quien no está acostumbrado a los métodos de trabajo diarios de la empresa, se presentan en la Tabla 2 los principales problemas detectados.

Tabla 2. Problemas detectados en el Taller de Bogies. [Fuente: Elaboración propia]

Problema Detectado	Área/Sección
Discrepancia tiempos teóricos fabricación	Ingeniería de Producción
Control avance de obra manual	Producción
Desviación tiempos fabricación	Producción
Asignación errónea órdenes fabricación	Ingeniería/Planificación Producción
Carencia sistema trazabilidad	Producción

4.2 Contexto del análisis

Cabe recordar en este apartado el alto grado de artesanía y destreza manual necesario en los procesos de soldadura que se realizan en el Taller de Bogies. La forma de trabajo dentro del taller se corresponde con un modelo “Engineer-To-Order”, basado en la ejecución de proyectos únicos que poco o nada se asemejan entre ellos, lo que dificulta la repetitividad de las operaciones y añade una curva de experiencia cada vez que un nuevo proyecto es arrancado. Además de la producción de bogies para los vehículos ferroviarios que se fabrican en el resto de la fábrica, el Taller de Bogies también produce bogies y traviesas bailadoras para otras factorías del grupo Stadler alrededor de toda Europa. Gracias a la reputación del Taller en cuanto a la calidad conseguida en sus productos, el taller es considerado el centro de producción del grupo para proyectos de nuevo diseño o llamados “Taylor-Made”, que poco o nada se parecen a la gama de productos habitual.



Figura 48. Ejemplo de soldadura manual con hilo. [Fuente: [31]]

Aunque en la fabricación de un Bogie intervienen muchos más procesos, aquel que más destreza manual necesita y tiempo productivo ocupa es el de calderería y soldadura. La Figura 48 se muestra la forma de trabajo habitual de los soldadores del taller. A lo largo de los años se han podido automatizar aquellas soldaduras más repetitivas y fácilmente robotizables, pero aun así los procesos de montaje de subconjuntos necesitan ser ejecutados manualmente para controlar el recogimiento del acero producido por las altas temperaturas de las soldaduras empleadas. De hecho, las operaciones de montaje, soldadura, calibrado y rectificado ocupan alrededor del 60-65 % del tiempo productivo total de un Bogie. Por otra parte, al trabajar continuamente con proyectos de nuevo diseño, la capacidad de automatizar y/o estandarizar dichos procesos se ve reducida únicamente en los proyectos de gran número de unidades (más de 100 bastidores/bogies).

Con todo esto se quiere enfatizar en la dificultad actual de capturar los datos de producción en los procesos manuales en los que la eficiencia depende en gran medida de la destreza y habilidad del operario en cuestión.

4.3 Recogida de datos de los indicadores de productividad

En la actualidad, el sistema empleado para el control y captura de datos de la producción está basado en la utilización de bonos de trabajo. En la Figura 49 se muestra la metodología utilizada en la empresa Stadler Rail Valencia para el control de la producción.

Este sistema se utiliza para definir las operaciones a realizar en cada proyecto y cuantificar el tiempo empleado en cada una de ellas. Además, sirve como mecanismo de imputación de costes y control de incentivos de los operarios de la empresa, de manera que las horas de presencia de cada uno de ellos son liquidadas a los diferentes trabajos y tareas de cada uno de los proyectos. Aunque en este Trabajo de Fin de Máster se centre el estudio en el taller de bogies, esta forma de trabajo es común para todos los talleres de Stadler Rail Valencia. A continuación, se describe dicha metodología.

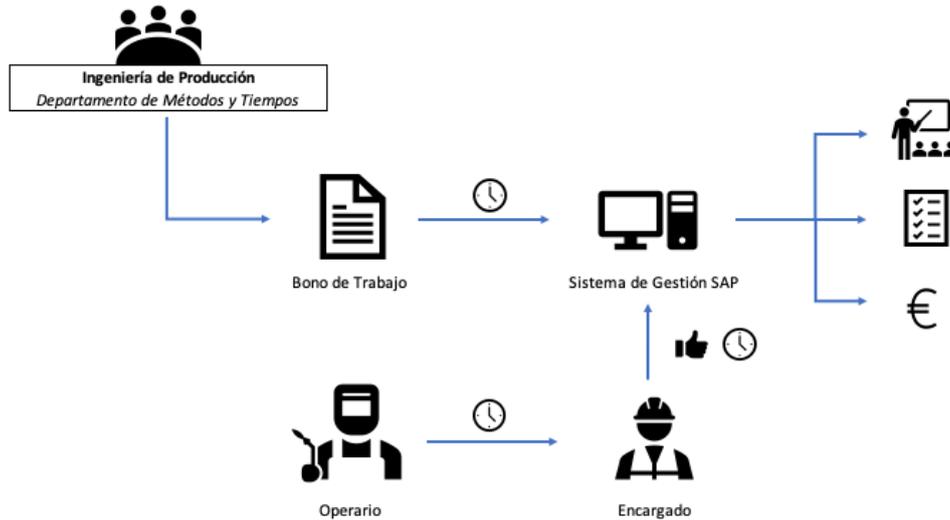


Figura 49. Metodología basada en Bonos de Trabajo. [Fuente: Elaboración propia]

4.3.1 Cierre de bonos de fabricación

En primer lugar, cuando toda la documentación de diseño de un proyecto de fabricación es lanzada, Ingeniería de Producción elabora las diferentes hojas de ruta y hojas de procedimiento donde se detallan todos los trabajos y operaciones a realizar. En concreto, el Departamento de Métodos y Tiempos es el encargado de detallar todas las “cadenas” de producción y describir todos los materiales y recursos necesarios para cada una de las operaciones. Por último, estima una duración o “tope” de tiempo para cada una de esas operaciones, que representa el tiempo de fabricación por operación en Taller por la MOD en condiciones ideales. Toda esta información es volcada a un software de gestión como SAP, que actúa como una gran base de datos donde se almacenan todas las operaciones por proyecto y unidad de fabricación.

Cada una de las operaciones, con su tope asignado, representan bonos de trabajo que sirven como “cheques” que se van cargando a las diferentes obras. A medida que los operarios realizan las diferentes operaciones, emplean un determinado tiempo que comunican a su encargado directo. Posteriormente, el encargado confirma el Bono de Trabajo en cuestión imputando las horas empleadas en dicha operación dentro de SAP. De esta manera, se van recogiendo los distintos costes de los proyectos a medida que avanzan las obras, para así elaborar reportes financieros, controlar el avance de producción y controlar el presupuesto. Existe cierto desfase entre el momento en el que se realiza una operación y en el que se confirma su Bono informáticamente, ya que el encargado es libre de agrupar los Bonos entre aquellos que comparten operarios, estación de trabajo, proyecto, etc., en el momento que decida antes del cierre mensual del balance financiero. Este hecho dificulta muchas veces el seguimiento de la producción a través de los bonos cerrados en SAP y obliga muchas veces a verificar visualmente el avance de obra “in situ”. De ello se hablará en el siguiente apartado.

4.3.2 Índice General de Productividad (IGP)

Tal y como se ha adelantado al inicio del presente Capítulo, una gran parte de los trabajos realizados en el Taller de Bogies son tipo de manual, realizado por caldereros y soldadores, y con un elevado componente manual. Por todo ello, en este tipo de operaciones su duración raramente coincide con el tope teórico establecido por el Departamento de Métodos. Es por ello que se utilizan varios indicadores de productividad, siendo el principal el **Índice General de Productividad (IGP)**. Este indicador se muestra en la Figura 50 y se compone de varias partes, siendo éstos otros indicadores:

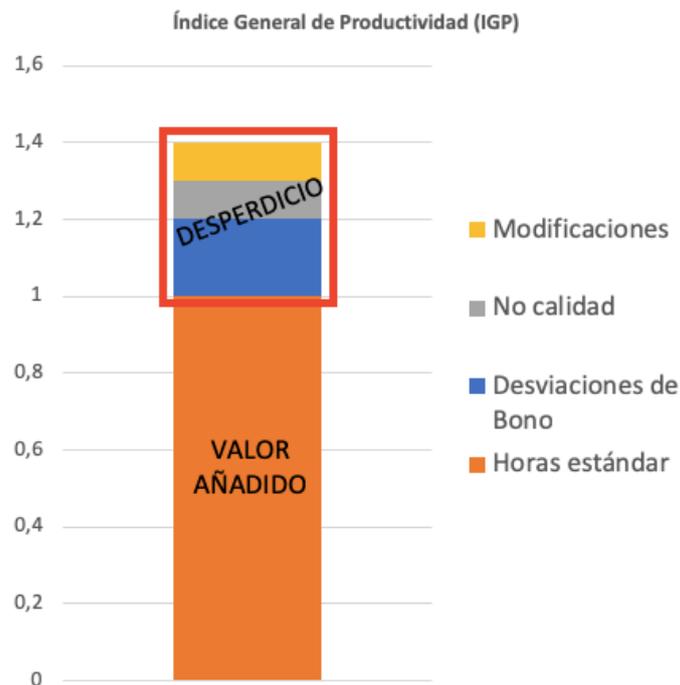


Figura 50. Índice General de Productividad (IGP). [Fuente: Elaboración propia]

- **Horas estándar:** Corresponde al “tope” estimado por Métodos, siendo éste el tiempo teórico que duraría la operación en condiciones ideales (sistema productivo optimizado, suministro inmediato de materiales, etc.).
- **Desviaciones de Bono:** Indica la cantidad de horas adicionales que se han invertido en una determinada operación. Esto puede ser producido por la existencia de operaciones extras no definidas en el bono de trabajo, por la incorrecta definición del tiempo de Métodos o por un rendimiento bajo del operario.
- **No calidad:** Representa los tiempos derivados de reprocesos o reparaciones producidos por avisos o Incidencias de No Calidad (INC).
- **Modificaciones:** Representa los tiempos invertidos en modificaciones lanzadas por el Departamento de Ingeniería durante el transcurso de la obra.

Ésta es la referencia que suele utilizarse para ofertar nuevos proyectos y confeccionar los presupuestos de obra del Taller. Además, todos estos indicadores se usan para controlar la

productividad y realizar el seguimiento del avance de obra. Ya que cada unidad fabricada del proyecto dispone de un número de serie asociado en el cual se imputan todas las operaciones a realizar, es posible seguir el avance de obra a medida que los encargados cierran bonos de trabajo. Los números de serie dependen de la configuración y diseño del vehículo final por parte de Ingeniería, hecho que dificulta a menudo el control de bonos en lo que a bogies se refiere (por ejemplo, número de serie con más de un bogie por unidad). A medida que los bonos asociados a un número de serie se van cerrando hasta completarlo, se puede conocer qué operaciones o fases de montaje de cada unidad de producción han sido completadas en el Taller.

4.4 Recogida de datos de la producción

Mensualmente se publican informes sobre los indicadores anteriores de cada uno de los talleres de la fábrica, aunque a partir de ahora este trabajo se centrará en el Taller de Bogies, que es donde se ubica el presente estudio. De esta manera, es trabajo de los respectivos jefes de taller y encargados mejorar los indicadores de productividad, reduciendo el “desperdicio” que aparece reflejado en los cierres de bonos.

A nivel productivo, en el Taller de Bogies es necesario controlar las desviaciones de tiempo de las operaciones que se llevan a cabo para optimizar así la capacidad del Taller. Ello se puede controlar a través del método explicado en el apartado anterior, pero más importante es aún poder asegurar un buen control sobre el avance de obra para asegurar el cumplimiento del planning de producción y asegurar las entregas al cliente. Con el método anterior es posible proyectar el resto de la obra y estimar el coste final del Proyecto, pero no ofrece una imagen clara del avance realizado y del número de unidades producidas hasta la fecha.

4.4.1 Proyección del coste de proyecto

En la Figura 51 se muestra un ejemplo de proyección del coste por unidad de fabricación de una línea de producción. Como cada proyecto es único, cada arranque de obra tiene una duración mayor en las primeras unidades, debido al aprendizaje necesario y a las horas de programación de las estaciones de soldadura robotizada y mecanización pesada. En el caso de la Figura 51, se ha proyectado el coste por unidad de fabricación en el área de Calderería y Soldadura de un proyecto determinado, en el cual interviene en mayor grado el factor humano y el aprendizaje de los operarios. En ella se puede observar como la curva de aprendizaje evoluciona a lo largo de la vida del proyecto, hasta estabilizarse en un nivel medio. Cuanto mayor es el número de unidades de fabricación dentro del mismo proyecto, más puede reducirse el valor medio en el que se estabiliza la curva. Las desviaciones puntuales corresponden a INC's que provocan reprocesos o reparaciones, modificaciones de ingeniería, o bien a interrupciones no programadas en la línea.

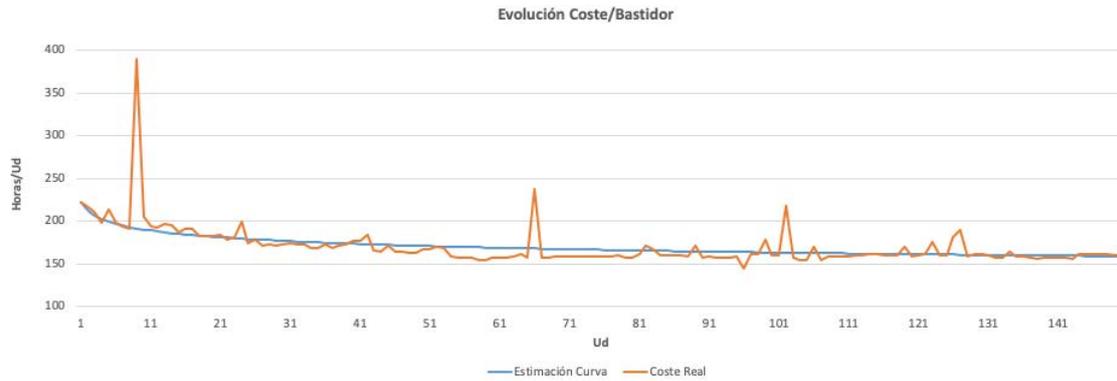


Figura 51. Proyección estimada del coste de MOD de un proyecto. [Fuente: Elaboración propia]

La proyección del coste de la Figura 51 se realiza mediante una curva de aprendizaje logarítmica [20] [21] que estima el tiempo productivo por unidad a medida que aumentan las unidades fabricadas. Para el cálculo de dicha curva se utilizan los siguientes factores:

- N : nº unidades totales a fabricar.
- t_n : tiempo de fabricación de la unidad n .
- t_1 : tiempo de fabricación de la 1ª unidad.
- R : Factor de aprendizaje. Corresponde al cociente entre el esfuerzo necesario para producir la unidad $2N$ y el esfuerzo necesario para producir la unidad N . Se estima en función de la complejidad del proyecto y la experiencia de los operarios asignados. Su valor suele variar entre el 80% y el 95%.
- s : Tasa de aprendizaje. Determina lo rápido o lento que el esfuerzo por unidad disminuye. Se calcula de la siguiente manera:

$$s = \frac{\log R}{\log(2)}$$

De esta manera, la curva se construye con la siguiente función:

$$t_n = t_1 \cdot n^s$$

Y se puede estimar el coste total acumulado para fabricar N unidades:

$$t_{Total} = t_1 \cdot \frac{N^{s+1}}{s + 1}$$

Después de proyectar el coste total del proyecto, tal y como se ha mostrado en la Figura 51, es necesario ir actualizando las horas MOD invertidas en cada uno de los centros de coste del Taller que imputan al proyecto, a medida que va avanzando la obra. De esta manera, se verifica que la estimación sigue la evolución prevista y, se rectifica la curva proyectada de coste en caso de alterarse las horas invertidas por unidad de fabricación si aparecen modificaciones o alteraciones en el alcance del proyecto. La actualización de las horas invertidas se lleva a cabo mediante la Técnica del Valor Ganado introducida en el Capítulo 3.4.4, de manera que la estimación del coste del proyecto se actualiza sobre el trabajo realmente realizado.

La Figura 52 muestra las horas invertidas y las horas concedidas (“tope”) por unidad de fabricación en un momento determinado de uno de los proyectos del Taller. En este caso, se trata de una línea de fabricación de 121 unidades con un coste medio de 8 horas por unidad en la sección de Pintura.

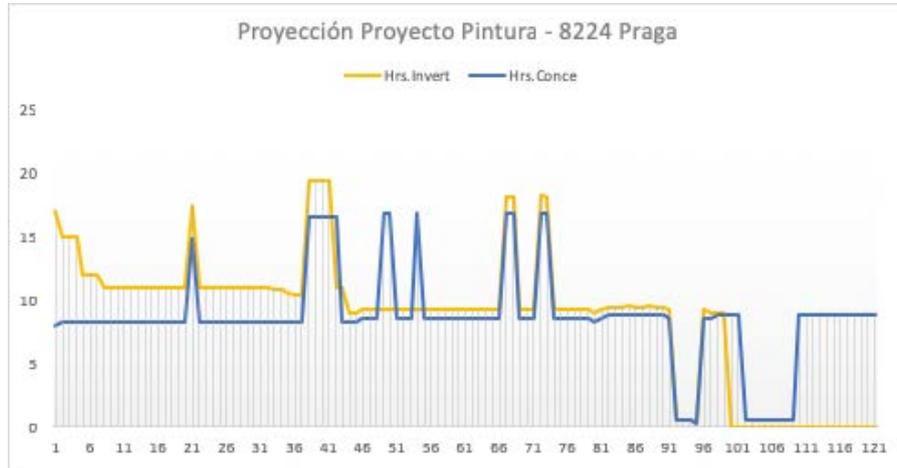


Figura 52. Horas concedidas en un Proyecto en Centro de Coste del Taller. [Fuente: Elaboración Propia]

En este caso en concreto, aparecieron diferencias notables en las horas concedidas tal y como se muestra en la Figura 52. Buscando dichos números de serie en el software SAP y comparando los bonos incluidos en ellos con los de un número de serie estándar, se descubrió que algunos bonos se repetían, desapareciendo de otros números de serie. En la Figura 53 se muestran los bonos asignados a un número de serie de otro proyecto, donde se observa que en las operaciones marcadas en rojo los bonos se han repetido como órdenes previsionales de fabricación hasta 4 veces.

OrdenFab	OrdenPrev.	Nº Material	Texto breve	Nº Serie	Oper	Piezas	Gr. solar	Puesto tra	Htp.Conce	Htp.Adici	Hrs.Invert	Htp.Realiz	Htp.Pend
21424967	45593141	BB17672212M001	MONTAR APOYO SECUNDARIA	21231000	0010	2,000	65	901407	8,160	1,170	6,960	9,330	0,000
	45593146					2,000	65	901407	8,160	0,000	0,000	0,000	8,160
	45593148					2,000	65	901407	8,160	0,000	0,000	0,000	8,160
	45593150					2,000	65	901407	8,160	0,000	0,000	0,000	8,160
21424967	45593141				0020	2,000	60	901420	8,160	0,884	6,650	9,044	0,000
	45593146					2,000	60	901420	8,160	0,000	0,000	0,000	8,160
	45593148					2,000	60	901420	8,160	0,000	0,000	0,000	8,160
	45593150					2,000	60	901420	8,160	0,000	0,000	0,000	8,160
21424967	45593141				0030	2,000	65	901407	2,720	0,299	2,220	3,019	0,000
	45593146					2,000	65	901407	2,720	0,000	0,000	0,000	2,720
	45593148					2,000	65	901407	2,720	0,000	0,000	0,000	2,720
	45593150					2,000	65	901407	2,720	0,000	0,000	0,000	2,720
21485988	45592447	BB17672212M002	ENSAYO ESTANQUEIDAD APOYO SECUNDARIA		0010	2,000	60	901420	5,440	0,000	0,000	0,000	5,440
	45592452					2,000	60	901420	5,394	0,000	0,000	0,000	5,394
	45591483					2,000	60	901420	5,440	0,000	0,000	0,000	5,440
21485975	45591483	BB17672212M003	APOYO SECUNDARIA CON SOPORTES		0010	2,000	65	901407	5,440	0,476	4,350	5,916	0,000
	45591483					2,000	65	901407	5,440	0,000	0,000	0,000	5,440
21485975	45591483				0020	2,000	60	901420	10,880	0,000	0,000	0,000	10,880
	45591483					2,000	60	901420	10,880	0,000	0,000	0,000	10,880
	45591483				0030	2,000	65	901407	2,720	0,000	0,000	0,000	2,720
	45591483					2,000	65	901407	2,720	0,000	0,000	0,000	2,720
21432150		BB17674000B001	MONTAJE LARGUERO MERSEY		0010	2,000	60	901420	19,040	4,447	17,270	23,487	0,000
					0020	2,000	70	901421	27,200	6,351	24,670	33,551	0,000
					0030	2,000	60	901420	12,240	2,856	11,100	15,096	0,000

Figura 53. Bonos repetidos en números de serie. [Fuente: Software SAP]

4.4.2 Control del avance de obra

En el Anexo 1. Avance de obra en el taller de bogies se muestra la hoja de control utilizada en el Taller de Bogies para realizar el seguimiento del avance de obra de las diferentes líneas de producción. Este documento se actualiza periódicamente de forma manual, actualizando el número de unidad producida que ha pasado por cada una de las etapas de fabricación del Taller. Posteriormente, se compara cada unidad producida con la que teóricamente se debería de estar produciendo acuerdo a la planificación del Taller.



Figura 54. Identificación actual de una unidad producida. [Fuente: Elaboración propia]

Como se muestra en la Figura 54, las diferentes piezas producidas en el Taller son contabilizadas e identificadas en la actualidad de manera no estandarizada (pintura blanca), que depende de la tipología y características de cada proyecto (por ejemplo, si la línea se compone sólo de largueros, si el bastidor se compone de una traviesa central, de si hay un solo tipo de bastidor o existe una variante remolque o motor, etc.). Además, como se puede ver en la figura anterior, la ubicación de dicho número de identificación no está definida, pudiéndose confundir con otras marcas o quedándose oculta por el montaje posterior de soportes o borrándose directamente en el horno de recocido o la cabina de granallado. En ese ejemplo se trata de la traviesa de bastidor nº 63, una vez soldada al bastidor nº 39 que, al tratarse de un Bastidor Remolque, pertenece a la serie de fabricación 20XX.

El Departamento de Calidad desarrolló hace un tiempo las llamadas “Fichas de Autocontrol”, pensadas para acompañar cada unidad de fabricación y permitir la trazabilidad de las operaciones realizadas e inculcar la cultura de “autocontrol” a los operarios del Taller. En la Figura 55 se muestra un ejemplo de dicha ficha, pensada para que los diferentes operarios dejen registrada cada una de las operaciones que realizan y asegurar que las uniones críticas son realizadas por operarios homologados.

probabilidad de detección de cada uno de ellos. Usando una escala del 1 al 5 y con la descripción que se ha hecho durante este capítulo, se pueden clasificar subjetivamente y de manera sencilla los problemas en función de la importancia o gravedad que supone su aparición, la recurrencia o frecuencia con la que aparecen o se repiten y la dificultad que tienen para ser detectados. En el Capítulo 5 se estudiarán con profundidad dichos problemas y se propondrán planes de mejora.

Tabla 3. Resumen de los problemas detectados en el Taller de Bogies. [Fuente: Elaboración propia]

Problema Detectado	Severidad	Frecuencia	Detección
Discrepancia tiempos teóricos fabricación	● ● ● ● ●	◆ ◆ ◆ ◆ ◆	▲ ▲ ▲ ▲ ▲
Avance de obra manual	● ● ● ○ ○	◆ ◆ ◆ ◆ ◆	▲ ▲ ▲ ▲ ▲
Desviación tiempos fabricación	● ● ● ● ○	◆ ◆ ◆ ◆ ◆	▲ ▲ ▲ ▲ ▲
Asignación errónea órdenes fabricación	● ● ● ● ●	◆ ◆ ◆ ◆ ◆	▲ ▲ ▲ ▲ ▲
Carencia sistema trazabilidad	● ● ● ○ ○	◆ ◆ ◆ ◆ ◆	▲ ▲ ▲ ▲ ▲

4.6 Conclusiones

Como se ha descrito anteriormente, el actual sistema de recogida de datos de la producción en el Taller de Bogies presenta varios problemas que afectan directamente a la Planificación de la Producción. Hasta ahora, ha sido posible funcionar de una manera más o menos manual debido al bajo número de proyectos que coincidían en el tiempo. No obstante, el aumento de carga de trabajo esperado hace necesaria una revisión de esta forma de trabajo y una automatización de la recogida de datos de la producción. De esta manera, se espera solucionar los problemas detectados y agilizar la toma de decisiones para aumentar la eficiencia de la gestión del Taller de Bogies.

Para abordar este problema, en el siguiente apartado se presentarán, valorarán y priorizarán diversas soluciones que permitan llevar a cabo con éxito el objetivo que se plantea en este Trabajo Fin de Máster.

5. ANÁLISIS DE LAS CAUSAS RAÍZ, VALORACIÓN Y PRIORIZACIÓN DE PLANES DE MEJORA

5.1 Introducción

Tras describir la metodología empleada en el Taller de Bogies para recoger datos de la producción y planificar la producción, se han encontrado una serie de problemas a los que se quiere dar solución. Una vez descritos, es momento ahora de analizar porqué se producen dichos problemas, es decir, analizar su causa “raíz”. A continuación, se presentarán una serie de planes de mejora o alternativas de solución, que pretenden mejorar, agilizar y automatizar la recogida de datos de la producción. Por último, se priorizará cuál de aquellas soluciones es la más idónea para el caso que nos ocupa.

5.2 Objetivos

El objetivo de este capítulo es abordar los problemas presentados en el Capítulo 4 y que se recogen en la Tabla 3, valorar las soluciones propuestas y priorizar aquella más idónea para ejecutar. Con todo ello, se pretende mejorar y agilizar la gestión de los datos de producción ante un escenario futuro de aumento de carga de trabajo.

5.3 Análisis de las causas raíz

A continuación, se procede a utilizar algunos de los métodos descritos en el Capítulo 3.2 para localizar la causa de los problemas detectados en el Taller en el Capítulo 4.3.

Al describir el **Índice General de Productividad (IGP)**, se introdujeron las partes de las que se compone, distinguiendo entre el tiempo estándar de las operaciones y la parte de “desperdicio” que representa la desviación productiva sobre la referencia teórica calculada por el Departamento de Métodos. Utilizando la técnica del “Diagrama de Ishikawa” descrita en capítulos anteriores, es posible identificar las posibles causas y orígenes de dicha desviación, tal y como se muestra en la Figura 58. A continuación, se describe brevemente cada una de las causas.

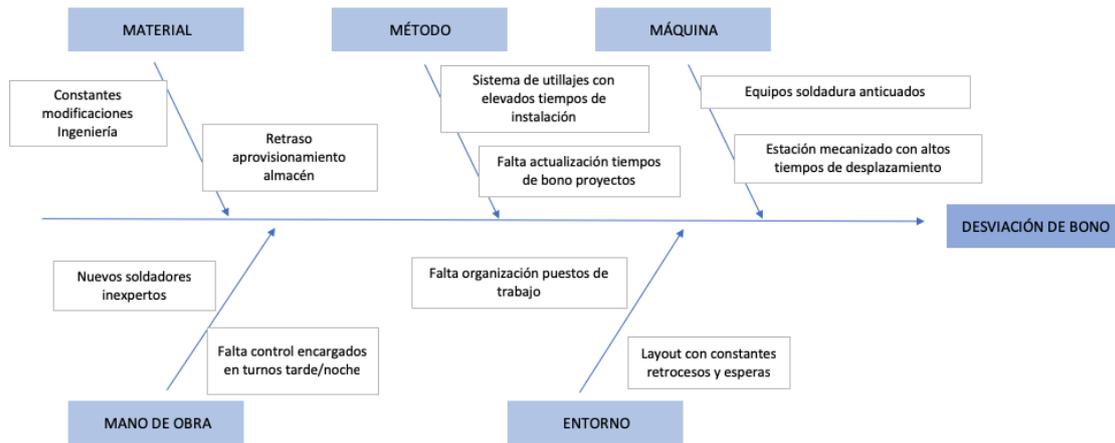


Figura 58. Diagrama de Ishikawa de los factores que producen Desperdicio en los Bonos Productivos. [Fuente: Elaboración propia]

5.3.1 Material

Las causas que dependen del material hacen referencia a otros departamentos de la empresa, en concreto al de Ingeniería y al de Logística de almacén.

Al ser la mayoría de los proyectos de nuevo diseño e irrepetibles, son frecuentes las modificaciones de diseño que afectan a producción durante toda la vida útil del producto. Aunque existan familias de productos en la empresa, cada producto se adapta a las necesidades de cada cliente (ancho de vía, número de vagones por vehículo, sistemas de potencia, altura del suelo de los vagones, etc.). Esto repercute en retrabajos, reprocesos o cambios en el alcance de producción, lo cual provoca en consecuencia, cambios en los tiempos productivos.

En cuanto a la Logística del almacén, se trata de un área que gestiona el material de todos los talleres de la empresa, lo que a veces complica la priorización de dicho material en función de las necesidades productivas de cada taller. Esto ocasiona muchas veces paradas intermitentes en la producción a causa de retrasos en el suministro de material, bien porque no se ha priorizado/programado correctamente, bien porque no se han realizado a tiempo la recepción e inspección del material.

5.3.2 Método

Como ya se explicó en el Capítulo 2.6.2, en las áreas de Calderería y Mecanizado del taller, se utilizan sistemas de utillajes sobre mármoles mecanizados para asegurar las restricciones geométricas de las piezas durante los procesos de soldadura y mecanizado para, de esta manera, asegurar la repetitividad de los conjuntos. La principal desventaja que presenta esta forma de trabajo son los elevados tiempos de instalación que tienen estos utillajes, así como en los arranques de obra, en los que se deben de ajustar todos los amarres en la primera unidad de producción para validar el útil y continuar la fabricación de la serie.



Figura 59. Ejemplo de útil de calderería [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]

Otro de los factores relacionados con el método de fabricación es la falta de actualización de los tiempos de los bonos productivos. Como se ha comentado previamente, cada proyecto es único e irreplicable, aunque existan familias de productos similares. De esta manera, el departamento de Métodos y Tiempos mantiene los tiempos estándar de fabricación de la familia de productos, sin entrar en el detalle de medir las particularidades o alcances diferentes de cada proyecto en particular. Esto provoca que, piezas con diseño similar, pero con diferente grado de dificultad o tiempo de fabricación, posean el mismo “tope” en el bono de producción. Esto provoca consecuentemente desviaciones en los tiempos de fabricación con respecto a la referencia de la preparación de Métodos.

5.3.3 Máquina

En el Capítulo 2.6.2 ya se presentaron los procesos de mecanizado y las estaciones de trabajo que se utilizan actualmente. Dichas estaciones se encuentran obsoletas debido a los altos tiempos de desplazamiento que posee la máquina entre diferentes operaciones de mecanizado y, como se comentó anteriormente, a los altos tiempos de preparación que posee el sistema de utillajes utilizado en el taller.

Las máquinas de soldar son también un elemento que se ha quedado obsoleto en el taller, en este caso, debido a los requisitos de calidad más estrictos que existen hoy en día. Esto hace necesario la adquisición de nuevas máquinas de soldar capaces de, por ejemplo, corregir los parámetros de intensidad y voltaje si el avance del cordón se ve alterado en velocidad o distancia del arco eléctrico.



Figura 60. Equipo de soldadura obsoleto [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]

5.3.4 Mano de Obra

El reciente aumento de la carga productiva del taller ha creado la necesidad de ampliar la plantilla actual de soldadores. Aunque en la fabricación de bogies se necesiten también pintores, fresadores y montadores, el mayor porcentaje de mano de obra se concentra en la sección de calderería y soldadura. Esto es debido a que en ella se encuentran las labores más manuales y que necesitan mayor destreza, además de tener mayores tiempos de proceso. Esta situación lleva consigo implícita la necesidad de formar y adiestrar a los nuevos operarios en la escuela que la fábrica posee para este propósito. De manera consecuente, se producen desviaciones en los tiempos de proceso por la inexperiencia de las nuevas incorporaciones. Adicionalmente, un mayor número de trabajadores debería llevar consigo un aumento proporcional de los jefes de equipo que controlen y supervisen su trabajo, cosa que actualmente no ocurre y dificulta esta labor en los turnos de la tarde y noche, donde apenas pueden encontrarse supervisores.

5.3.5 Entorno

El puesto de trabajo influye directamente en el desempeño de las operaciones que se realizan en el taller, concretamente en la sección de calderería y soldadura. Los constantes cambios de proyectos modifican de manera regular la configuración de los puestos y dificultan enormemente la estandarización de los puestos, ya que cada proyecto lleva asociada un área de trabajo distinta (en función del tamaño de los útiles, el número de estaciones según carga productiva, etc.). Esto, junto a la suciedad y el polvo que se genera en los procesos, acentúa la desorganización de los puestos de trabajo, con la consiguiente desviación asociada. Hace un par de años se realizó un gran esfuerzo para implementar la cultura 5S en el taller, pero no se ha

continuado dicha labor, viéndose totalmente eclipsada por el aumento en la carga productiva. Paralelamente, la gran diversidad de configuración de los puestos de trabajo entre diferentes proyectos hace imposible definir un flujo claro de materiales y piezas, provocando retrocesos y esperas en las estaciones fijas del taller, como por ejemplo los robots de soldadura y las estaciones de mecanizado.

Para comparar el impacto de los factores anteriores sobre la desviación en los bonos productivos, se presenta en la Tabla 4 una valoración de la severidad, frecuencia y dificultad de detección de los factores, similar a la llevada a cabo en la Tabla 3. Valorando cada categoría en una escala del 1 al 5 y multiplicando el total, se pueden priorizar los factores en función de su importancia.

Tabla 4. Importancia de los factores que producen Desviación de Bono. [Fuente: Elaboración propia]

Tipo	Causa raíz	Severidad	Frecuencia	Detección	Prioridad
Material	Modificaciones ingeniería	5	4	1	20
	Retraso Aprovisionamiento	4	3	3	36
Método	Sistema utillajes	3	5	2	30
	Desactualización tiempo bonos	5	5	4	100
Máquina	Equipos soldadura anticuados	2	3	1	6
	Estación mecanizado antigua	3	5	1	15
Mano de Obra	Formación nuevos soldadores	4	2	1	8
	Falta control encargados	2	4	3	24
Entorno	Falta organización puestos	3	3	2	18
	Layout poco optimizado	4	4	1	16

A continuación, se describe la importancia de cada uno de los factores:

- Los factores del **Material** y el **Método** son los que más influyen en la desviación del Bono, ya que cambian o falsean directamente la referencia real de las Horas Estándar del trabajo realmente producido. Esto podría solucionarse mediante la revisión y actualización de los tiempos “tope” por parte del Departamento de Métodos, pero no suele llevarse a cabo debido principalmente a dos motivos. El primero tiene que ver con el constante trabajo de revisión que supondría a lo largo de toda la vida útil del proyecto. El segundo tiene que ver con la asociada revisión del presupuesto del proyecto que ello supondría y que equivaldría a modificar el alcance del proyecto una vez comenzado este, perdiendo toda referencia del coste en el momento de lanzamiento del proyecto.
- Los factores relacionados con la **Máquina** pueden ser controlados mediante la renovación de los equipos del Taller, tarea que se está llevando a cabo mediante la implantación de nuevas inversiones en el taller (por ejemplo, la adquisición de una nueva fresadora puente).
- Los factores de la **Mano de Obra** podrían subsanarse estableciendo un nuevo programa de trabajo y control de los bonos productivos sobre los operarios (por ejemplo, con un nuevo sistema de control de tiempos y fichaje en las estaciones de trabajo).
- la optimización del Layout productivo, mantener la cultura 5S mediante el Círculo de Deming o estableciendo un nuevo programa de trabajo y control de Bono sobre los operarios.

No obstante, el estudio y/o desarrollo de dichas soluciones no es objeto del presente Trabajo Fin de Máster, ya que no tienen como objetivo principal el control y la toma de datos de la producción.



Figura 61. Hojas de Autocontrol en diferentes piezas. [Fuente: Stadler Rail Valencia]

Otro problema que ya se adelantó en el Capítulo 4.4.2 es el mostrado en la Figura 61 y que tiene que ver con la dificultad que existe actualmente para llevar un correcto avance de obra de los proyectos del taller de manera más o menos rápida. En dicho apartado se explicó las marcas de rotulador que se utilizan de manera recurrente y las Hojas de Autocontrol como único método estándar de trazabilidad que existe hoy en día. Éste último método presenta, cómo ya se introdujo, el inconveniente de verse enormemente perjudicado por la suciedad del Taller y el rudimentario método de sujetar las hojas en las piezas. Como se muestra en la Figura 61, las Hojas de Autocontrol se introducen en fundas de plástico que en parte las protegen de la suciedad generada en el Taller. No obstante, como se puede observar, su formato no es el más idóneo para acompañar e identificar a las piezas ya que, dependiendo de su geometría, las fundas deben de ser de pegadas con adhesivos, sujetadas con alambre o enrolladas en orificios de la pieza. Esta situación ocurre debido a que las Hojas de Autocontrol no están pensadas realmente como elemento de trazabilidad, por lo que se hace necesario un nuevo método de

trazabilidad interna que permita identificar correctamente las piezas y que permita actualizar el avance de obra de manera rápida y eficiente.

Otra de las problemáticas detectadas que afecta a la hora de llevar un correcto Control del Avance de Obra es el relativo a la problemática con los bonos duplicados y la dificultad que ello implica para una correcta proyección del coste total de los proyectos. Utilizando la técnica de los “5 por qué” y haciendo uso de los conceptos teóricos relacionados con el MRP, se puede llegar a la causa del problema detectado.

PROBLEMA: Bonos mal asignados en números de serie



- ¿Por qué?: Bonos desaparecen de números de serie y se asignan a otros
- ¿Por qué?: Órdenes de fabricación con números de serie erróneos
- ¿Por qué?: Órdenes previsionales con números de serie erróneos
- ¿Por qué?: MRP con orden de liberación de números de serie distinto
- ¿Por qué?: **Fechas de liberación de órdenes en MRP no se actualizan**



**MRP fijo donde las fechas de liberación no se actualizan al
avance/retraso de la obra**

Como se ha demostrado, el MRP de la empresa no se actualiza con el avance real de la obra en el Taller, lo que produce que las fechas de aprovisionamiento de materiales y órdenes de fabricación no se correspondan con la necesidad real de la producción.

5.4 Posibles planes de mejora

Analizadas las causas de los problemas detectados, se proponen a continuación una serie de posibles planes de mejora utilizando la técnica de los Diagramas de Afinidad, introducida en el Capítulo 3.2.5. En la Figura 62 se muestra el resultado de dicha técnica.

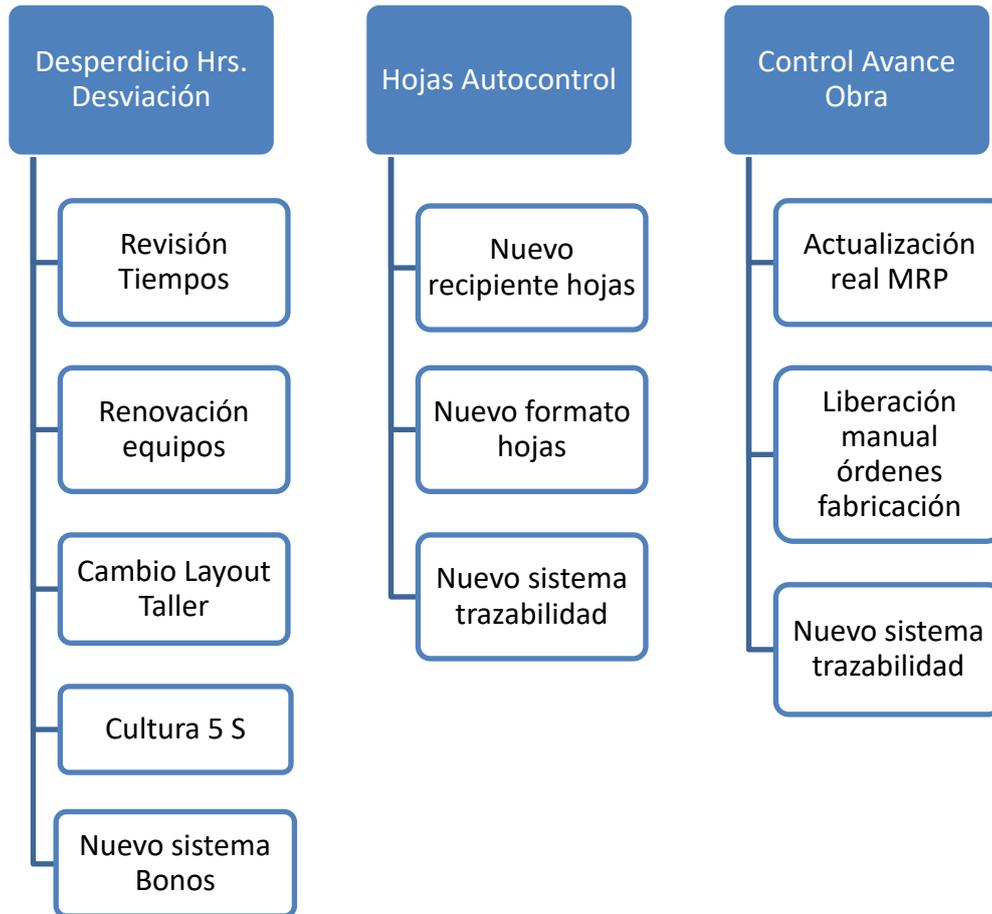


Figura 62. Diagrama de Afinidad de los problemas detectados. [Fuente: Elaboración propia]

5.5 Estudio de mercado

Presentados una vez los posibles planes de mejora, se plantea ahora un pequeño estudio de mercado para tratar de cuantificar la viabilidad de cada uno de ellos.

En cuanto a reducir el desperdicio en las horas de desviación en los Bonos productivos, actualmente se está trabajando en el Taller de Bogies en la renovación de equipos de soldadura con mejores características y más sencillez en su uso que incrementan su versatilidad en diversos tipos de soldadura. El coste de dicha mejora se estima en medio/alto, ya que son alrededor de 50 máquinas de soldadura de hilo las que deben de ser renovadas.

Además, hoy en día se está ejecutando el cambio de Layout del Taller, reduciendo las distancias recorridas por las piezas a lo largo de las diferentes estaciones de trabajo y favoreciendo un flujo de operaciones más orgánico y acorde a las necesidades productivas. Esta mejora se estima con un coste alto, debido al transporte y manipulación de maquinaria de gran volumen y la pérdida momentánea de superficie productiva debida a los movimientos y cambios de estaciones de trabajos asociados.

En cuanto al mantenimiento de la cultura 5 S, en el año 2011 se elaboró un Plan Industrial que atacaba dichas deficiencias y elaboraba planes de seguimiento que deben de ser mantenidos en

el tiempo por los diferentes talleres de la Fábrica. El coste de este plan de mejora, a nivel del Taller de Bogies, se estima en un coste medio.

A nivel directivo se impulsó recientemente un nuevo Sistema de Cierre de Bonos que aún no ha sido probado en el Taller de Bogies y que, de forma temporal y provisional, permitirá a los propios operarios cerrar los bonos productivos al acabar su jornada laboral en unas pantallas táctiles instaladas en los talleres para tal uso. El coste de esta mejora se estima en medio/bajo.

Por último, ya se ha adelantado anteriormente que la revisión de Tiempos depende directamente del Departamento de Métodos y Tiempos, por lo que no está previsto una revisión a corto plazo de los tiempos asignados a las operaciones. Al contrario, de forma muy esporádica y ante situaciones excepcionales, se estudia la posibilidad de revisar dichos tiempos. No obstante, el coste de dicha revisión se estima bajo.

Respecto a las Hojas de Autocontrol, su uso y mantenimiento depende del Departamento de Calidad para la trazabilidad de las soldaduras críticas y a modo de inculcación de la cultura del autocontrol y autoevaluación por parte de los operarios. Es decir, su propósito no es la trazabilidad de las piezas del Taller, por lo que, de manera directa no es posible utilizar dichas hojas para el objetivo que persigue el presente Trabajo Fin de Máster. De todas maneras, el coste de mejora se estima en bajo.

Por último, a lo que respecta el control del Avance de Obra, la actualización real del MRP es responsabilidad del Departamento de Planificación General, aunque sí bien es cierto que se alimenta de la Planificación de Producción del Taller de Bogies que se elabora en el momento que arranca cada proyecto. Implementando un nuevo sistema de Trazabilidad más o menos automático, se podrían actualizar de manera rápida los grafos que planifican la fabricación de cada unidad del proyecto y liberar automáticamente las órdenes de fabricación y, con ello, solicitar rápidamente el aprovisionamiento de materiales a la línea. De otra manera, todas las órdenes de fabricación deberían ser liberadas de manera manual, con el largo tiempo de trabajo asociado que invertirían los técnicos de logística del Taller. El posible coste de dicha mejora se estima en bajo.

Toda la información anterior se resume en la Tabla 5, donde se muestran todos los planes de mejora expuestos anteriormente. Con dicha información es posible priorizar qué plan realizar en primer lugar, dependiendo del coste e importancia de cada uno de ellos. Algunos de esos planes, son competencia de otras áreas de la empresa ajenas a Producción y al contexto de análisis del presente Trabajo Fin de Máster, por lo que serán descartados.

Tabla 5. Resumen de los planes de mejora. [Fuente: Elaboración propia]

Planes de Mejora	Coste	Importancia	Estado	Responsable
Revisión Tiempos	Bajo	Alta	Pendiente	Métodos
Renovación equipos	Medio/Alto	Media	En curso	Producción
Cambio Layout Taller	Alto	Baja	En curso	Producción
Cultura 5 S	Medio	Media	En curso	Producción
Nuevo sistema Bonos	Medio/Bajo	Media/Baja	En curso	Producción
Nuevo recipiente hojas	Bajo	Baja	Pendiente	Calidad
Nuevo sistema trazabilidad	Bajo	Alta	En estudio	Producción
Actualización real MRP	Bajo	Alta	En estudio	Planificación
Liberación manual órdenes fabricación	Bajo	Media/Alta	En estudio	Logística

5.6 Priorización de un plan de mejora

A continuación, se pretende priorizar la actuación e implementación de uno de los planes de mejora presentados anteriormente. Para ello, se hace uso del Diagrama PACE, introducido con anterioridad en el Capítulo 3.2.4, tal y como se muestra en la Figura 63.

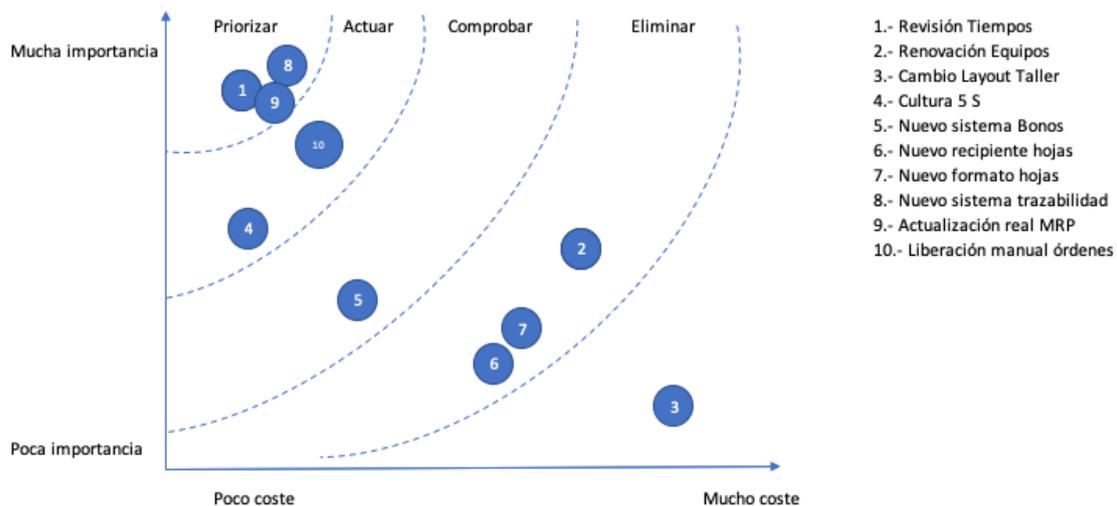


Figura 63. Diagrama PACE de los Planes de Mejora. [Fuente: Elaboración propia]

Tal y como muestra el Diagrama PACE, los Planes de Mejora que deben de ser priorizados para su ejecución son la revisión de tiempos de los bonos productivos, la creación de un nuevo sistema de trazabilidad y la actualización real del MRP. Como se ha argumentado en capítulos anteriores, la revisión de tiempos es competencia del departamento de Métodos y Tiempos y, por lo tanto, no es objeto de estudio del presente Trabajo Fin de Máster.

Los planes que deben de ser ejecutados en segundo lugar y, de hecho, se están ejecutando actualmente, es el mantenimiento de la cultura 5S y la liberación manual de órdenes de fabricación.

A continuación, la creación de un nuevo sistema de Bonos debe de estudiarse con profundidad, y no es objeto de este Trabajo Fin de Máster.

Por último, el resto de los planes de mejora deben de ser eliminados directamente, ya que su coste es demasiado alto o bien tienen un impacto de poca importancia en la resolución del problema que se aborda.

5.7 Conclusiones

Tal y como se ha descrito anteriormente, se ha realizado un análisis de las causas raíz de los problemas detectados en el Capítulo 4 y, mediante un Diagrama de Afinidad, se han propuesto varios planes de mejora para su resolución.

Con el objetivo de priorizar y centrar el estudio que se aborda en el presente Trabajo Fin de Máster, se realiza un Diagrama PACE para identificar aquellos planes de mejora que deben de ejecutarse en primer lugar. De esta manera, se identifica que los planes a realizarse son:

- Creación de un nuevo sistema de Trazabilidad
- Actualización real del MRP

Ambos planes se relacionan directamente, ya que conociendo en tiempo real y de manera más o menos automática el avance de obra de los diferentes proyectos del Taller, se pueden actualizar las Planificaciones de éstos y ajustar las necesidades de material, la plantilla necesaria y la estimación final del Proyecto de forma eficiente y acorde a la Industria 4.0 de hoy en día.

6. DEFINICIÓN DE UN NUEVO SISTEMA DE RECOGIDA DE DATOS DE LA PRODUCCIÓN

6.1 Introducción

En el pasado Capítulo 5, se describieron las posibles causas de los problemas detectados en el Taller de Bogies, proponiendo además planes de mejora para su resolución. A continuación, se estudia la viabilidad de cada uno de ellos, para así priorizar cuál debe de ser finalmente implementado en la empresa.

En el presente Capítulo se llevará a cabo el plan o planes de mejora elegidos, definiendo cuáles deben las necesidades que debe satisfacer, el sistema de trabajo que lo definirá y controlando *in situ* su implementación. Para finalizar, se propondrán una serie de propuestas de mejoras futuras del sistema y se expondrán las conclusiones al respecto.

6.2 Objetivo

El objetivo de este Capítulo es definir un nuevo sistema de recogida de datos de la producción en el Taller de Bogies de Stadler Rail Valencia y conseguir, de esta manera, una rápida actualización del avance de obra de los proyectos del taller. Para ello, se llevarán a cabo los planes de mejora elegidos en el Capítulo 5, que son:

- Creación de un nuevo sistema de Trazabilidad
- Actualización real del MRP

De esta manera, se pretende controlar el estado de fabricación de los proyectos del Taller, para así poder actualizar de manera rápida y eficiente el MRP y otros indicadores de la producción.

6.3 Requisitos del sistema

El nuevo sistema de recogida de datos de la producción debe de cumplir una serie de requisitos para su exitosa implementación, tal y como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Requisitos del nuevo sistema de recogida de datos. [Fuente: Elaboración propia]

Robustez	Debe ser compatible con la forma de trabajo del taller.	
Fiabilidad	No debe generar dudas o confusiones ni presentar duplicidades.	
Actualización rápida	Debe de permitir actualizar los datos de producción rápidamente.	
Sencillez	Debe de poder comprenderse y utilizarse por todo el personal del Taller.	
Flexibilidad	Debe de poder adaptarse a la gran variedad de proyectos del Taller.	

En primer lugar, el sistema de identificación que se implante para asegurar la trazabilidad en el Taller debe de ser robusto. Esto quiere decir que debe de ser compatible con la forma de trabajo expuesta en el Capítulo 4 y las peculiaridades del Taller de Bogies. Por ejemplo, el sistema elegido debe de ser resistente a la suciedad y a los golpes, además de poder acompañar debidamente a las piezas y conjuntos de acero. Este último detalle, hace idóneo la utilización de soluciones basadas en imanes, aunque ello se discutirá más adelante. En la Tabla 7 se presentan los requisitos técnicos que debe cumplir obligatoria y opcional el sistema elegido, en base a una serie de criterios.

Tabla 7. Requisitos del soporte/etiqueta. [Fuente: Elaboración propia]

Requisitos técnicos del soporte/etiqueta
<p>De obligado cumplimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Resistencia al ambiente. <ul style="list-style-type: none"> ○ Tanto el soporte como la etiqueta deben resistir la suciedad e inclemencias del Taller. En el Taller se genera polvo de soldadura y chispas generadas por trabajos de amolado. ○ <u>Criterio a cumplir:</u> mínimo grado de protección IP 67 ● Resistencia a la temperatura. <ul style="list-style-type: none"> ○ Aunque el soporte se coloque alejado de las zonas donde se efectúan cordones de soldadura, existen gradientes de temperatura que pueden afectar al soporte. ○ <u>Criterio a cumplir:</u> resistencia a temperaturas de 800 °
<p>De deseado cumplimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Fácil retirada/colocación. <ul style="list-style-type: none"> ○ En cada bogie existen numerosas posiciones de soportes y subconjuntos que se montan y sueldan, por lo que el soporte que incorpore la etiqueta debe de ser fácilmente retirable para ser colocado en otro lugar del bastidor. ○ <u>Criterio deseable:</u> soluciones basadas en imanes

- **Formato compatible.**
 - Para el Taller ya dispone de una impresora de etiquetas, el formato de la misma debe de ser compatible con ella.
 - Criterio deseable: Formato de impresión 29,69 x 21 cm

Al tratarse de un sistema pensado para garantizar la Trazabilidad de los conjuntos y piezas de los diferentes proyectos, debe de ser capaz de asegurar todas las características expuestas en el Capítulo 3.3. En otras palabras, debe de evitar duplicidades en la identificación de las piezas, para asegurar así un correcto control del avance de las obras y una correcta actualización del MRP.

La rapidez es tal vez la característica más importante que se persigue con este nuevo sistema, además de la fiabilidad. Una vez que las piezas son identificadas inequívoca y claramente, se debe de procurar actualizar de forma rápida los indicadores que se alimentan del avance de obra y que fueron presentados en el Capítulo 4. De esta manera, se consigue mayor tiempo de reacción frente a posibles desviaciones o correcciones en la programación de la producción, facilitando así la toma de decisiones y la gestión del Taller.

De forma paralela, es necesario la participación más o menos directa de ciertos Stakeholders que asegurarán el correcto funcionamiento del sistema en el futuro y que, además, aportarán robustez a su funcionamiento y promocionarán su desarrollo. En la Tabla 8 se recogen los stakeholders internos del Taller de Bogies y los externos que, una vez desarrollado el sistema piloto, participarán en la mejora continua y posterior evolución del sistema. Estos aspectos se desarrollan como propuestas futuras de mejora en el Capítulo 7 y en las futuras líneas de trabajo en el Capítulo 8.4.

Los principales stakeholders en el momento de la creación del nuevo sistema son los internos que pertenecen al Taller de Bogies. Esto es así, debido al hecho de que el sistema se crea y está pensado para su utilización en dicho taller, principalmente para la trazabilidad de las piezas y el control del avance de obra. Por ello, se incluyen todos ellos en el plan de implantación del sistema, tal y como se ve en el posterior Capítulo 6.5.

Tabla 8. Stakeholders del nuevo sistema de recogida de datos. [Fuente: Elaboración propia]

Stakeholders internos	Stakeholders externos
<ul style="list-style-type: none"> • Jefe de Taller • Planificador • Encargados • Operarios 	<ul style="list-style-type: none"> • Logística • Compras • Calidad

6.4 Sistema de codificación y trazabilidad

A la hora de identificar las piezas y asegurar una correcta trazabilidad de los proyectos, es necesario utilizar una codificación inequívoca y sencilla que evite duplicidades y sea fácilmente comprensible por todos los trabajadores del Taller de Bogies.

6.4.1 Alternativas

En primer lugar, se comienza enumerando una serie de alternativas que, a priori, parecen ser idóneas para el sistema que se plantea y que cumplirían con los requisitos presentados en el Capítulo 6.3. Cabe recordar que el objetivo es definir la codificación utilizada para identificar los conjuntos de piezas que se trabajan en el taller para su posterior volcado a un sistema informático. Las alternativas que se presentan son las siguientes, ya introducidas en el Capítulo 3.3.2:

- **Código de barras unidimensional**

La primera alternativa tiene que ver con la codificación basada en códigos de barras unidimensional expuesta en el Capítulo 3.3.2.1, ya que se trata de un sistema ampliamente utilizado en la actualidad y con numerosas soluciones telemáticas en el mercado para su implementación en cualquier tipo de industria. Su implantación es sencilla, es una codificación utilizada actualmente en el Taller de Bogies para otros propósitos y para la que se dispone de dispositivos para su lectura.

- **Código QR**

Otra tipología de código de barras se basa en la codificación multidimensional, presentada también en el Capítulo 3.3.2.1 y basada en el mismo fundamento de funcionamiento que el código de barras convencional. En este caso, a diferencia de la versión unidimensional, la información puede ser leída tanto en vertical como en horizontal. Permite codificar información más compleja, normalmente enlaces externos o URLs a direcciones de páginas web, por lo que

requiere de acceso a internet a la red local a la que se quiera acceder. En la actualidad no se poseen dispositivos en el taller para su lectura.

- **C3digo RFID**

En la actualidad, cada vez son m3s utilizados los c3digos basados en radiofrecuencia, gracias a su gran versatilidad, gran cantidad de informaci3n almacenada y la particularidad de lectura sin contacto directo. En este caso, no se dispone en el taller del sistema necesario para su funcionamiento, aunque en otras sedes europeas del grupo Stadler es habitual su uso, tal y como se puede ver en la Figura 64.



Figura 64. Ejemplo de RFID utilizado en la sede de Winterthur [Fuente: Stadler Winterthur AG]

6.4.2 Elecci3n mediante mètodo AHP

Para facilitar la elecci3n de la alternativa que mejor se adecue al nuevo sistema propuesto, se hace uso del mètodo AHP descrito en el Capítulo 3.5.

En primer lugar, se ha de definir el objetivo, los criterios de elecci3n y las alternativas. El objetivo se trata de seleccionar un sistema de codificaci3n para las piezas del Taller de Bogies, tal y como se ha introducido en los Capítulos 6.1, 6.2 y 6.3. Los criterios de selecci3n deben tener en cuenta los requisitos mencionados en el Capítulo 6.3, por lo que se eligen los siguientes:

1. Informaci3n almacenada.

Este criterio hace referencia tanto a la cantidad de informaci3n que el sistema es capaz de almacenar, asÍ como el tipo y complejidad de dicha informaci3n.

2. Implementaci3n.

Se trata de calificar la facilidad con la que se puede implementar dicho sistema en el Taller de Bogies, asÍ como su facilidad de uso.

3. Robustez e integridad.

Este criterio trata de valorar la capacidad del sistema de codificaci3n para soportar el ambiente y procesos habituales del Taller de Bogies.

4. Coste

De esta manera, se puede graficar la jerarquía del método como se observa en la Figura 65.

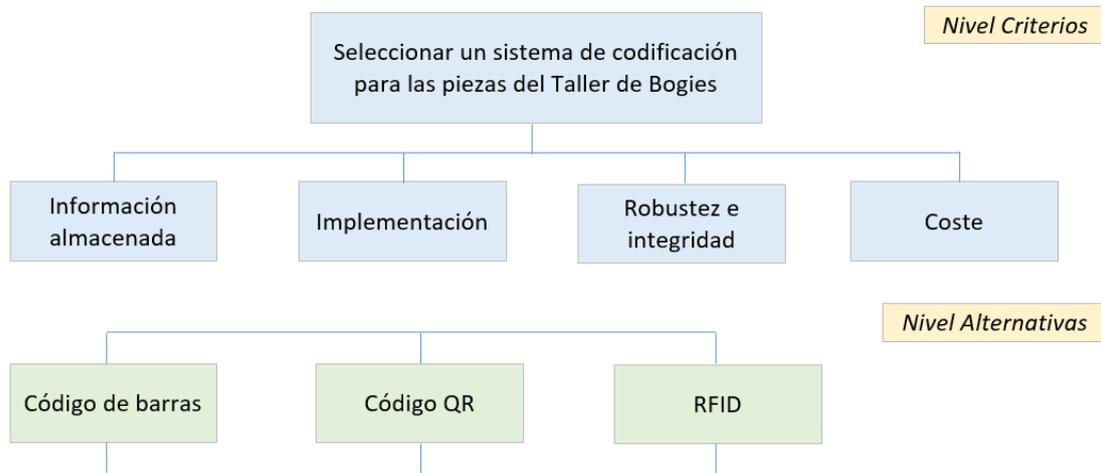


Figura 65. Jerarquía del Método AHP [Fuente: Elaboración propia]

A continuación, se realiza la comparación pareada entre los criterios y las alternativas, tal y como se ve en la Tabla 9.

Tabla 9. Comparación pareada de criterios [Fuente: Elaboración propia]

	Información almacenada	Implementación	Robustez e integridad	Coste
Información almacenada	1	3	0,3	2
Implementación	0,3	1	0,2	0,5
Robustez e integridad	4	5	1	2
Coste	0,5	2	0,5	1

Para obtener dicha tabla se han establecido las siguientes prioridades:

- El criterio “información almacenada” tiene una importancia moderada sobre el criterio “implementación”.
- El criterio “robustez e integridad” tiene una importancia entre moderada y fuerte sobre el criterio “información almacenada”.
- El criterio “información almacenada” tiene entre igual y moderada importancia sobre el criterio “coste”.
- El criterio “robustez e integridad” tiene una importancia fuerte sobre el criterio “implementación”.

- El criterio “coste” tiene entre igual y moderada importancia sobre el criterio “implementaci3n”
- El criterio “robustez e integridad” tiene entre igual y moderada importancia sobre el criterio “coste”.

El siguiente paso es normalizar la matriz de comparaciones pareadas, sumar las filas, obtener el promedio y el vector fila total. Posteriormente, se obtiene el promedio y se realiza el cociente tÈrmino a tÈrmino entre el vector fila total y el promedio. El resultado se promedia para obtener λ_{\max} y con él, el índice de consistencia (CI) y el ratio de consistencia (CR). El desarrollo del c3lculo anterior se detalla en el Anexo 5. C3lculo del vector propio de los criterios del MÈtodo AHP.

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,061}{0,882} = 0,069 \leq 0,08$$

$$\text{Vector propio} = \begin{pmatrix} 0,226 \\ 0,083 \\ 0,521 \\ 0,170 \end{pmatrix}$$

Demostrada la consistencia de la matriz de comparaci3n pareada de criterios y obtenido su vector propio, se realiza el mismo proceso para obtener la matriz de comparaci3n de alternativas para cada uno de los criterios. Las matrices de comparaci3n de alternativas para cada criterio se muestran en la Tabla 10, Tabla 11, Tabla 12 y Tabla 13. Todos los c3lculos se detallan en el Anexo 6. C3lculo de los vectores propios de las alternativas del mÈtodo AHP.

Tabla 10. Matriz de comparaci3n de alternativas para el Criterio 1 [Fuente: Elaboraci3n propia]

Informaci3n almacenada	C3digo de Barras	C3digo QR	RFID
C3digo de Barras	1	0,3	0,1
C3digo QR	3	1	0,2
RFID	8	5	1

En este caso, se evalúa la cantidad y tipo de la informaci3n que cada sistema puede almacenar. El c3digo de barras únicamente permite almacenar una cadena de nùmeros y letras unidimensional, mientras que el c3digo QR permite almacenar cadenas de texto m3s complejas e incluso enlaces a p3ginas web. Por otra parte, el c3digo RFID permite almacenar un volumen mayor de informaci3n. El ratio de consistencia de la matriz es 0,042 menor del 5%, característico de las matrices de dimensi3n 3.

Tabla 11. Matriz de comparación de alternativas para el Criterio 2 [Fuente: Elaboración propia]

Implementación	Código de Barras	Código QR	RFID
Código de Barras	1	4	9
Código QR	0,3	1	3
RFID	0,1	0,3	1

En el caso del Criterio “Implementación”, se tiene en cuenta que la alternativa más fácilmente implementable en el Taller de Bogies es el código de barras unidimensional, ya que se utiliza actualmente para el cierre de bonos productivos manual. El código QR podría implementarse con relativa facilidad, ya que es un sistema análogo al código de barras, pero no se dispone de lectores adecuados a dicho lenguaje. Por otra parte, el RFID necesita de la instalación de un nuevo sistema de lectura y escritura de radiofrecuencia, bastante más sofisticado que el anterior. El ratio de consistencia de la matriz es 0,009 menor del 5%, característico de las matrices de dimensión 3.

Tabla 12. Matriz de comparación de alternativas para el Criterio 3 [Fuente: Elaboración propia]

Robustez e integridad	Código de Barras	Código QR	RFID
Código de Barras	1	3	9
Código QR	0,3	1	5
RFID	0,1	0,2	1

Para analizar las alternativas en el Criterio “Robustez e integridad”, se evalúa el grado en el que cada una de las tecnologías presentadas es compatible con los procesos del Taller de Bogies y el ambiente agresivo de él. En el Capítulo 6.3 se presentaron una serie de requisitos de obligado y deseado cumplimiento del sistema a implementar, para que el funcionamiento del sistema sea el adecuado. Dichos requisitos pueden ser integrados en cada una de las alternativas, pero existen procesos que interfieren directamente en su funcionamiento, como es el caso del Recocido de los bastidores, cuyas temperaturas extremas hacen inviable el empleo de chips de RFID. Por otro lado, los códigos de barras y QR pueden ser impresos, troquelados, serigrafiados o pintados en los bastidores y subconjuntos, pudiendo aguantar dicho proceso. El ratio de consistencia de la matriz es 0,028 menor del 5%, característico de las matrices de dimensión 3.

Tabla 13. Matriz de comparación de alternativas para el Criterio 4 [Fuente: Elaboración propia]

Coste	Código de Barras	Código QR	RFID
Código de Barras	1	2	9
Código QR	0,5	1	5
RFID	0,1	0,2	1

Por último, para analizar el Criterio “Coste” se tiene en cuenta el coste de implantación de cada alternativa. En este sentido, la alternativa más económica es el código de barras ya que, como se ha explicado anteriormente, se encuentra ya implementada para otros propósitos en el Taller de Bogies. En comparación, el código QR sería algo más cara, ya que habría que adaptar los lectores actuales a dicho lenguaje. Por último, la alternativa claramente más cara es la del RFID. El ratio de consistencia de la matriz es 0,001 menor del 5%, característico de las matrices de dimensión 3.

Una vez obtenidas las matrices de comparación de las alternativas para cada criterio, se obtiene el vector propio de cada matriz, tal y como resulta en la Tabla 14, Tabla 15, Tabla 16 y Tabla 17.

Tabla 14. Vector propio del Criterio 1 [Fuente: Elaboración propia]

Información almacenada

Código de Barras	0,075
Código QR	0,183
RFID	0,742

Tabla 15. Vector propio del Criterio 2 [Fuente: Elaboración propia]

Implementación

Código de Barras	0,727
Código QR	0,200
RFID	0,073

Tabla 16. Vector propio del Criterio 3 [Fuente: Elaboración propia]

Robustez

Código de Barras	0,672
Código QR	0,265
RFID	0,063

Tabla 17. Vector propio del Criterio 4 [Fuente: Elaboración propia]

Coste

Código de Barras	0,615
Código QR	0,319
RFID	0,066

Por último, se construye la matriz de prioridades globales y la prioridad global de cada alternativa, tal y como se muestra en la Tabla 18 y Figura 66.

Tabla 18. Matriz de prioridades globales [Fuente: Elaboración propia]

	Información almacenada	Implementación	Robustez	Coste
Código de Barras	0,226	0,083	0,521	0,170
Código QR	0,075	0,727	0,672	0,615
RFID	0,183	0,200	0,265	0,319
	0,742	0,073	0,063	0,066

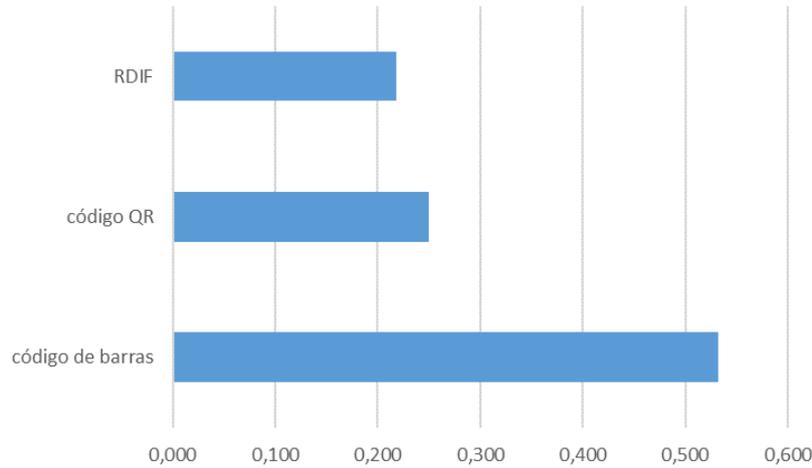


Figura 66. Prioridades globales del método AHP [Fuente: Elaboración propia]

Como se puede observar en la Figura 66, según el método AHP utilizado, la alternativa más idónea con un 53,2% sería el código de barras, seguido del código QR con un 25% y el RFID con el 21,8%. Aunque permita una menor cantidad de información almacenada, se trata de la alternativa más fácilmente implementable, más robusta y económica, por lo que se elige dicha alternativa para el sistema de recogida de datos de la producción.



Figura 67. Identificación de pieza en el Taller de Bogies. [Fuente: Elaboración propia]

En la Figura 67 se muestra una propuesta para la identificación de las piezas en el Taller de Bogies, la cual acompañaría a las mismas de manera única e irrepetible. Como el soporte físico que contenga la etiqueta debe resistir el ambiente normalmente sucio del taller, se propone utilizar una chapa de metal imantada en la cual se adhiera la etiqueta y se pueda retirar de manera sencilla para no interferir en el montaje o soldadura de piezas sobre el conjunto. Además, el formato y tamaño de la etiqueta se ajusta a la impresora de etiquetas ya disponible en el taller.



Figura 68. Significado de la codificación propuesta. [Fuente: Elaboración propia]

En la Figura 68 se indica el significado de cada uno de los campos de la etiqueta propuesta. En ella aparecen:

- **Nombre y Número de Proyecto.** En el taller se suelen conocer los proyectos por su nombre, pero a la hora de cerrar bonos o buscar documentación en los softwares de gestión es necesario conocer también el número, más difícil de recordar.
- **Descripción del conjunto.** Nomenclatura del conjunto, correspondiente a las diferentes fases de fabricación por las que pasa, según lo explicado en el Capítulo 2.6.2.
- **Codificación del conjunto.** Se trata de la información que se pretende volcar a un software informático a modo de “contador”, de manera que se pueda actualizar mediante el código de barras el avance de obra presentado en el Capítulo 4.4.2. Consta de 3 codificaciones:
 - **LR – 8080 – 001.** Codificación sencilla estandarizada para identificar las piezas en el taller de forma rápida. En ella se indica el tipo de elemento, el número de proyecto y la unidad de fabricación. En este caso se trataría del Larguero Remolque nº 1 del proyecto 8080.
 - . Código de barras a escanear por un lector y volcar la información de identificación al software de gestión. El propósito del presente Trabajo de Fin de Máster no es el desarrollo de la aplicación informática que gestione la información de la producción, debido a las limitaciones de extensión del mismo. No obstante, con la creación de una codificación “piloto”, se da el primer paso para su creación, tal y como se explica en el Capítulo 7.
 - **01108080005001.** Codificación numérica que volcar en el software de gestión, el cual contiene los siguientes campos:

Tabla 19. Campos identificativos del nuevo sistema de codificación. [Fuente: Elaboración propia]

Elemento	Proyecto	Proceso	Unidad
XXX	YYYYY	ZZZ	AAA
011	08080	005	001

- **011** - *Tipo de conjunto o elemento*. Estos 3 dígitos indican de qué tipo de pieza se trata y la estación de trabajo o fase de fabricación en la que se encuentra. En el Capítulo 0 se puede encontrar el Anexo 2. Codificación de los conjuntos y piezas del taller de bogies. donde se detalla la codificación de los diferentes conjuntos. En este caso se trata de un “Larguero Remolque” en la estación de “Montar y Soldar Larguero Remolque”.
- **08080** - *Número de proyecto*. Normalmente los proyectos se suelen conocer en el taller por las últimas 4 cifras, aunque los sistemas informáticos de la empresa incorporan uno más, por lo que se mantiene dicho formato.
- **005** – *Código de proceso*. Estos 3 dígitos coinciden con los 3 últimos dígitos de la cadena de fabricación que prepara el departamento de Métodos, tal y como se explicó en el Capítulo 4.3 y que aparece como “Nº Material” en la Figura 53.

De manera adicional y como se ve en la Figura 69, se marcan los diferentes conjuntos y subconjuntos con rotuladores de pintura indeleble (comúnmente conocido como “Fixolid”) con la codificación sencilla estandarizada para que, en caso de rotura/pérdida del soporte con la etiqueta, las piezas sigan pudiendo ser identificadas y trazadas.



Figura 69. Identificación de conjunto en el Taller de Bogies [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]

6.5 Plan de implantación

Una vez definida la solución a adoptar, es necesario realizar un plan para su implantación, definiendo las actividades, sus responsables y su planificación temporal.

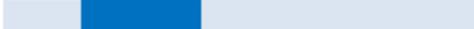
Las actividades necesarias para que el nuevo sistema de identificación comience a funcionar en el taller son las siguientes:

1. **Definición del soporte.** Es necesario diseñar el soporte/recipiente “porta etiquetas” y el nuevo estándar de identificación los conjuntos.
2. **Acopio del soporte.**

3. **Elección de un proyecto piloto.** Se debe elegir un proyecto en el que realizar la primera prueba del sistema en el taller.
4. **Elaboración del AMFE de proceso.** Para dotar de robustez al sistema y asegurar su mejora continua es necesario elaborar un AMFE.
5. **Definición de la operativa del sistema.** Se debe definir la nueva manera de trabajar, sin interferir en las operaciones habituales del taller.
6. **Formación de operarios y usuarios del sistema.** Hay que formar a los operarios y supervisores para que respeten la operativa del sistema, haciendo que participen de manera proactiva y ayuden a la mejora continua del sistema.
7. **Extensión del sistema al resto de proyectos del taller.** Una vez se valide el correcto funcionamiento del sistema, se debe de hacer extensivo al resto de proyectos del taller.

En la Tabla 20 se muestra el plan de implantación detallando los responsables de las actividades y la distribución temporal de las mismas. Como es usual en el Taller de Bogies, la planificación de las actividades comienza en el momento de aprobación y lanzamiento del proyecto en el instante "T0".

Tabla 20. Plan de implantación [Fuente: Elaboración propia]

Actividad	Responsable	Fecha Fin	T0
1. Definición del soporte	Asistente Producción	T0 + 2 sem	
2. Acopio del soporte	Compras Producción	T1 + 3 sem	
3. Elección del piloto	Jefe de Taller	T0 + 1 sem	
4. Elaboración AMFE	Asistente Producción	T0 + 2 sem	
5. Definición operativa	Jefe de Taller	T1 + 4 sem	
6. Formación usuarios	Dep. IT	T4 + 2 sem	
7. Extensión del sistema	Asistente Producción	T5 + 4 sem	

6.6 Implantación del sistema

A continuación, se lleva a cabo la implementación del nuevo sistema de etiquetado y trazabilidad de piezas en el Taller de Bogies. Como se ha comentado en apartados anteriores, el sistema debe de ser compatible con el modo operativo y de trabajo del taller, sin interferir en ningún caso con la operativa descrita en el Capítulo 4.

Cabe destacar en este momento la principal restricción que se ha encontrado en la implantación del nuevo sistema de trazabilidad. Al tratar el objetivo de este trabajo de la trazabilidad y captura de datos de producción, se ha enfocado el nuevo sistema a un control puramente productivo, aunque más adelante en el Capítulo 7 se proponen futuras mejoras del sistema que incluyen otras áreas de la empresa. De forma adicional, se prepara un presupuesto de implantación y un breve estudio de viabilidad económica en el Anexo 7. Presupuesto y estudio de viabilidad económica.

Al tratarse de un nuevo sistema de control productivo antes nunca utilizado en el Taller de Bogies, se propone su implementación en diferentes fases. De esta manera, se pretende implementar el sistema según la teoría del Círculo de Deming o PDCA explicada en el Capítulo 3.2.3, permitiendo así una puesta en marcha progresiva del sistema, al mismo tiempo que es

posible detectar los fallos y ejecutar una solución. A continuación, se presentan las fases de implementación del sistema:

- **Fase 1. Definición del “porta etiquetas” e identificación de conjuntos**

En el Capítulo 6.4 se definió la etiqueta identificativa y la escritura con “Fixolid” que debe de acompañar a los conjuntos. Además, se presentaron una serie de requisitos que debían de cumplir ambos elementos para resistir las particularidades del taller. En la primera fase de la implantación del sistema, se diseña un soporte de acero inoxidable en el cual adherir las etiquetas.

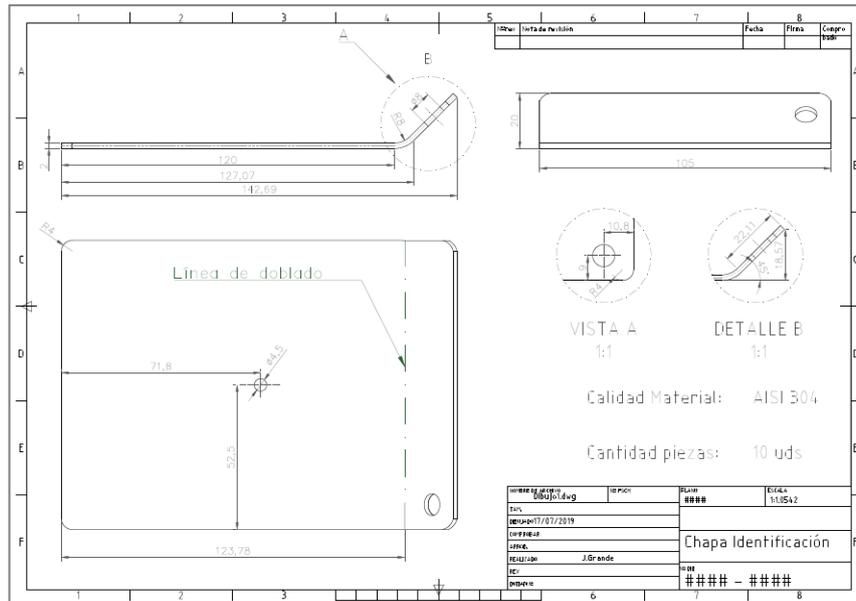


Figura 70. Soporte para identificación de piezas. [Fuente: Elaboración propia]

En la Figura 70 se muestra el diseño del soporte identificativo donde se pegará la etiqueta del conjunto correspondiente. En ella se pretende soldar un pequeño imán de neodimio para poder adherir la chapa a las piezas de acero y, en caso de que moleste por su ubicación, poder cambiar su ubicación en el conjunto de forma fácil. De esta manera, se cumplen los requisitos de la Tabla 7. En cualquier caso, el conjunto irá siempre identificado de forma adicional con la escritura con “Fixolid”, según lo explicado en el Capítulo 6.4.

- **Fase 2. Acopio del soporte**

En esta fase se contacta con el Departamento de Compras de Producción de la empresa para encontrar un proveedor que fabrique el soporte diseñado. De entre los proveedores habituales con los que trabaja el departamento, se elige aquel que oferta la fabricación del soporte en acero inoxidable mediante oxicorte. Además, se hace un cálculo del número de subconjuntos y conjuntos que cohabitan en el taller y se define el número de soportes necesarios, más un 10% adicional ante posibles mermas o desperfectos.

- **Fase 3. Elección del proyecto piloto y prueba en taller**

Es tal el número de proyectos y conjuntos que se disponen actualmente en el taller, que se hace poco recomendable implementar el nuevo sistema en todos los proyectos a la vez. Por ello, se propone implementar en primer lugar el sistema en un proyecto único, como piloto del mismo, para así detectar las desviaciones fácilmente y revertir los posibles fallos.



Figura 71. Chapa identificativa en larguero. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]



Figura 72. Detalle de la chapa identificativa. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]

En la Figura 71 y Figura 72 se muestra la implementación del nuevo sistema de identificación en el proyecto piloto elegido. Se trata de un proyecto recién comenzado en el taller, con un proceso productivo sencillo y de estructura parecida a futuros proyectos ya firmados de la empresa. Se

puede observar que la identificaci3n del conjunto se presenta de manera sencilla y fàcilmente entendible, permitiendo al operario cambiar la ubicaci3n de la chapa identificativa gracias al imán soldado que incorpora. Ademàs, se le ha a±adido un orificio en el que colgar las Hojas de Autocontrol, y asì evitar los problemas descritos en el Capìtulo 5.3.5.

- **Fase 4. Elaboraci3n del AMFE de proceso**

De manera adicional y, para dotar de robustez a la implantaci3n del sistema, se elabora un AMFE de proceso con el objetivo de anticipar cualquier incidencia que pueda afectar al correcto funcionamiento del sistema. Junto a los encargados y jefes de equipo del taller se lleva a cabo una “tormenta de ideas” o *Brainstorming* durante la fase de definici3n de la operativa, y se trata de detectar las posibles debilidades del sistema, anticipar las soluciones, desarrollar los cambios necesarios en sintonìa con la operativa usual del taller y hacer partìcipes a los usuarios de la mejora en el desarrollo de la misma. El AMFE de proceso se realiza siguiendo la metodologìa descrita en el Capìtulo 3.2.7 y se puede encontrar en el Anexo 4. AMFE de Proceso.

- **Fase 5. Operativa del sistema**

El modo de trabajo que se propone trata de no alterar la operativa ya existente, en la cual el Departamento de Calidad utiliza Hojas de Autocontrol, tal y como se explic3 en el Capìtulo 4.4. Por lo tanto, se pretende que ambos sistemas trabajen simultàneamente sin perturbarse el uno al otro. Concretamente, en la Figura 70 se aprecia un orificio pensado precisamente para colgar las Hojas de Autocontrol y evitar los problemas de transporte y deterioro.

La operativa a realizar para utilizar el nuevo sistema de trazabilidad es el siguiente:

1. Al comenzar cada conjunto se crea su c3digo identificativo y se a±ade la etiqueta con su chapa, colgando de ella tambièn la Hoja de Autocontrol.
2. De forma adicional, se identifica con “Fixolid” el conjunto segùn lo descrito en el Anexo 3. Formato de identificaci3n de piezas en caldererìa.
3. Una vez el conjunto es terminado, o pasa a formar parte de un conjunto màs grande (como por ejemplo largueros que forman parte de bastidores), se escanea la etiqueta mediante lector de c3digo de barras, se retira de la lìa y se elimina. De esta manera, se recoge en un software que recoge el avance de obra del proyecto y se a±ade una unidad al contador correspondiente.

- **Fase 6. Formaci3n de los usuarios**

Junto al personal de IT de la empresa, se organiza una formaci3n sobre la utilizaci3n de los c3digos de barras y las pistolas lectoras. En dicha formaci3n participan, en primer lugar, los encargados y jefes de equipo, y posteriormente los operarios del taller. La intenci3n es formar a los usuarios del sistema para hacerles partìcipes en el uso y mejora continua del sistema, ademàs de advertir de las posibles consecuencias ante un uso inadecuado o una operativa err3nea de la misma.

- **Fase 7. Extensión del sistema**

Una vez estabilizado el sistema en el proyecto piloto y, asegurado el correcto funcionamiento y operativa de la misma, se procede a hacer extensivo dicha forma de trabajo al resto de proyectos del taller. Esto significa adaptar la codificación a las características particulares de cada uno de los proyectos, añadiendo o suprimiendo conjuntos, subconjuntos u operaciones, en función de las singularidades de cada uno.

En una planta donde los proyectos son “Taylor-Made” y donde existe una gran casuística de conjuntos y operaciones, es importante definir para cada uno de ellos qué hitos o etapas de fabricación se quieren registrar para la correcta planificación de la producción.

6.7 Resultados

En primer lugar, la imagen que da el nuevo sistema de identificación, tal y como se muestra en la Figura 71 y Figura 72, mejora y renueva la imagen arcaica y atrasada que presentaba el taller antes y que se presentó en el Capítulo 4. Además, ha acabado con la problemática del deterioro de las Hojas de Autocontrol, pues pueden ser retiradas fácilmente y colocadas en otra ubicación de la pieza.

Por otra parte, se ha mejorado en gran medida la identificación de las piezas en el taller, pues el nuevo sistema de etiquetas permite reconocer de manera fácil y sencilla los diferentes conjuntos y subconjuntos de todos los proyectos del taller a operarios, jefes de equipos y subcontratas. Esto hace más eficiente el reconocimiento y priorización de las piezas dentro de las estaciones de trabajo. Gracias a la estandarización de la forma en la que se nombran e identifican los conjuntos, se pueden reconocer de manera sencilla las piezas del resto de proyectos sin tener que estar trabajando necesariamente en él.

En último lugar, el Departamento de Calidad ha acogido de buen grado la implementación de este sistema, no sólo por la reducción del deterioro de las Hojas de Autocontrol, sino también por la creación del código de identificación y trazabilidad de las piezas. De esta manera, pueden ellos también crear un sistema de trazabilidad propio en el que, gracias a la codificación de las piezas del taller, pueden crear un historial de las operaciones, reprocesos, modificaciones e inspecciones que ha sufrido cada pieza de manera sencilla. De esta manera, es el inspector de calidad el que valida la pieza una vez realizada la inspección y confirma la realización completa de la pieza, tanto para el Departamento de Calidad como para el Departamento de Producción. Esto es, la pieza es validada tanto para seguir el flujo productivo como tanto para ser incluida en el software de control de producción como pieza acabada.

6.8 Conclusiones

En este capítulo se pretendía presentar el sistema de captura de datos de la producción y su implementación en el Taller. Se ha definido el sistema de gestión y los medios físicos necesarios para su puesta en marcha.

En primer lugar, se ha identificado cada una de las piezas de los proyectos que se fabrican en el Taller de Bogies, creando así un sistema de trazabilidad que, a modo de “matrícula”, identifica y controla los conjuntos que se trabajan en el Taller.

Además, se ha estandarizado la manera en la que se identifican física e informáticamente dichos conjuntos, para volcar información sobre el avance de obra a un software de gestión.

De esta manera, se ha pasado de un control manual, lento y costoso, a un sistema fácil y rápido que permite visualizar el estado actual de cada uno de los proyectos, permitiendo así una toma de decisiones ágil y rápida que asegure los objetivos de plazo y coste del Taller de Bogies.

7. PROPUESTAS FUTURAS DE MEJORA

7.1 Introducción

Una vez implementado el nuevo sistema de identificación y trazabilidad, se plantean diversas mejoras al sistema a estudiar en el futuro. El sistema que se ha creado es la base sobre la cual se pueden aunar otros procesos de gestión que rodean al proceso productivo (por ejemplo, la logística de materiales, la gestión del almacén, el movimiento de piezas, etc.). Identificando las piezas mediante el código de identificación, a modo de “matrícula”, existen numerosas aplicaciones para añadir y gestionar cualquier tipo de información relacionada con los conjuntos y subconjuntos.

7.2 Nuevo software de gestión

En el presente Trabajo Fin de Máster no se ha profundizado en la creación y desarrollo del software que gestione la captura de datos efectuada mediante los códigos de barras. Esto es así, ya que se ha pretendido profundizar más en el aspecto técnico y en el contexto productivo del taller que en el aspecto de desarrollo de la herramienta informática.

No obstante, se hace necesario una aplicación informática que cruce los datos recogidos de la producción con las distintas programaciones de la producción de los proyectos. Mediante el uso de lectores de códigos de barras, se pueden volcar al software los momentos de inicio y fin de cada uno de los conjuntos del Taller.

7.3 Cierre de bonos productivos

Junto al Departamento de IT de la empresa y al Departamento de Ingeniería de Producción, se están comenzando los primeros trabajos con el objetivo de utilizar los códigos de barras y la codificación desarrollada en el presente Trabajo Fin de Máster para el cierre de bonos productivos en el Taller.

El objetivo principal del nuevo sistema de cierre es liberar a los encargados de la tarea de introducir los tiempos de trabajo de los operarios y su asignación a las diferentes operaciones a realizar en cada uno de los proyectos. En la Figura 73 se muestra la propuesta de funcionamiento de dicho sistema. La gran diferencia con respecto al sistema actual presentado en el Capítulo 4.3 es que es ahora el operario el que introduce el tiempo que invierte en cada de las operaciones mediante lectura del código de barras de la pieza que está trabajando. Leyendo el código de barras en los momentos de inicio y fin de los trabajos, se puede registrar el tiempo invertido por cada operario en las operaciones que tiene cada pieza.

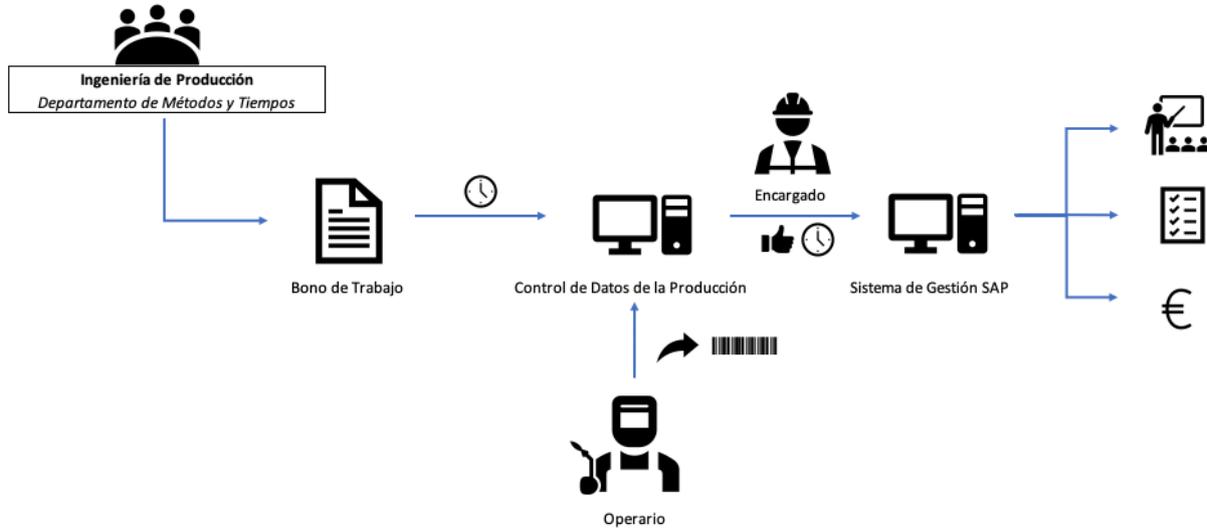


Figura 73. Propuesta de Cierre de Bonos Productivos. [Fuente: Elaboración propia]

El Departamento de IT ha comenzado ya a instalar pantallas táctiles en diferentes puntos del Taller donde los operarios seleccionan las operaciones en las que están trabajando, de modo que, cruzando dicha información con las marcas de entrada y salida del Taller de los operarios, se puede conocer en qué operaciones han invertido su jornada laboral cada uno de los operarios del Taller. En la actualidad ya se está comenzando a trabajar con dicha metodología, tal y como se puede observar en la Figura 74.



Figura 74. Entorno software para la asignación de Bonos. [Fuente: Stadler Rail S.A.U.]

El problema que se ha detectado desde Producción es que dicho sistema no resuelve los problemas descritos en el Capítulo 4.3 y dificulta en gran medida la búsqueda de la operación concreta a los cerca de 200 operarios que posee actualmente el Taller de Bogies. Además, los operarios que realizan tareas de corta duración y que producen un gran número de piezas al día (por ejemplo, caldereros y soldadores que realizan operaciones repetitivas de montaje y ensamblado en subconjuntos) pasarían gran tiempo de su jornada desplazándose hasta la pantalla táctil para elegir la misma operación una y otra vez.

Por todo ello, se ha propuesto utilizar los códigos de barras que se han desarrollado en el presente Trabajo de Fin de Máster para que los operarios puedan justificar el tiempo de su jornada laboral en los diferentes conjuntos y piezas de los proyectos. De esta manera, si se dota en cada uno de los puestos de un lector de código de barras, los operarios no tienen que desplazarse a una de las pantallas táctiles. El modo de trabajo que se propone es el siguiente:

1. El encargado reparte entre sus operarios las diferentes pegatinas de las piezas y conjuntos que deben trabajar cada uno de ellos.
2. El operario escanea el código de barras de la pieza y escanea su número de operario para marcar el inicio de la operación correspondiente, es decir, el tiempo de presencia del operario comienza a imputarse en la pieza en cuestión.
3. El operario finaliza la pieza y vuelve a escanear el código de la pieza y su número de chapa para marcar el fin de la operación. La pieza pasa al siguiente puesto, donde el proceso se repite, pero esta vez es otro operario que imputa su tiempo en la pieza.
4. El proceso se repite para la siguiente pieza asignada al operario.

De esta manera, se resuelve el problema de la pérdida de tiempo en los desplazamientos de los operarios a los puestos donde se encuentran las pantallas y, más importante todavía, se facilita al operario la tarea de asignar su tiempo a una de las múltiples operaciones que puede tener una pieza. En lugar de tener que buscar la operación concreta del proyecto en cuestión y la pieza correlativa que tiene asignada, el operario únicamente debe escanear el código de la pieza que le ha llegado y su número identificativo.

7.4 Secuenciación de la producción

Relacionado con la propuesta anterior, se propone ahora una opción más de mejora para el sistema de código de barras desarrollado. En un principio, el objetivo principal de la codificación creada en este Trabajo de Fin de Máster ha sido la de contabilizar de manera rápida y digital el número de piezas que se encuentran en un determinado estado de fabricación para cada uno de los proyectos en un momento determinado.

Como ya se explicó en el Capítulo 4.4.2, el avance de obra de los diferentes proyectos es utilizado para planificar la producción del Taller. Con la información recogida mediante el sistema de captura de datos desarrollado, esta información puede ser actualizada más rápidamente y se pueden anticipar retrasos o problemas en la producción de manera ágil.

Ahora bien, cuando dicha información es volcada y procesada por Planificación de la Producción, se pueden realizar correcciones y cambiar las asignaciones o prioridades de fabricación de cada

una de las secciones del Taller. Utilizando los conceptos teóricos en materia de Planificación introducidos en el Capítulo 3.4.1 y 3.4.2, se puede secuenciar la producción futura, entregando a los diferentes encargados las pegatinas de las diferentes piezas que deben de fabricar.

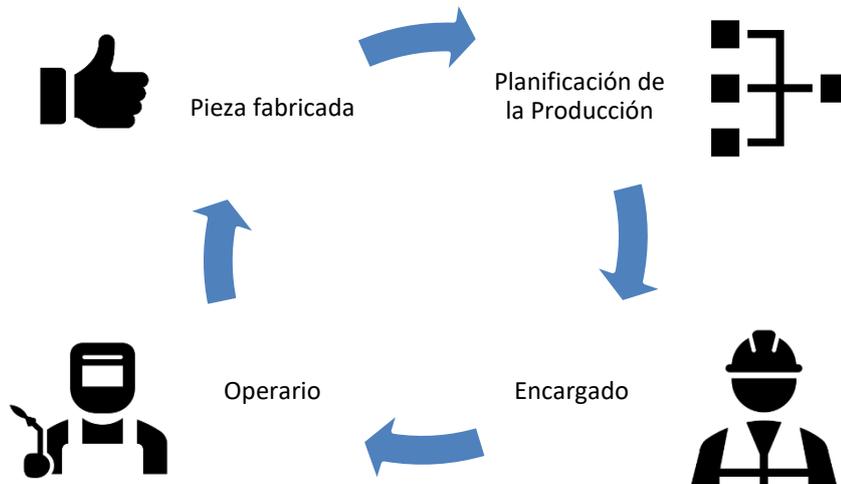


Figura 75. Proceso de Captura de Datos y Planificación de la Producción. [Fuente: Elaboración propia]

En la actualidad, y gracias al sistema de imanes implantado ya en el Taller de Bogies, se está consiguiendo implantar este sistema en papel, para que, de una manera rápida y sencilla, se pueda conocer la siguiente operación o movimiento de cada una de las piezas. En la Figura 76 se puede ver un ejemplo del nuevo sistema, en el que el encargado de la sección de Calderería indica el siguiente movimiento de la pieza, en este caso, al robot de Soldadura. Este sistema sencillo permite poder ver de manera rápida a los operarios del taller el estado de la pieza y la siguiente estación a la que debe de ser transportada.



Figura 76. Secuenciación de la producción mediante imanes. [Fuente: Stadler Rail Valencia]

Una vez funcione el sistema de código de barras desarrollado en el presente Trabajo de Fin de Máster, cada pieza identificada con su código de barras poseerá en él ya la información del siguiente proceso o estación de trabajo a la que tiene que ir la pieza, proveniente de la Planificación de la Producción.

La intención en el futuro es desarrollar dicha metodología digitalmente, para que los operarios puedan saber mediante una PDA, qué pieza deben trabajar, dónde se encuentra y cuál debería ser la operación a realizar. Una vez terminada, se notificaría la realización de la operación, según la metodología desarrollada en el Capítulo 6.

7.5 Logística de materiales

De forma similar a la descrita en el anterior punto, la actualización de las piezas fabricadas mediante código de barras puede ser utilizada además para controlar y gestionar la logística de materiales de cada proyecto.

Además del tiempo asignado por pieza, el Departamento de Métodos también incluye en cada una de las operaciones los materiales necesarios para su fabricación. De esta manera, en cada una de las operaciones del Taller se conoce las referencias y la cantidad de las piezas necesarias para la fabricación de un subconjunto o conjunto.

Utilizando dicha información, se puede cruzar la información volcada por la captura de datos de la producción facilitada por los códigos de barras al sistema de gestión SAP utilizado por el Departamento de Logística. Sabiendo en cada momento las piezas fabricadas, se puede conocer de manera rápida el estado de fabricación de las referencias del Taller y, de igual modo, el consumo de materiales de dichas referencias. Con los conceptos teóricos descritos en el Capítulo 3.4.3, se pueden programar automáticamente las necesidades de materiales a medida que las unidades anteriores se van finalizando, o en otras palabras, se puede demandar el suministro al Taller de las piezas necesarias para un conjunto en el momento que se inicie la pieza anterior (o con la antelación necesaria que indique el MRP, mediante lanzamiento manual o automático mediante *Auto-Call*).

De esta manera, y de modo similar que pasa con el control del avance de obra, se puede obtener información valiosa del estado de consumo de materiales de un proyecto de forma sencilla, y automatizar en menor o mayor medida los procesos de gestión para garantizar el cumplimiento de los Programas de Producción de los proyectos.

8. CONCLUSIONES

Una vez terminado el desarrollo del presente Trabajo Fin de Máster, se hace en este capítulo una conclusión del mismo, analizando si los objetivos establecidos en el Capítulo 1 se han cumplido satisfactoriamente. De forma adicional, se analizan las lecciones aprendidas y dificultades encontradas durante la elaboración del presente documento y durante de su desarrollo en la empresa Stadler Rail Valencia S.A.U.

Los objetivos que se han marcado al principio de este documento son la mejora de la trazabilidad de los conjuntos de taller y la captura de datos de la producción. Se ha analizado la situación y contexto actual del taller, analizando las particularidades de los proyectos y los productos que se fabrican y los procesos singulares que se llevan a cabo. A continuación, se ha definido un sistema de codificación, identificando cada uno de los conjuntos y piezas del taller, para así asegurar la trazabilidad de los mismos. Con todo ello, se ha podido digitalizar dicha información y registrar los datos para así controlar el avance de obra de cada uno de los proyectos. Finalmente, se ha materializado dicho sistema en la operativa diaria del taller, formando a los operarios para uso.

8.1 Conclusiones parciales

Recapitulando las conclusiones parciales de cada apartado de este TFM, se han llevado a cabo todos los objetivos y propósitos que, en cada una de las introducciones se han planteado. En primer lugar, se ha introducido el presente trabajo y se ha descrito el entorno en el que se enclava, para así acercar al lector las peculiaridades y problemáticas que hacen necesaria la elaboración del presente trabajo.

A continuación, se han introducido todos los conceptos teóricos necesarios para entender el posterior desarrollo del trabajo y se ha analizado la situación actual en el entorno empresarial en el que se localiza el presente estudio, todo ello relacionado con los conceptos estudiados en el Máster de Ingeniería Industrial y, más particularmente la Especialidad de Gestión y Organización Industrial de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universitat Politècnica de València.

Posteriormente, se han analizado las problemáticas existentes en la actualidad para así dar con una propuesta de mejora que sustenta la base de elaboración de este Trabajo de Fin de Máster. Con todo ello, se comienza la elaboración de un nuevo sistema de captura de datos de la producción, además de su implementación en la empresa en cuestión.

Por último, se proponen una serie de líneas futuras de trabajo que, tras la implementación del sistema propuesto, pueden servir a mejorar más aún la productividad del taller y pueden motivar la elaboración de nuevas líneas de estudio.

8.2 Dificultades encontradas

Las principales dificultades que se han encontrado en la elaboración de este documento han sido durante la implantación del sistema de captura de datos y en el desarrollo de una codificación adecuada que sirviera para todos los proyectos del taller. Era necesario desarrollar un sistema sencillo y de fácil uso para los operarios al mismo tiempo que se aseguraba la correcta captura de datos de producción, sin interferir en la operativa habitual del taller.

En un primer lugar, era decisivo hacer partícipes a los encargados y jefes de equipo, para integrarles en el desarrollo del sistema y aportaran su punto de vista y experiencia al diseño de la solución. Además, con su opinión se han podido anticipar posibles dificultades o incompatibilidades en el sistema y prevenir su aparición antes de la implantación final. Con su ayuda y participación se ha conseguido reducir el tiempo de implantación y desarrollo del sistema final en el taller.

8.3 Lecciones aprendidas

En relación con las dificultades encontradas, una de las mayores lecciones aprendidas es la necesidad de crear un equipo de desarrollo de la solución que integre a todas las partes involucradas. En este sentido, al igual que ha sido de vital importancia contar con la experiencia y punto de visión de los encargados del taller, también lo ha sido la colaboración del Departamento de IT de la empresa, ofreciendo los medios y las soluciones adecuadas para la correcta implantación del sistema.

Otra lección aprendida tiene que ver con la perspectiva desde la que se analizar un problema. Es necesario entender bien el contexto en el que se desarrolla la situación antes de comenzar el desarrollo de la solución. Para ello, es necesario conocer no sólo la principal área afectada sino también las áreas que puedan verse colateralmente afectadas o que, sin su participación, sea imposible el desarrollo de la misma.

8.4 Futuras líneas de trabajo

Para promover la continuación del estudio realizado en este Trabajo de Fin de Máster, se proponen las siguientes líneas de trabajo:

- **Monitorización de los procesos de soldadura:**

Al tratarse del proceso más crítico y con mayores requerimientos de calidad de los que se encuentran en el Taller de Bogies, una futura línea de trabajo podría ir encaminada a monitorizar las soldaduras realizadas por los operarios.

Existe en la actualidad proveedores de máquinas de soldar (Fronius, Merkle, etc.) que han desarrollado su propio software que monitoriza los parámetros de soldadura cuando se efectúa una operación y exporta dicha información a una base de datos para su análisis. De esta manera, se pueden recoger datos sobre el voltaje, intensidad y tiempo de soldadura, que son útiles a la hora de detectar posibles imperfecciones o defectos en las uniones soldadas, antes incluso de que se efectúe la inspección rutinaria de Calidad.



Figura 77. Software Weldcube [Fuente: Fronius© 102[32]]

Además, permite personalizar y guardar diferentes ajustes de voltaje e intensidad para que, de manera rápida y sencilla, el soldador elija un trabajo o "Job" predeterminado desde la misma antorcha que se ajuste a la soldadura a realizar. Así, se aumenta drásticamente la productividad, al evitar que el soldador tenga que regular la máquina cada vez que realice una soldadura distinta.

- **Integración de la documentación de Calidad en la trazabilidad de la pieza**

En diversas reuniones y sesiones de trabajo con responsables del Departamento de Calidad de Stadler Rail Valencia, se ha planteado en numerosas ocasiones la necesidad y oportunidad de integrar la documentación de Calidad que acompaña a las piezas en el Taller de Bogies. Se trata principalmente de las Fichas de Autocontrol (véase Figura 55), que presentan una serie de problemáticas, tal y como se pudo ver en el Capítulo 5.3.5.

Se puede desarrollar una base de datos en el Software SAP (ya integrado en la empresa), para que se genere para código de barras, es decir, para cada una de las piezas del Taller, una especie de Hoja de Ruta o Historial Técnico de la pieza, que contenga todas las operaciones realizadas en la pieza, operarios que han trabajado en ella y, con ella, la documentación de Calidad asociada a cada una de ellas.

De esta manera, se solventan los problemas de pérdidas y roturas que se presentaron en el Capítulo 5.3.5 y se reduce el consumo de papel en el Taller.

9. REFERENCIAS

- [1] Rúa Costa, Carles; Companys Pascual, Ramón; Bautista Valhondo, Joaquín; (1999). *Herramientas para el análisis de problemas*. Universitat Politècnica de Catalunya. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial. Barcelona: CPDA-ETSEIB, 1999.
- [2] Castanyer Figueras, Francesc. (1987). *Cómo mejorar la productividad en el taller*. Barcelona: Marcombo.
- [3] Womack, James P.; Jones, Daniel T. (2004). *Lean thinking: cómo utilizar el pensamiento Lean para eliminar los despilfarros y crear valor en la empresa*. Madrid: Gestión 2000, D.L.
- [4] Ishikawa, Kaoru; traducción del japonés al inglés por David J. Lu; traducción Margarita Cárdenas (1997). *¿Qué es el control total de calidad?: la modalidad japonesa* (11 reimpr. edición). Bogotá: Editorial Norma. p. 78. ISBN 9580470405
- [5] Asociación Japonesa de Relaciones Humanas. (2000). *El libro de las ideas: para producir mejor: (ITP), buscando la excelencia mediante la integración*. Barcelona: Gestión 2000.
- [6] Bueno Campos, Eduardo. (2006). *Dirección estratégica: desarrollo de la estrategia y análisis de casos*. Madrid: Pirámide.
- [7] Imai, Masaaki. (2014). *Gemba Kaizen: un enfoque de sentido común para una estrategia de mejora continua*. Aravaca, Madrid: McGraw-Hill Education, D.L. 2ª ed.
- [8] Gamage, J.R.; Vilasini, P.P.G.N.; Perera, H.S.C.; Wijenatha, L. (2012). *Impact of Lean Manufacturing on Performance and Organisational Culture: A Case Study of an Apparel Manufacturer in Sri Lanka*. UK: The third international conference on Engineering, Project and Production Management (EPPM).
- [9] Barceló, Alfonso; Mir Artigues, Pere. (2003). *Producción, productividad y crecimiento*. Lleida: Universitat de Lleida, D.L.
- [10] Liker, Jeffrey K. [2006]. *Las claves del éxito de Toyota: 14 principios de gestión del fabricante más grande del mundo*. Barcelona: Gestión 2000.
- [11] Allen, David. (2002). *Organízate con eficacia: máxima productividad personal sin estrés*. Barcelona: Empresa Activa, D.L
- [12] Cursos gratis online y presenciales SANROMAN. (2019). LA IMPORTANCIA DE LA TRAZABILIDAD ALIMENTARIA. Disponible en: <https://cambiatucurso.es/blog/2018/10/02/la-importancia-de-la-trazabilidad-alimentaria/> [Consultado el 23 Feb. 2019]
- [13] Guía para la aplicación del sistema de trazabilidad en la empresa agroalimentaria. (2009). [ebook] Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición, pp.15-18. Disponible en: http://www.aecosan.msssi.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/publicaciones/seguridad_alimentaria/guia_trazabilidad.pdf [Consultado el 23 Feb. 2019]
- [14] Careaga, A. (2017). *Trazabilidad, «la persecución» del producto*. [online] Parque de Innovación Tecnológica, Universidad Autónoma de Sinaloa. Disponible en: <http://innovacion.uas.edu.mx/trazabilidad-la-persecucion-del-producto/> [Consultado el 23 Feb. 2019].

- [15] Partesde.info. (2019). *Partes de un código de barras - Qué son los números y las líneas*. [online] Disponible en: <https://partesde.info/codigo-de-barras/> [Consultado el 23 Feb. 2019].
- [16] Kalnoskas, A. (2017). *How do RFID tags and reader antennas work?* [online] Analog IC Tips. Disponible en: <https://www.analogictips.com/rfid-tag-and-reader-antennas/> [Consultado el 23 Feb. 2019].
- [17] Slack, N., Chambers, S. and Johnston, R. (2010). *Operations management*. 6th ed. Prentice Hall.
- [18] Fogarty, Blackstone and Hoffmann (1983). *Production & Inventory Management*.
- [19] Chapman, S., Arnold, J., Gatewood, A. and Clive, L. (n.d.). *Introduction to materials management*.
- [20] Economia-excel.com. (2019). *Estimación de la curva de aprendizaje*. [online] Disponible en: <http://www.economia-excel.com/2012/03/estimacion-curva-de-aprendizaje.html> [Consultado el 1 Jun. 2019].
- [21] de Solminihac, H. (2018). *Curva de aprendizaje: ¿Cómo varía la productividad cuando realizamos tareas repetitivas? - Clase Ejecutiva*. [online] Pontificia Universidad Católica de Chile. Disponible en: <https://claseejecutiva.emol.com/articulos/hernan-desolminihac/curva-aprendizaje-varia-la-productividad-cuando-realizamos-tareas-repetitivas/> [Consultado el 1 Jun. 2019].
- [22] Laurie Rambaud (2006), *8D Structured Problem Solving: A Guide to Creating High Quality 8D Reports*, PHRED Solutions, ISBN 097905530X
- [23] Chris S.P. Visser (2017), *8D Problem Solving Explained - Turning operational failures into knowledge to drive your strategic and competitive advantages*, ISBN 978-1543000931.
- [24] García Sabater, J. (2019). *Metodología para la Solución de Problemas. Un enfoque sistemático*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universitat Politècnica de València.
- [25] Heizer, Jay H. y Render, Barry. *Dirección de la producción: decisiones tácticas*, Prentice Hall, 2006.
- [26] López García, Juan J. *Planificación y control de la producción*, Universidad de Alicante, 2010.
- [27] Ambriz Avelar, R. (2008). *La gestión del valor ganado y su aplicación: Managing earned value and its application*. Newtown Square, PA: Project Management Institute.
- [28] Ambriz, R. (2008) *Dynamic Scheduling with Microsoft® Office Project 2007. The Book By and For Professionals*. USA: J. Ross Publishing. Njbiz 16 (25), 34
- [29] Project Management Institute (2000) *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK®)*. Newtown Square, PA: Project Management Institute.
- [30] Project Management Institute (2002) *Practice Standard for Earned Value Management*. Newtown Square, PA: Project Management Institute.
- [31] Escuelamapa.edu.uy. (2019). *Soldador Profesional – Escuela Ma-pa Uruguay*. [online] Disponible en: <https://www.escuelamapa.edu.uy/cursos/soldador-profesional/> [Consultado el 29 Jul. 2019].
- [32] Fronius.com. 2020. *Weldcube*. [online] Disponible en: <https://www.fronius.com/es-es/spain/tecnologia-de-soldadura/nuestra-experiencia/tecnologia/weldcube> [Consultado el 25 Jul. 2020].

-
- [33] *Toma de decisiones en Dirección de Proyectos. Método AHP*. Departamento de Proyectos de Ingeniería. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universitat Politècnica de València.
- [34] Saaty, Thomas (1997). *Toma de Decisiones para Líderes. El Proceso Analítico Jerárquico. La toma de decisiones en un mundo complejo*. RWS Publications.
- [35] Belton, V., Stewart, Th. (2002). *Multiple Criteria Decision Analysis. An Integrated Approach*. Alianza Editorial. Madrid.

PRESUPUESTO

Relacionado con la implantación del sistema de codificación presentado en el Capítulo 6.6, se desarrolla en este Anexo el presupuesto, en el cual se incluyen todos los costes derivados del estudio realizado, y un breve estudio de viabilidad económica.

Antes de comenzar a detallar el presupuesto, cabe destacar que, en la elaboración del estudio asociado al presente Trabajo de Fin de Máster, no se ha requerido de ningún tipo de material. Esto es así debido a que se trata principalmente de un proyecto de consultoría, el cual, a excepción de bolígrafos, papel y otros artículos de papelería que carecen de importancia, únicamente se basa en el sueldo de las personas que han participado en dicho estudio. Es en el desglose del presupuesto por Capítulo, en el que se detallará un breve presupuesto de implantación del sistema de trazabilidad desarrollado.

El presupuesto se ha realizado siguiendo las siguientes consideraciones:

- Los Gastos Generales representan un 13% del Presupuesto de Ejecución Material e incluye los siguientes conceptos:
 - Artículos de papelería
 - Tinta de impresora
 - Teléfono
 - Encuadernaciones
 - Electricidad
- Los Costes Indirectos se consideran del 1% y corresponden a aquellos que repercuten sobre varias partidas o sobre el proyecto en su totalidad.
- Se considera el concepto de Beneficio Industrial que representa el 6% del Presupuesto de Ejecución Material. Dicho concepto no se debería de tener en cuenta en el caso de que la empresa encargada de desarrollar el proyecto fuera una empresa consultora.
- Los salarios de las personas que intervienen en el desarrollo del proyecto son las siguientes:
 - Ingeniero Industrial: 25 €/hr
 - Jefe de Taller: 30 €/hr
 - Encargado de Taller: 10 €/hr
 - Operario de Taller: 10 €/hr

En las siguientes páginas se detalla la justificación de precios por capítulo.

Nº	Código	Ud	Descripción		Total
1 Análisis de la situación actual					
1.1	P01.01		Recogida de datos de los indicadores de productividad		
		82 hrs	Ingeniero Industrial	25 €/Hr	2.050,00 €
		8 hrs	Jefe de Taller	30 €/Hr	240,00 €
			1% Costes indirectos	2.290,00 €	22,90 €
			Costes Totales		2.312,90 €
1.2	P01.02		Recogida de datos de la producción		
		77 hrs	Ingeniero Industrial	25 €/Hr	1.925,00 €
		16 hrs	Encargado de Taller	10 €/Hr	160,00 €
			1% Costes indirectos	2.085,00 €	20,85 €
			Costes Totales		2.105,85 €
1.3	P01.03		Planificación de la producción		
		43 hrs	Ingeniero Industrial	25 €/Hr	1.075,00 €
		16 hrs	Encargado de Taller	10 €/Hr	160,00 €
			1% Costes indirectos	1.235,00 €	12,35 €
			Costes Totales		1.247,35 €

Nº	Código	Ud	Descripción		Total
2 Análisis de las causas raíz, valoración y priorización de planes de mejora					
2.1	P02.01		Análisis de las causas raíz		
		40 hrs	Ingeniero Industrial	25 €/Hr	1.000,00 €
			1% Costes indirectos	1.000,00 €	10,00 €
			Costes Totales		1.010,00 €
2.2	P02.02		Posibles planes de mejora		
		33 hrs	Ingeniero Industrial	25 €/Hr	825,00 €
		16 hrs	Jefe de Taller	30 €/Hr	480,00 €
			1% Costes indirectos	1.305,00 €	13,05 €
			Costes Totales		1.318,05 €
2.3	P02.03		Estudio de mercado		
		20 hrs	Ingeniero Industrial	25 €/Hr	500,00 €
			1% Costes indirectos	500,00 €	5,00 €
			Costes Totales		505,00 €
2.4	P02.04		Priorización de un plan de mejora		
		26 Hrs	Ingeniero Industrial	25 €/Hr	650,00 €
			1% Costes indirectos	650,00 €	6,50 €
			Costes Totales		656,50 €

Nº	Código	Ud	Descripción		Total
3 Definición de un nuevo sistema de recogida de datos de la producción					
3.1	P03.01	Sistema de codificación y trazabilidad			
	41	hrs	Ingeniero Industrial	25 €/Hr	1.025,00 €
	32	hrs	Jefe de Taller	30 €/Hr	960,00 €
			1% Costes indirectos	1.985,00 €	19,85 €
			Costes Totales		2.004,85 €
3.2	P03.02	Plan de implantación			
	46	hrs	Ingeniero Industrial	25 €/Hr	1.150,00 €
	16	hrs	Jefe de Taller	30 €/Hr	480,00 €
	8	Hrs	Encargado de Taller	10 €/Hr	80,00 €
	6	Hrs	Soldador	8 €/Hr	48,00 €
	300	Ud	Soporte para identificación de piezas	2,65 €/Ud	795,00 €
	300	Ud	Imán de neodimio	3,22 €/Ud	966,00 €
	6	Ud	Lector de código de barras	96,35 €/Ud	578,10 €
			1% Costes indirectos	4.097,10 €	40,97 €
			Costes Totales		4.138,07 €
3.3	P03.03	Implantación del sistema			
	46	hrs	Ingeniero Industrial	25 €/Hr	1.150,00 €
	16	hrs	Jefe de Taller	30 €/Hr	480,00 €
	8	Hrs	Encargado de Taller	10 €/Hr	80,00 €
			1% Costes indirectos	1.710,00 €	17,10 €
			Costes Totales		1.727,10 €

Capítulo 1: Análisis de la situación actual

<i>Nº</i>	<i>Ud</i>	<i>Descripción</i>	<i>Medición</i>	<i>Precio</i>	<i>Importe</i>
1.1		Recogida de datos de los indicadores de productividad			
		Total:	1,000	2.312,90 €	2.312,90 €
1.2		Recogida de datos de la producción			
		Total:	1,000	2.105,85 €	2.105,85 €
1.3		Planificación de la producción			
		Total:	1,000	1.247,35 €	1.247,35 €
Parcial Nº1: Análisis de la situación actual					5.666,10 €

Capítulo 2: Análisis de las causas raíz, valoración y priorización de planes de mejora

<i>Nº</i>	<i>Ud</i>	<i>Descripción</i>	<i>Medición</i>	<i>Precio</i>	<i>Importe</i>
2.1		Análisis de las causas raíz			
		Total:	1,000	1.010,00 €	1.010,00 €
2.2		Posibles planes de mejora			
		Total:	1,000	1.318,05 €	1.318,05 €
2.3		Estudio de mercado			
		Total:	1,000	505,00 €	505,00 €
2.4		Priorización de un plan de mejora			
		Total:	1,000	656,50 €	656,50 €
Parcial Nº2: Análisis de las causas raíz, valoración y priorización de planes de mejora					3.489,55 €

Capítulo 3: Definición de un nuevo sistema de recogida de datos de la producción

<i>Nº</i>	<i>Ud</i>	<i>Descripción</i>	<i>Medición</i>	<i>Precio</i>	<i>Importe</i>
3.1		Sistema de codificación y trazabilidad			
		Total:	1,000	2.312,90 €	2.004,85 €
3.2		Plan de implantación			
		Total:	1,000	4.138,07 €	4.138,07 €
3.3		Implantación del sistema			
		Total:	1,000	<u>1.247,35 €</u>	1.727,10 €
Parcial Nº3: Definición de un nuevo sistema de recogida de datos de la producción					7.870,02 €

Presupuesto de ejecución material

<i>Capítulo</i>	<i>Importe (€)</i>
1 Análisis de la situación actual	5.666,10 €
2 Análisis de las causas raíz, valoración y priorización de planes de mejora	3.489,55 €
3 Definición de un nuevo sistema de recogida de datos de la producción	7.870,02 €
Presupuesto de ejecución material (PEM)	17.025,67 €
13 % de gastos generales	2.213,34 €
6 % de beneficio industrial	1.021,54 €
Presupuesto de ejecución por contrata (PEC = PEM + GG + BI)	20.260,55 €
21 % IVA	4.254,72 €
Presupuesto de ejecución por contrata con IVA (PEC = PEM + GG + BI + IVA)	24.515,26 €

El presupuesto de ejecución por contrata con IVA asciende a la expresada cantidad de **VEINTE Y CUATRO MIL QUINIENTOS QUINCE EUROS CON VEINTE Y SEIS CENTIMOS**

A continuación, se detallan tanto el presupuesto como el estudio de viabilidad económica:

- **Presupuesto de implantación:**

	Descripción	Precio unitario	Uds.	Importe
1	Soporte para identificación de piezas. AISI 304 – 142,69 x 20 x 105 cm	2,65 €	300	795,00 €
2	Imán de neodimio CS-S-34-04-N Disco magnético 34 x 4 mm, con taladro avellanado, N35, niquelado, fuerza sujeción aprox. 10 kg	3,22 €	300	966,00 €
3	Lector de código de barras Honeywell Voyager 1200g, 1D, Multi-IF	96,35 €	6	578,10 €
4	Montar y Soldar chapa con imán. Operario 6 hrs x 40 €/hr	240,00 €	1	240,00 €
TOTAL				2.579,10 €

- **Estudio de viabilidad económica:**

Para realizar el estudio de viabilidad económica se calculan el Valor Actualizado Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Periodo de Retorno. Para ello, es necesario primero calcular los ahorros potenciales que el nuevo sistema de trazabilidad obtendría.

Como se explica en el Capítulo 4.4.2, actualmente el conteo y control de cada unidad de obra en cada uno de los procesos se lleva a cabo manualmente. Este proceso suele durar unas 8 horas cada semana aproximadamente, en el que un técnico de taller recorre todos los procesos del taller, de principio a final, anotando en una hoja como la del Anexo 1. Avance de obra en el taller de bogies, el número de pieza correlativa más avanzada de cada proyecto y consultando, en caso de duda, a cada uno de los encargados del taller.. Por lo tanto, el ahorro anual sería:

$$Ahorro = 8 \frac{hr}{sem} \times 25 \frac{€}{hr} \times 52 \frac{sem}{año} = 10.400 \frac{€}{año}$$

En el primer año y, teniendo en cuenta las etapas del plan de implantación presentado en el Capítulo 6.5, se estima un ahorro de sólo el 25% del anteriormente calculado. A continuación, se obtienen los indicadores económicos anteriormente mencionados, con una tasa de rentabilidad del 5%:

- Inversión: 24.515,26 €
- Ahorro anual: 10.400,00 €
- Tasa de rentabilidad: 5 %
- Periodo de cálculo: 10 años

<i>Año</i>	<i>Ingresos</i>	<i>Gastos</i>	<i>Flujos de caja</i>	<i>Valor actualizado neto</i>
0	0	0	0	0
1	2.600	24.515	-21.915	-20.872
2	10.400	0	10.400	9.433
3	10.400	0	10.400	8.984
4	10.400	0	10.400	8.556
5	10.400	0	10.400	8.149
6	10.400	0	10.400	7.761
7	10.400	0	10.400	7.391
8	10.400	0	10.400	7.039
9	10.400	0	10.400	6.704
10	10.400	0	10.400	6.385
Total	96.200	24.515	71.685	49.530

Del cálculo anterior se obtienen los siguientes indicadores económicos:

- VAN: 49.529,60 €
- TIR: 45,87 %
- Periodo de retorno: 3,2 años

ANEXOS

Anexo 1. Avance de obra en el taller de bogies.

PROYECTO	DESCRIPCIÓN	QTY TOTAL	LARGUEROS		TRAVIESA				BASTIDOR			HABECOCIA				RECTIFICADO		RECOCIDO		MECANIZACIÓN		PINTURA		EQUIPAMIENTO
			Largueros (soluciones bogies)	Largueros (soluciones bogies)	TRAVIESA MONTEADA	TRAVIESA SOLIDARIA	TRAVIESA BASTIDOR	TRAVIESA SOLIDARIA	BASTIDOR MONTEADO	BASTIDOR SOLIDARIO	SOPORTES BASTIDOR MONTEADOS	SOPORTES BASTIDOR SOLIDARIOS	SOPORTES TUBERIA MONTEADOS	SOPORTES TUBERIA SOLIDARIOS	BASTIDOR CLAVADO	BASTIDOR RECOCIDO	BASTIDOR MONTEADO	BASTIDOR MENDADO	BASTIDOR PINTADO	BASTIDOR EQUIPADO				
8225	FV BASTIDOR	176	40	40	37	40	40	32	32	32	32	35	35	35	35	32	32	20	20	20	20			
8225_TB1	FV TRAVIESA REMOLQUE	175				32	32	32	32	32	32	35	35	35	32	32	27	20	24	24	20			
8225_TB2	FV TRAVIESA MOTOR	103				18	18	18	18	18	18	32	28	28	28	22	17	12	12	12	12			
8226	EDIMBURGO BASTIDOR	108	36	36	32	36	36	36	36	36	36	32	29	28	28	22	22	19	19	18	18			
8226_TB	EDIMBURGO TRAVIESA	108				48	48	48	48	48	48	36	31	24	24	24	36	28	28	28	24			
8223	YORKSHIRE MOTOR	161	42	40		48	48	48	48	48	48	36	31	24	24	24	22	22	21	21	15			
8223_TB	YORKSHIRE REMOLQUE	107	28	28		32	32	32	32	32	32	24	21	18	18	18	15	15	14	14	10			
8227	SMOLENSK BASTIDOR	80	80	80		80	80	80	80	80	80	45	42	42	42	41	41	32	32	31	31			
8227_TB	SMOLENSK TRAVIESA	80				37	36	36	36	36	35	45	42	42	42	34	34	24	24	24	24			
8220	T-32	45	45	45		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3			
9805	EURO DUAL (RETROTT)	4	4	4		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
9731	EURO DUAL (MS (4+6))	10	9	9		9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9			
9735	EURO DUAL	24	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
9805	EURO DUAL (LOT 2)	14																						
9051	SOLINGEN BASTIDOR	137	137	137		132	132	132	132	132	132	132	132	132	132	132	132	127	127	127	127			
8131	AREQUIPA LARG REM	48																						
8131	AREQUIPA LARG MOT	48																						
8130	VALENCIA LARG REM	200																						
8130	VALENCIA LARG MOT	200																						
8128	Madrid	31	7	7		5	5	5	MEC->	3	3	3	1	1	1									

STATUS AVANCE DE OBRAS

Anexo 2. Codificación de los conjuntos y piezas del taller de bogies.

Abreviatura	Descripción	Código
	Largueros	01X
L	MONTAR Y SOLDAR LARGUERO	010
LR	MONTAR Y SOLDAR LARGUERO REMOLQUE	011
LM	MONTAR Y SOLDAR LARGUERO MOTOR	012
	Traviesas H	02X
TH	MONTAR Y SOLDAR TRAVIESA BASTIDOR	020
	Bastidores Remolques	03X
HR	BASTIDOR REMOLQUE	030
HRS	BASTIDOR REMOLQUE CON SOPORTES	031
HRC	BASTIDOR REMOLQUE CALIBRADO	032
HRM	BASTIDOR REMOLQUE MECANIZADO	033
HR3	BASTIDOR REMOLQUE MEDIDO	034
HRR	BASTIDOR REMOLQUE RECOCIDO	035
HRP	BASTIDOR REMOLQUE PINTADO	036

Abreviatura	Descripción	Código
	Bastidores Motores	04X
HM	BASTIDOR MOTOR	040
HMS	BASTIDOR MOTOR CON SOPORTES	041
HMC	BASTIDOR MOTOR CALIBRADO	042
HMM	BASTIDOR MOTOR MECANIZADO	043
HM3	BASTIDOR MOTOR MEDIDO	044
HMR	BASTIDOR MOTOR RECOCIDO	045
HMP	BASTIDOR MOTOR PINTADO	046
	Bogies Remolques	05X
HRJ	BASTIDOR REMOLQUE SOBRE EJES	050
HRE	BASTIDOR REMOLQUE EQUIPADO	051
	Bogies Motores	06X
HMJ	BASTIDOR MOTOR SOBRE EJES	060
HME	BASTIDOR MOTOR EQUIPADO	061

Abreviatura	Descripción	Código
	Traviesas Bailadoras	07X
TB	MONTAR Y SOLDAR TRAVIESA BAILADORA	070
TBM	TRAVIESA BAILADORA MECANIZADA	071
TB3	TRAVIESA BAILADORA MEDIDA	072
TBP	TRAVIESA BAILADORA PINTADA	073
TBE	TRAVIESA BAILADORA EQUIPADA	074

Anexo 3. Formato de identificación de piezas en calderería.

STADLER **Escritura Fixolid**

La identificación del Conjunto se hará en las zonas donde **siempre sea visible y en ambas caras** del mismo si tiene diferentes fases.

La escritura se hará con **letra grande y legible**.

En la escritura se identificará el Tipo de Conjunto, el Proyecto correspondiente y el número de elemento, separados por guiones.

La forma de escritura es el siguiente:

1.- Tipo de Conjunto

L	Largueros
H	Bastidor
HS	Bastidor con Soportes
HC	Bastidor Calibrado
TB	Traviesa Bailadora

L-8227-001

2.- Número de Proyecto

3.- Número de Elemento

Anexo 4. AMFE de Proceso.

Nº	Proceso/ Operación	Requerimiento	Modo potencial de fallo	Efecto potencial de fallo	Severidad	Clasificación	Causas potenciales de fallo	Controles de prevención	Probabilidad de ocurrencia	Controles de detección	Detección	RPN	Acciones recomendadas	Responsable y fecha	Resultado de las acciones
1	Etiquetado		Nº serie/proyecto equivocado	Nº serie/proyecto no corresponde con pieza	3		Pérdida trazabilidad	Nº serie etiqueta igual a nº serie pieza	7	Control visual en cada estación	3	63	Implementar códigos de colores para proyectos		
2			Pérdida etiqueta	Pérdida código barras	6		Pérdida/deterioro imán	Control visual al final de cada operación	7	Colocación del imán en el mismo lugar de la pieza	1	42			
3			Pieza sin nº serie	Pieza no identificada	6		Olvido identificación/borrado nº	Control visual al final de cada operación	4	Estándar zona escritura por proyecto	1	24			
4	Escaneado		Operación no escaneada	Operación no aparece como finalizada	4		Olvido escaneado	Control piezas correlativas en sistema	6	Control piezas correlativas en sistema	1	24	Implementar TVs /PDAs en estaciones		
5			Operación errónea escaneada	Operación escaneada incorrecta	8		Etiqueta equivocada/pieza equivocada	Verificación pieza/operación en cada estación	6	Aviso escaneado duplicado o no correspondiente con PDP	7	336	Implementar TVs /PDAs en estaciones		
6			Lector no funcional/error escaneado	Deterioro etiqueta/lector	7		Colocación errónea lector	Estándar colocación imán	3	Escaneado pieza al finalizar operación	1	21	Implementar TVs /PDAs en estaciones		
7	Secuenciación		Operación efectuada equivocada	Retraso en la secuenciación PDP	10		Pieza equivocada/etiqueta equivocada	Colas de trabajo visibles en puestos de trabajo	4	Control automático de escaneado en sistema PDP	3	120	Colas de trabajo en TVs/PDAs		

Anexo 5. Cálculo del vector propio de los criterios del Método AHP.

Para el cálculo del vector propio se va a utilizar el método aproximado de la media geométrica. El punto de partida es la matriz de comparaciones pareadas, tal y como aparece en la Tabla 9:

	Información almacenada	Implementación	Robustez e integridad	Coste
Información almacenada	1	3	0,3	2
Implementación	0,3	1	0,2	0,5
Robustez e integridad	4	5	1	2
Coste	0,5	2	0,5	1

De la misma tabla se realiza la suma de las columnas:

	Información almacenada	Implementación	Robustez e integridad	Coste
Información almacenada	1	3	0,3	2
Implementación	0,3	1	0,2	0,5
Robustez e integridad	4	5	1	2
Coste	0,5	2	0,5	1
Suma	6	11	2	6

Pasamos la matriz anterior a formato matricial, que llamaremos A:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 0,3 & 2 \\ 0,3 & 1 & 0,2 & 0,5 \\ 4 & 5 & 1 & 2 \\ 0,5 & 2 & 0,5 & 1 \end{pmatrix}$$

Y sacamos el vector de suma de filas:

$$(6 \quad 11 \quad 2 \quad 6)$$

Obtenemos la matriz normalizada, dividiendo cada elemento de la matriz anterior entre el valor de la columna correspondiente del vector de suma de filas. Esto se lleva a cabo así:

$$1/6 = 0,171 ; 3/11 = 0,273 ; 0,3/2 = 0,128 ; 2/6 = 0,364 ; 0,3/6 = 0,057 ; \text{etc.}$$

Dando como lugar a la matriz normalizada, que llamaremos B:

$$B = \begin{pmatrix} 0,171 & 0,273 & 0,128 & 0,364 \\ 0,057 & 0,091 & 0,103 & 0,091 \\ 0,686 & 0,455 & 0,513 & 0,364 \\ 0,086 & 0,182 & 0,256 & 0,182 \end{pmatrix}$$

A continuación, se suman las filas:

$$C = \begin{pmatrix} 0,936 \\ 0,342 \\ 2,017 \\ 0,706 \end{pmatrix}$$

Y se obtiene el promedio de las filas, llamado vector P:

$$P = \begin{pmatrix} 0,234 \\ 0,085 \\ 0,504 \\ 0,176 \end{pmatrix}$$

El siguiente paso es multiplicar A x P, dando como resultado el vector fila total, V:

$$V = A \times P = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 0,3 & 2 \\ 0,3 & 1 & 0,2 & 0,5 \\ 4 & 5 & 1 & 2 \\ 0,5 & 2 & 0,5 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,234 \\ 0,085 \\ 0,504 \\ 0,176 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,969 \\ 0,352 \\ 2,220 \\ 0,716 \end{pmatrix}$$

Se realiza el cociente entre V y P, y se calcula el promedio del resultado para hallar λ_{max} :

$$V \div P = \begin{pmatrix} 0,969 \\ 0,352 \\ 2,220 \\ 0,716 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,234 \\ 0,085 \\ 0,504 \\ 0,176 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4,141 \\ 4,128 \\ 4,403 \\ 4,060 \end{pmatrix}$$

$$\lambda_{max} = 4,183$$

El índice de consistencia se calcula con la siguiente expresión, siendo n la dimensión de la matriz A:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{4,183 - 4}{4 - 1} = 0,061$$

El ratio de consistencia se calcula gracias al índice aleatorio de consistencia, el cual está tabulado según la dimensión de la matriz A:

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,525	0,882	1,115	1,252	1,341	1,404	1,452	1,484

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,061}{0,882} = 0,069 \leq 0,08$$

El cual se acepta, ya que es menor al 8%, que para las matrices de dimensión 4 sirve como referencia. Por lo tanto, la matriz A y los juicios realizados son consistentes y el método AHP puede continuar.

El siguiente paso es multiplicar la matriz A por sí misma, sumar las filas y normalizar ese vector. Este procedimiento se repite hasta que el vector normalizado coincide con el del producto anterior, resultando así el vector propio buscado.

- Primer producto:

$$A' = A \times A = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 0,3 & 2 \\ 0,3 & 1 & 0,2 & 0,5 \\ 4 & 5 & 1 & 2 \\ 0,5 & 2 & 0,5 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 3 & 0,3 & 2 \\ 0,3 & 1 & 0,2 & 0,5 \\ 4 & 5 & 1 & 2 \\ 0,5 & 2 & 0,5 & 1 \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} 4 & 11,25 & 2,1 & 6 \\ 1,717 & 4 & 0,733 & 2,067 \\ 10,667 & 26 & 4 & 14,5 \\ 3,667 & 8 & 6,042 & 4 \end{pmatrix}$$

$$Suma = \begin{pmatrix} 23,35 \\ 8,517 \\ 55,167 \\ 17,192 \end{pmatrix}$$

$$Normalizado = \begin{pmatrix} 0,224 \\ 0,082 \\ 0,529 \\ 0,165 \end{pmatrix}$$

- Segundo producto:

$$A'' = A' \times A = \begin{pmatrix} 4 & 11,25 & 2,1 & 6 \\ 1,717 & 4 & 0,733 & 2,067 \\ 10,667 & 26 & 4 & 14,5 \\ 3,667 & 8 & 6,042 & 4 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 3 & 0,3 & 2 \\ 0,3 & 1 & 0,2 & 0,5 \\ 4 & 5 & 1 & 2 \\ 0,5 & 2 & 0,5 & 1 \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} 19,15 & 45,75 & 8,35 & 23,825 \\ 7,017 & 16,95 & 2,966 & 8,967 \\ 42,583 & 107 & 19,117 & 56,833 \\ 14,433 & 34,625 & 6,042 & 18,383 \end{pmatrix}$$

$$Suma = \begin{pmatrix} 97,075 \\ 35,929 \\ 225,533 \\ 73,483 \end{pmatrix}$$

$$Normalizado = \begin{pmatrix} 0,225 \\ 0,083 \\ 0,522 \\ 0,170 \end{pmatrix}$$

- Tercer producto:

$$A''' = A'' \times A = \begin{pmatrix} 19,15 & 45,75 & 8,35 & 23,825 \\ 7,017 & 16,95 & 2,966 & 8,967 \\ 42,583 & 107 & 19,117 & 56,833 \\ 14,433 & 34,625 & 6,042 & 18,383 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 3 & 0,3 & 2 \\ 0,3 & 1 & 0,2 & 0,5 \\ 4 & 5 & 1 & 2 \\ 0,5 & 2 & 0,5 & 1 \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} 79,713 & 192,6 & 34,2 & 101,7 \\ 29,133 & 70,913 & 12,623 & 37,467 \\ 183,133 & 444 & 79,579 & 233,733 \\ 59,333 & 144,9 & 25,767 & 76,646 \end{pmatrix}$$

$$Suma = \begin{pmatrix} 408,213 \\ 150,136 \\ 940,446 \\ 306,646 \end{pmatrix}$$

$$Normalizado = \begin{pmatrix} 0,226 \\ 0,083 \\ 0,521 \\ 0,170 \end{pmatrix}$$

- Cuarto producto:

$$A^{IV} = A''' \times A = \begin{pmatrix} 79,713 & 192,6 & 34,2 & 101,7 \\ 29,133 & 70,913 & 12,623 & 37,467 \\ 183,133 & 444 & 79,579 & 233,733 \\ 59,333 & 144,9 & 25,767 & 76,646 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 3 & 0,3 & 2 \\ 0,3 & 1 & 0,2 & 0,5 \\ 4 & 5 & 1 & 2 \\ 0,5 & 2 & 0,5 & 1 \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} 331,563 & 806,138 & 143,498 & 425,825 \\ 121,998 & 296,363 & 52,823 & 156,436 \\ 766,317 & 1858,763 & 331,029 & 981,158 \\ 249,023 & 605,025 & 107,903 & 319,296 \end{pmatrix}$$

$$Suma = \begin{pmatrix} 1707,023 \\ 627,619 \\ 3937,267 \\ 1281,247 \end{pmatrix}$$

$$Normalizado = \begin{pmatrix} 0,226 \\ 0,083 \\ 0,521 \\ 0,170 \end{pmatrix}$$

Como se puede observar, el último vector normalizado coincide con el del anterior producto, por lo que dicho vector es el vector propio buscado.

$$Vector\ propio = \begin{pmatrix} 0,226 \\ 0,083 \\ 0,521 \\ 0,170 \end{pmatrix}$$

Anexo 6. Cálculo de los vectores propios de las alternativas del método AHP.

El cálculo de los vectores propios sigue la misma metodología que en el Anexo 5. Cálculo del vector propio de los criterios del Método AHP. A continuación, se detalle el cálculo de los vectores propios de las alternativas para cada criterio.

- Criterio 1: Información almacenada

Se parte de la matriz ponderada de la Tabla 10:

Información almacenada	Código de Barras	Código QR	RFID
Código de Barras	1	0,3	0,1
Código QR	3	1	0,2
RFID	8	5	1
Suma	12	6	1

Se obtiene la matriz normalizada:

$$B = \begin{pmatrix} 0,083 & 0,053 & 0,094 \\ 0,250 & 0,158 & 0,151 \\ 0,667 & 0,789 & 0,755 \end{pmatrix}$$

A continuación, se suman las filas:

$$C = \begin{pmatrix} 0,230 \\ 0,559 \\ 2,211 \end{pmatrix}$$

Y se obtiene el promedio de las filas, llamado vector P:

$$P = \begin{pmatrix} 0,077 \\ 0,186 \\ 0,737 \end{pmatrix}$$

El siguiente paso es multiplicar A x P, dando como resultado el vector fila total, V:

$$V = A \times P = \begin{pmatrix} 1 & 0,3 & 0,1 \\ 3 & 1 & 0,2 \\ 8 & 5 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,077 \\ 0,186 \\ 0,737 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,231 \\ 0,564 \\ 2,282 \end{pmatrix}$$

Se realiza el cociente entre V y P, y se calcula el promedio del resultado para hallar λ_{max} :

$$V \div P = \begin{pmatrix} 0,231 \\ 0,564 \\ 2,282 \end{pmatrix} \div \begin{pmatrix} 0,077 \\ 0,186 \\ 0,737 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3,009 \\ 3,028 \\ 3,097 \end{pmatrix}$$

$$\lambda_{max} = 3,045$$

El índice de consistencia se calcula con la siguiente expresión, siendo n la dimensión de la matriz A:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{3,045 - 3}{3 - 1} = 0,022$$

El ratio de consistencia se calcula gracias al índice aleatorio de consistencia, el cual está tabulado según la dimensión de la matriz A:

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,525	0,882	1,115	1,252	1,341	1,404	1,452	1,484

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,022}{0,525} = 0,042 \leq 0,05$$

El cual se acepta, ya que es menor al 5%, que para las matrices de dimensión 3 sirve como referencia. Por lo tanto, la matriz A y los juicios realizados son consistentes y el método AHP puede continuar.

El siguiente paso es multiplicar la matriz A por sí misma, sumar las filas y normalizar ese vector. Este procedimiento se repite hasta que el vector normalizado coincide con el del producto anterior, resultando así el vector propio buscado.

- Primer producto:

$$A' = A \times A = \begin{pmatrix} 1 & 0,3 & 0,1 \\ 3 & 1 & 0,2 \\ 8 & 5 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 0,3 & 0,1 \\ 3 & 1 & 0,2 \\ 8 & 5 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 & 1,292 & 0,317 \\ 7,6 & 3 & 0,775 \\ 31 & 12,667 & 3 \end{pmatrix}$$

$$Suma = \begin{pmatrix} 4,608 \\ 11,375 \\ 46,667 \end{pmatrix}$$

$$Normalizado = \begin{pmatrix} 0,074 \\ 0,182 \\ 0,745 \end{pmatrix}$$

- Segundo producto:

$$A'' = A' \times A = \begin{pmatrix} 3 & 1,292 & 0,317 \\ 7,6 & 3 & 0,775 \\ 31 & 12,667 & 3 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 3 & 0,1 \\ 3 & 1 & 0,2 \\ 8 & 5 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 9,408 & 3,875 & 0,95 \\ 22,8 & 9,408 & 2,325 \\ 93 & 38 & 9,408 \end{pmatrix}$$

$$Suma = \begin{pmatrix} 14,233 \\ 34,533 \\ 140,408 \end{pmatrix}$$

$$Normalizado = \begin{pmatrix} 0,075 \\ 0,183 \\ 0,742 \end{pmatrix}$$

- Tercer producto:

$$A''' = A'' \times A = \begin{pmatrix} 9,408 & 3,875 & 0,95 \\ 22,8 & 9,408 & 2,325 \\ 93 & 38 & 9,408 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 3 & 0,1 \\ 3 & 1 & 0,2 \\ 8 & 5 & 1 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 28,633 & 11,761 & 2,901 \\ 69,625 & 28,633 & 7,057 \\ 282,267 & 116,042 & 28,633 \end{pmatrix}$$

$$Suma = \begin{pmatrix} 43,295 \\ 105,315 \\ 426,942 \end{pmatrix}$$

$$Normalizado = \begin{pmatrix} 0,075 \\ 0,183 \\ 0,742 \end{pmatrix}$$

Como se puede observar, el último vector normalizado coincide con el del anterior producto, por lo que dicho vector es el vector propio buscado.

$$Vector\ propio = \begin{pmatrix} 0,075 \\ 0,183 \\ 0,742 \end{pmatrix}$$

- Criterio 2: Robustez

Se parte de la matriz ponderada de la Tabla 11:

Robustez	Código de Barras	Código QR	RFID
Código de Barras	1	3	9
Código QR	0,3	1	5
RFID	0,1	0,2	1
Suma	1	4	15

Se obtiene la matriz normalizada:

$$B = \begin{pmatrix} 0,692 & 0,714 & 0,6 \\ 0,231 & 0,238 & 0,333 \\ 0,077 & 0,048 & 0,067 \end{pmatrix}$$

A continuación, se suman las filas:

$$C = \begin{pmatrix} 2,007 \\ 0,802 \\ 0,191 \end{pmatrix}$$

Y se obtiene el promedio de las filas, llamado vector P:

$$P = \begin{pmatrix} 0,669 \\ 0,267 \\ 0,064 \end{pmatrix}$$

El siguiente paso es multiplicar $A \times P$, dando como resultado el vector fila total, V :

$$V = A \times P = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 9 \\ 0,3 & 1 & 5 \\ 0,1 & 0,2 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,669 \\ 0,267 \\ 0,064 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2,045 \\ 0,809 \\ 0,192 \end{pmatrix}$$

Se realiza el cociente entre V y P , y se calcula el promedio del resultado para hallar λ_{max} :

$$V \div P = \begin{pmatrix} 2,045 \\ 0,809 \\ 0,192 \end{pmatrix} \div \begin{pmatrix} 0,669 \\ 0,267 \\ 0,064 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3,057 \\ 3,026 \\ 3,005 \end{pmatrix}$$

$$\lambda_{max} = 3,029$$

El índice de consistencia se calcula con la siguiente expresión, siendo n la dimensión de la matriz A :

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{3,029 - 3}{3 - 1} = 0,015$$

El ratio de consistencia se calcula gracias al índice aleatorio de consistencia, el cual está tabulado según la dimensión de la matriz A :

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,525	0,882	1,115	1,252	1,341	1,404	1,452	1,484

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,015}{0,525} = 0,028 \leq 0,05$$

El cual se acepta, ya que es menor al 5%, que para las matrices de dimensión 3 sirve como referencia. Por lo tanto, la matriz A y los juicios realizados son consistentes y el método AHP puede continuar.

El siguiente paso es multiplicar la matriz A por sí misma, sumar las filas y normalizar ese vector. Este procedimiento se repite hasta que el vector normalizado coincide con el del producto anterior, resultando así el vector propio buscado.

- o Primer producto:

$$A' = A \times A = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 9 \\ 0,3 & 1 & 5 \\ 0,1 & 0,2 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 3 & 9 \\ 0,3 & 1 & 5 \\ 0,1 & 0,2 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 & 7,8 & 33 \\ 1,222 & 3 & 13 \\ 0,289 & 0,733 & 3 \end{pmatrix}$$

$$Suma = \begin{pmatrix} 43,8 \\ 17,222 \\ 4,022 \end{pmatrix}$$

$$\text{Normalizado} = \begin{pmatrix} 0,673 \\ 0,265 \\ 0,062 \end{pmatrix}$$

- Segundo producto:

$$A'' = A' \times A = \begin{pmatrix} 3 & 7,8 & 33 \\ 1,222 & 3 & 13 \\ 0,289 & 0,733 & 3 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 3 & 9 \\ 0,3 & 1 & 5 \\ 0,1 & 0,2 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 9,267 & 23,4 & 99 \\ 3,667 & 9,267 & 39 \\ 0,867 & 2,2 & 9,267 \end{pmatrix}$$

$$\text{Suma} = \begin{pmatrix} 131,667 \\ 51,933 \\ 12,333 \end{pmatrix}$$

$$\text{Normalizado} = \begin{pmatrix} 0,672 \\ 0,265 \\ 0,063 \end{pmatrix}$$

- Tercer producto:

$$A''' = A'' \times A = \begin{pmatrix} 9,267 & 23,4 & 99 \\ 3,667 & 9,267 & 39 \\ 0,867 & 2,2 & 9,267 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 3 & 9 \\ 0,3 & 1 & 5 \\ 0,1 & 0,2 & 1 \end{pmatrix} \\ = \begin{pmatrix} 28,067 & 71 & 299,4 \\ 11,089 & 28,067 & 118,333 \\ 2,63 & 6,653 & 28,067 \end{pmatrix}$$

$$\text{Suma} = \begin{pmatrix} 398,467 \\ 157,489 \\ 37,35 \end{pmatrix}$$

$$\text{Normalizado} = \begin{pmatrix} 0,672 \\ 0,265 \\ 0,063 \end{pmatrix}$$

Como se puede observar, el último vector normalizado coincide con el del anterior producto, por lo que dicho vector es el vector propio buscado.

$$\text{Vector propio} = \begin{pmatrix} 0,672 \\ 0,265 \\ 0,063 \end{pmatrix}$$

- Criterio 3: Implementación

Se parte de la matriz ponderada de la Tabla 12:

Implementación	Código de Barras	Código QR	RFID
Código de Barras	1	4	9
Código QR	0,3	1	3
RFID	0,1	0,3	1
Suma	1	5	13

Se obtiene la matriz normalizada:

$$B = \begin{pmatrix} 0,735 & 0,750 & 0,692 \\ 0,184 & 0,188 & 0,231 \\ 0,082 & 0,063 & 0,077 \end{pmatrix}$$

A continuación, se suman las filas:

$$C = \begin{pmatrix} 2,177 \\ 0,602 \\ 0,221 \end{pmatrix}$$

Y se obtiene el promedio de las filas, llamado vector P:

$$P = \begin{pmatrix} 0,726 \\ 0,201 \\ 0,074 \end{pmatrix}$$

El siguiente paso es multiplicar A x P, dando como resultado el vector fila total, V:

$$V = A \times P = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 9 \\ 0,3 & 1 & 3 \\ 0,1 & 0,3 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,726 \\ 0,201 \\ 0,074 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2,192 \\ 0,603 \\ 0,221 \end{pmatrix}$$

Se realiza el cociente entre V y P, y se calcula el promedio del resultado para hallar λ_{max} :

$$V \div P = \begin{pmatrix} 2,192 \\ 0,603 \\ 0,221 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,726 \\ 0,201 \\ 0,074 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3,020 \\ 3,006 \\ 3,002 \end{pmatrix}$$

$$\lambda_{max} = 3,009$$

El índice de consistencia se calcula con la siguiente expresión, siendo n la dimensión de la matriz A:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{3,009 - 3}{3 - 1} = 0,005$$

El ratio de consistencia se calcula gracias al índice aleatorio de consistencia, el cual está tabulado según la dimensión de la matriz A:

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,525	0,882	1,115	1,252	1,341	1,404	1,452	1,484

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,005}{0,525} = 0,009 \leq 0,05$$

El cual se acepta, ya que es menor al 5%, que para las matrices de dimensión 3 sirve como referencia. Por lo tanto, la matriz A y los juicios realizados son consistentes y el método AHP puede continuar.

El siguiente paso es multiplicar la matriz A por sí misma, sumar las filas y normalizar ese vector. Este procedimiento se repite hasta que el vector normalizado coincide con el del producto anterior, resultando así el vector propio buscado.

- Primer producto:

$$A' = A \times A = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 9 \\ 0,3 & 1 & 3 \\ 0,1 & 0,3 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 4 & 9 \\ 0,3 & 1 & 3 \\ 0,1 & 0,3 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 & 11 & 30 \\ 0,833 & 3 & 8,25 \\ 0,306 & 1,111 & 3 \end{pmatrix}$$

$$Suma = \begin{pmatrix} 44 \\ 12,083 \\ 4,417 \end{pmatrix}$$

$$Normalizado = \begin{pmatrix} 0,727 \\ 0,2 \\ 0,073 \end{pmatrix}$$

- Segundo producto:

$$A'' = A' \times A = \begin{pmatrix} 3 & 11 & 30 \\ 0,833 & 3 & 8,25 \\ 0,306 & 1,111 & 3 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 4 & 9 \\ 0,3 & 1 & 3 \\ 0,1 & 0,3 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 9,083 & 33 & 90 \\ 2,5 & 9,083 & 24,75 \\ 0,917 & 3,333 & 9,083 \end{pmatrix}$$

$$Suma = \begin{pmatrix} 132,083 \\ 36,333 \\ 13,333 \end{pmatrix}$$

$$Normalizado = \begin{pmatrix} 0,727 \\ 0,2 \\ 0,073 \end{pmatrix}$$

Como se puede observar, el último vector normalizado coincide con el del anterior producto, por lo que dicho vector es el vector propio buscado.

$$\text{Vector propio} = \begin{pmatrix} 0,727 \\ 0,2 \\ 0,073 \end{pmatrix}$$

- Criterio 4: Coste

Se parte de la matriz ponderada de la Tabla 13:

Coste	Código de Barras	Código QR	RFID
Código de Barras	1	2	9
Código QR	0,5	1	5
RFID	0,1	0,2	1
Suma	2	3	15

Se obtiene la matriz normalizada:

$$B = \begin{pmatrix} 0,621 & 0,625 & 0,600 \\ 0,310 & 0,313 & 0,333 \\ 0,069 & 0,063 & 0,067 \end{pmatrix}$$

A continuación, se suman las filas:

$$C = \begin{pmatrix} 1,846 \\ 0,956 \\ 0,198 \end{pmatrix}$$

Y se obtiene el promedio de las filas, llamado vector P:

$$P = \begin{pmatrix} 0,615 \\ 0,319 \\ 0,066 \end{pmatrix}$$

El siguiente paso es multiplicar A x P, dando como resultado el vector fila total, V:

$$V = A \times P = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 9 \\ 0,5 & 1 & 5 \\ 0,1 & 0,2 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,615 \\ 0,319 \\ 0,066 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1,847 \\ 0,957 \\ 0,198 \end{pmatrix}$$

Se realiza el cociente entre V y P, y se calcula el promedio del resultado para hallar λ_{max} :

$$V \div P = \begin{pmatrix} 1,847 \\ 0,957 \\ 0,198 \end{pmatrix} \div \begin{pmatrix} 0,615 \\ 0,319 \\ 0,066 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3,002 \\ 3,001 \\ 3,000 \end{pmatrix}$$

$$\lambda_{max} = 3,001$$

El índice de consistencia se calcula con la siguiente expresión, siendo n la dimensión de la matriz A:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{3,001 - 3}{3 - 1} = 0,001$$

El ratio de consistencia se calcula gracias al índice aleatorio de consistencia, el cual está tabulado según la dimensión de la matriz A:

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,525	0,882	1,115	1,252	1,341	1,404	1,452	1,484

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,001}{0,525} = 0,001 \leq 0,05$$

El cual se acepta, ya que es menor al 5%, que para las matrices de dimensión 3 sirve como referencia. Por lo tanto, la matriz A y los juicios realizados son consistentes y el método AHP puede continuar.

El siguiente paso es multiplicar la matriz A por sí misma, sumar las filas y normalizar ese vector. Este procedimiento se repite hasta que el vector normalizado coincide con el del producto anterior, resultando así el vector propio buscado.

- Primer producto:

$$A' = A \times A = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 9 \\ 0,5 & 1 & 5 \\ 0,1 & 0,2 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 2 & 9 \\ 0,5 & 1 & 5 \\ 0,1 & 0,2 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 & 5,8 & 28 \\ 1,556 & 3 & 14,5 \\ 0,322 & 0,622 & 3 \end{pmatrix}$$

$$Suma = \begin{pmatrix} 36,8 \\ 19,056 \\ 3,944 \end{pmatrix}$$

$$Normalizado = \begin{pmatrix} 0,615 \\ 0,319 \\ 0,066 \end{pmatrix}$$

- Segundo producto:

$$A'' = A' \times A = \begin{pmatrix} 3 & 5,8 & 28 \\ 1,556 & 3 & 14,5 \\ 0,322 & 0,622 & 3 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 2 & 9 \\ 0,5 & 1 & 5 \\ 0,1 & 0,2 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 9,011 & 17,4 & 84 \\ 4,667 & 9,011 & 43,5 \\ 0,967 & 1,867 & 9,011 \end{pmatrix}$$

$$Suma = \begin{pmatrix} 110,411 \\ 57,178 \\ 11,844 \end{pmatrix}$$

$$Normalizado = \begin{pmatrix} 0,615 \\ 0,319 \\ 0,066 \end{pmatrix}$$

Como se puede observar, el último vector normalizado coincide con el del anterior producto, por lo que dicho vector es el vector propio buscado.

$$\text{Vector propio} = \begin{pmatrix} 0,615 \\ 0,319 \\ 0,066 \end{pmatrix}$$