

Trabajo Fin de Máster
Máster en Organización Industrial y
Gestión de Empresas

Diseño y Aplicación de la Herramienta VSM
en una Empresa del Sector Aeronáutico

Autor: Luis Alberto Sánchez Barros

Tutor: Antonio Plácido Moreno Beltrán

Dpto. Organización Industrial y Gestión de Empresas I
Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2023



Trabajo Fin de Máster
Máster en Organización Industrial y Gestión de Empresas

**Diseño y Aplicación de la Herramienta VSM en
una Empresa del Sector Aeronáutico**

Autor:

Luis Alberto Sánchez Barros

Tutor:

Antonio Plácido Moreno Beltrán

Dpto. de Organización Industrial y Gestión de Empresas I

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2023

Trabajo Fin de Máster: Diseño y aplicación de la herramienta VSM
en una empresa del sector aeronáutico

Autor: Luis Alberto Sánchez Barros

Tutor: Antonio Plácido Moreno Beltrán

El tribunal nombrado para juzgar el Trabajo arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2023

El Secretario del Tribunal

Agradecimientos

Agradecer en primer lugar a mi familia y amigos que han estado todo el tiempo a mi lado desde que comenzó este proceso de educación en la Universidad. Sin su apoyo y confianza ni hubiese sido posible.

Agradecer a mi tutor Antonio Plácido Moreno por darme la mano para sacar adelante este proyecto y confiar en mí. A la empresa GAZC por brindarme la oportunidad de trabajar con ellos. A mi novia Mercedes por ser una persona tan maravillosa y excepcional...

Gracias a todos.

Resumen

En este Trabajo de fin de Máster se muestra la aplicación de una de las herramientas de diagnóstico más importante dentro de la metodología Lean Manufacturing, estamos hablando del mapa de flujo del valor (VSM). Mediante el análisis del flujo productivo actual para la familia de Part Numbers (PN) más importante para la empresa objeto de estudio, se busca la optimización de los procesos de mecanizados en la planta de Sevilla, así como la automatización de las operaciones vinculadas a estos procesos. El objetivo principal sería el diseño del VSM actual para la familia de PN estudiado y proponer un VSM futuro con las alternativas de mejora de acuerdo con las deficiencias detectadas dentro del proceso de fabricación de las piezas.

A lo largo del proyecto se exponen las herramientas empleadas y los resultados obtenidos, se extraen además las principales conclusiones de su aplicación y se proponen líneas de mejoras de cara a futuras aplicaciones en las restantes áreas de la empresa.

Abstract

This document shows the application of one of the most important diagnostic tools within the Lean Manufacturing methodology, we are talking about the Value Stream Map (VSM). Through the analysis of the current productive flow for the most important family of Part Numbers (PN) for the company under study, the optimization of the machining processes in the Seville plant is sought, as well as the automation of the operations related to these processes. The main objective will be the design of the current VSM for the PN family studied and to propose a future VSM with improvement alternatives according to the deficiencies detected within the manufacturing process of the parts.

Throughout the project, different tools are used, and the results obtained are exposed; the main conclusions of their application are also drawn, and lines of improvement are proposed for future applications in the remaining areas of the company.

ÍNDICE

Agradecimientos	7
Resumen	8
Abstract.....	9
Índice de Figuras	12
Índice de Tablas	14
1. Introducción.....	15
1.1 Antecedentes.....	15
1.2 Lean Manufacturing en el sector aeronáutico.....	17
1.3 Objetivos.....	18
1.4 Estructura del proyecto	19
2. La metodología Lean Manufacturing	21
2.1 Antecedentes.....	21
2.2 Primeras técnicas	22
2.3 Toyota Production System.....	23
2.4 Lean Manufacturing: Un proceso de mejora continua	25
2.4.1 VSM	27
2.4.2 Las 5S	29
2.4.3 SMED	30
2.4.4 TPM.....	30
2.4.5 Kanban.....	31
2.4.6 Herramientas de seguimiento	32
3. Value Stream Mapping como herramienta de diagnóstico	35
3.1 Las claves del VSM a través del Lean Thinking	35
3.2 Generación de valor a través del Value Stream Mapping.....	36
3.3 Etapas de aplicación del VSM.....	38
3.3.1 Elección de una familia de productos	39
3.3.2 Mapeado de la situación actual o inicial	42
3.3.3 Mapeado de la situación futura	43
3.3.4 Definición e implantación de un plan de trabajo	44
3.4 Directrices del Lean Manufacturing para desarrollar el VSM	44
3.4.1 Producir respecto al Takt time	45
3.4.1 Implantar flujo continuo	45
3.4.2 Emplear supermercados para controlar la producción.....	47
3.4.3 Programar un único proceso de producción	48

3.4.4	Nivelar el mix de producción.....	49
3.4.5	Nivelar el volumen de producción.....	49
3.4.6	Mejorar las eficiencias de los medios productivos	52
3.5	Aportaciones del VSM	52
4.	Análisis del sistema de producción de la empresa	54
4.1	Breve descripción de la empresa	54
4.2	Los materiales compuestos en la aeronáutica actual	55
4.3	Descripción del proceso productivo actual.....	60
4.3.1	Creación del equipo	60
4.3.2	Elección de la familia de productos	61
4.3.3	Situación inicial de la familia de productos seleccionada	62
5.	Implementación de mejoras y análisis de resultados.....	71
5.1	Actuaciones de mejora y optimización del proceso	71
5.1.1	Control Visual, 5'S y Estandarización	72
5.1.2	Kaizen	73
5.1.3	SMED	76
5.1.4	VSM futuro	82
6.	Conclusiones y líneas futuras	84
6.1	Conclusiones.....	84
6.2	Líneas futuras	85
	Referencias	87
	ANEXOS.....	89

Índice de Figuras

Figura 1-1: Crecimiento y competitividad en el sector aeronáutico.....	15
Figura 1-2: Evolución del tráfico de pasajeros (Previsiones 1991-2041)	16
Figura 1-3: Previsiones de nuevas entregas de aviones 2022-2041	16
Figura 1-4: Demanda 2022-2041 según tipología "Fuselaje estrecho-Fuselaje ancho"......	17
Figura 2-1: Nueva distribución geopolítica después de la Segunda Guerra Mundial	22
Figura 2-2: Principales elementos que frenaban el desarrollo automovilístico en Japón.....	23
Figura 2-3: Despilfarros identificados en el flujo productivo.	24
Figura 2-4: Pilares de la Metodología Lean Manufacturing	25
Figura 2-5: Casa o Metodología Lean Manufacturing	27
Figura 2-6: Beneficios del VSM como herramienta Lean.....	28
Figura 2-7: Identificación de los flujos en VSM	29
Figura 2-8: Técnica de las 5'S.....	29
Figura 2-9: Etapas de la herramienta SMED.....	30
Figura 2-10: Reglas aplicadas al Kanban	31
Figura 2-11: Herramientas de visualización de proyectos	32
Figura 3-1: Principios del VSM.	35
Figura 3-2: Aumento de indicadores de productividad y rendimiento mediante Lean Thinking.	36
Figura 3-3: Etapas de implementación del VSM.	39
Figura 3-4: Matriz de familia de productos.....	40
Figura 3-5: Directrices para desarrollar el VSM.	45
Figura 3-6: Flujo discontinuo. (Rother & Shook, 1999)	46
Figura 3-7: Flujo continuo. (Rother & Shook, 1999).....	46
Figura: 3-8: Sistema Pull (Rother & Shook, 1999).....	48
Figura 3-9: Nivelación del mix de producción. (Lasa, 2007).....	49
Figura 3-10: Problemas de encargar grandes lotes de producción.	50
Figura 3-11: Panel Heijunka. (Lasa, 2007)	50
Figura 3-12: Pasos Pitch a seguir.	51
Figura 3-13: Ejemplo de funcionamiento del pitch mediante el panel Heijunka (Rother & Shook, 1999).....	52
Figura 4-1: Ventas de la empresa en los últimos años.	55

Figura 4-2: Evolución del porcentaje de material compuesto en la estructura de las aeronaves	57
Figura 4-3: Porcentaje en peso de material compuesto en Airbus A320 y A350 XWB	58
Figura 4-4: Combinación de materiales compuestos utilizados en la actualidad	59
Figura 4-5: Estructuras fabricadas con material compuesto en Airbus A320/A219.	59
Figura 4-6: Desarrollo visual del VSM global	60
Figura 5-1: Equipo temporal multifuncional. Elaboración propia.	71
Figura 5-2: Propuestas de desarrollo de mejoras.....	72
Figura 5-3: Puestos de trabajo después	73
Figura 5-4: Puestos de trabajo antes	73
Figura 5-6: Utillajes (planta superior)	74
Figura 5-5: Herramientas (planta baja).....	74
Figura 5-7: Almacenes verticales	75
Figura 5-8: Modelo de almacén que se va a emplear	76
Figura 5-9: Complementos del modelo ML25	76
Figura 5-10: Materiales almacenados en la planta con el “Modula vertical”	76
Figura 5-11: Flujograma básico del pedido de compra. Elaboración propia.....	77
Figura 5-12: Pareto de Defecto-órdenes de trabajo	78
Figura 5-13: Pareto Causas vs Piezas defectuosas	79

Índice de Tablas

Tabla 3-1: Criterios para seleccionar familia de productos.....	41
Tabla 4-1: Propiedades de los materiales metálicos y compuestos.....	56
Tabla 4-2: Equipo multifuncional por Dpto.	61
Tabla 4-3: Criterios para agrupar los PN por familia de productos.	62
Tabla 4-4: Hoja de datos del proceso. Fuente: Elaboración propia.....	69
Tabla 5-1: Tiempos de preparación Herramientas-Utillajes.....	74
Tabla 5-2: Bajas de los maquineros por accidente laboral. 2021-2022.....	75
Tabla 5-3: Estimaciones de los tiempos de preparación Herramientas-Utillajes.....	76
Tabla 5-4: Tiempos de operarios.....	77
Tabla 5-5: Análisis Defectos-Cantidad de órdenes para los PN estudiados.....	78
Tabla 5-6: Análisis Causas vs piezas defectuosas.....	79
Tabla 5-7: Nuevos tiempos de fabricación con Posturas unificadas.....	80
Tabla 5-8: Comparativa de procedimientos para el mecanizado.....	81
Tabla 5-9: Estimaciones de tiempo de fabricación utilizando brazos robots.....	81
Tabla 5-10: Comparativa procedimiento actual vs futura.....	81
Tabla 5-11: Incremento del valor añadido a raíz de las propuestas de soluciones dadas.	82
Tabla 5-12: Resumen de las alternativas de soluciones planteadas.....	83

1. Introducción

La industria aeronáutica en Europa es reconocida a nivel mundial por su excelencia en diseño, fabricación y desarrollo de aviones comerciales, militares y componentes aeroespaciales. Algunos de los principales actores en esta industria en Europa son Airbus, Airbus Defence and Space, Safran, Leonardo, Rolls-Royce y Thales, entre otros.

En términos de colaboración y cooperación, varios países europeos han establecido asociaciones y consorcios para fomentar la innovación y el desarrollo conjunto en la industria aeronáutica. Un ejemplo destacado es el programa Airbus, en el que participan varios países europeos para desarrollar aviones comerciales de última generación.

El sector aéreo en Europa también está enfocado en la sostenibilidad y la reducción de emisiones. Existen iniciativas para desarrollar aviones más eficientes en términos de consumo de combustible y tecnologías más respetuosas con el medio ambiente, como el uso de biocombustibles y la investigación en propulsión eléctrica y celdas de combustible.

1.1 Antecedentes

El sector aéreo es uno de los pioneros en cuanto a innovación y desarrollo tecnológico debido al gran volumen de proyectos que abarca y a la inversión realizada en la industria (ver Figura 1-1). Ha tenido un enfático crecimiento en los últimos 25 años hasta la llegada del Coronavirus, lo que repercutió en un drástico descenso en los viajes en aviones a nivel internacional y la disminución de la demanda de fabricación de aviones (ver Figura 1-2).

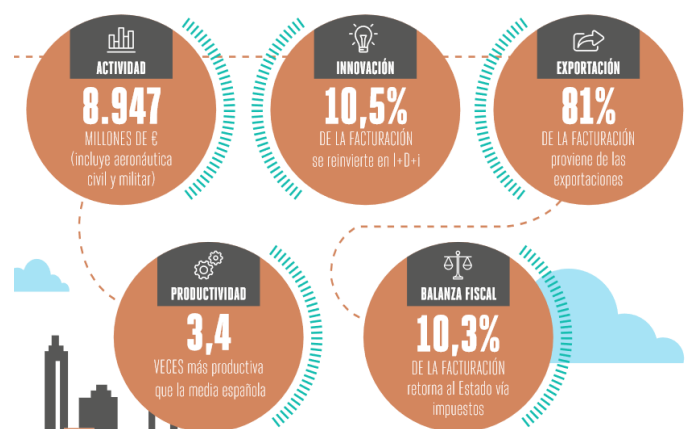


Figura 1-1: Crecimiento y competitividad en el sector aeronáutico.

Fuente: TEDAE 2022

A pesar de ello, a partir del año 2021 ha aumentado el volumen de pasajeros que sobrevuelan los cielos a nivel mundial, y como es evidente, a mayor número de vuelos y pasajeros, mayores son los pedidos que las aerolíneas solicitan a los fabricantes de aviones (ver Figura 1-2).

Passenger traffic expected to grow at 3.6% from 2019 to 2041

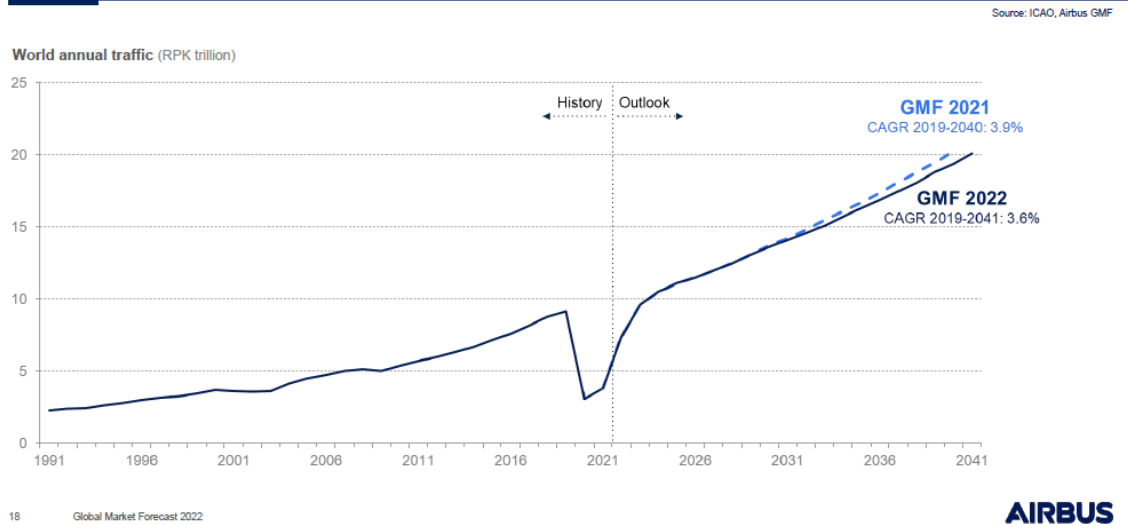


Figura 1-2: Evolución del tráfico de pasajeros (Previsiones 1991-2041)

Fuente: ICAO, Airbus GMF

Los gigantes aeronáuticos Airbus y Boeing protagonizan un escenario competitivo para conseguir el avión más eficiente, óptimo y rentable del mercado por lo que luchan constantemente para conseguir el mayor volumen de clientes y establecerse como marca líder indiscutible dentro del sector, satisfaciendo la creciente demanda de clientes a nivel mundial (ver Figura 1-3).

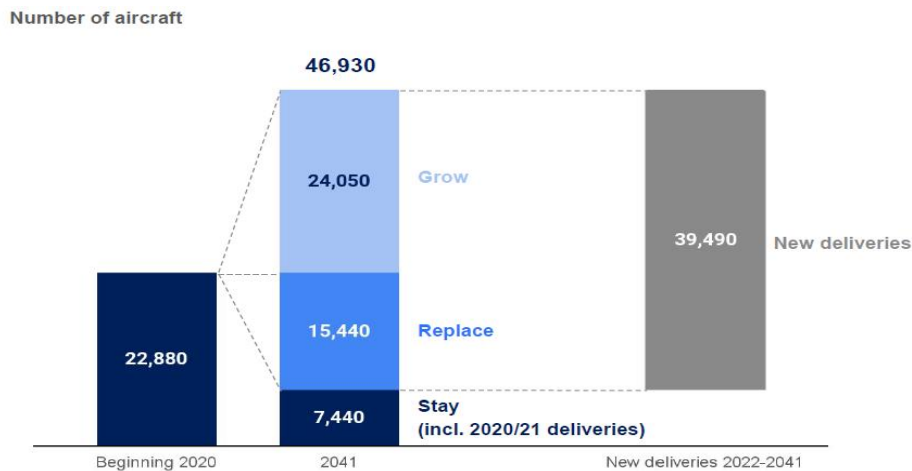


Figura 1-3: Previsiones de nuevas entregas de aviones 2022-2041

Fuente: Airbus GMF

La demanda en la fabricación de aviones en los últimos años ha sido impulsada por varios factores, incluyendo el crecimiento del tráfico aéreo global, la expansión de aerolíneas de bajo costo, la renovación de flotas y la demanda de aviones más eficientes y ecológicos. Aunque la pandemia de COVID-19 tuvo un impacto significativo en la industria aeronáutica en 2020 y parte de 2021, se espera que la demanda se recupere gradualmente a medida que se restablezca la confianza y se reanuden los viajes aéreos.

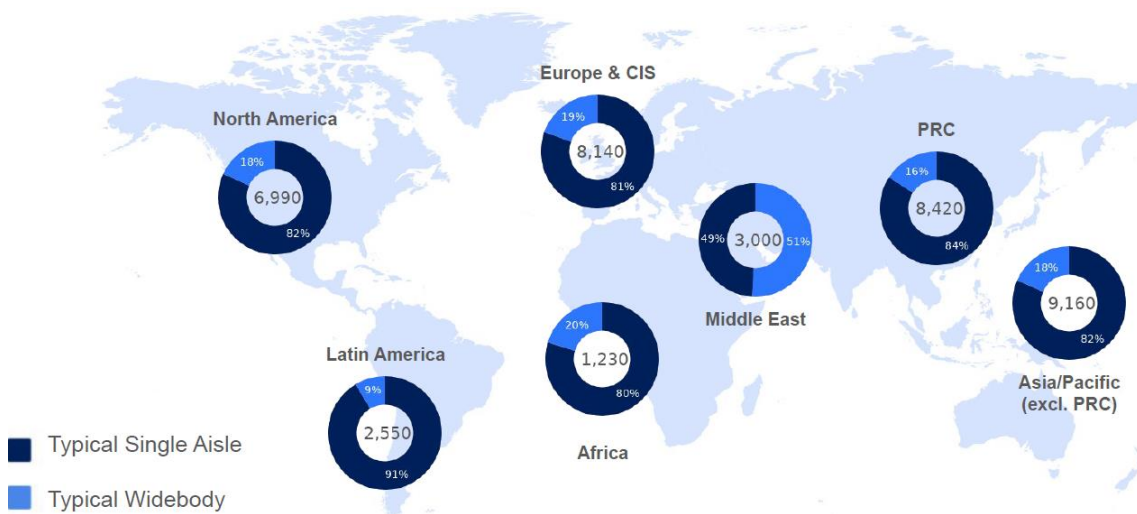


Figura 1-4: Demanda 2022-2041 según tipología "Fuselaje estrecho-Fuselaje ancho".

Fuente: Airbus GMF

Es por ello por lo que todo el proceso de fabricación se encuentra en un constante cambio para exprimir al máximo los recursos y obtener los mayores beneficios. Con dicho fin, no solo se requieren los materiales más innovadores del mercado, sino también una completa organización de toda la cadena de producción y ensamblado de las aeronaves.

1.2 Lean Manufacturing en el sector aeronáutico

Es en este entorno mostrado anteriormente cuando la metodología Lean Manufacturing juega un papel fundamental en la cadena productiva de las empresas, eliminando desperdicios, aumentando la calidad y fomentando la competitividad entre las mismas para obtener una mayor rentabilidad.

Gracias al buen resultado que las técnicas Lean han demostrado en las compañías líderes del sector, poco a poco las pequeñas y medianas empresas que sirven de proveedores han

ido incorporando esta metodología. De tal modo, sus procesos de fabricación se asimilan en el mayor grado posible al llevado a cabo por sus principales clientes (Airbus y Boeing).

Un aspecto clave en la optimización de procesos y la mejora de costes es el de conseguir el mayor número de tareas automatizadas y orientadas a la industria 4.0, de tal forma que un operario únicamente tenga la función de supervisar el trabajo realizado por una máquina y el técnico de Lean de la empresa, proponer mejoras de acuerdo con la estrategia de la organización.

Este objetivo también es impulsado por la filosofía Lean, ya que partiendo de la base de fomentar la realización del trabajo de forma autónoma, promueve también que los propios trabajadores sean los que detecten las incidencias que aparecen y trabajen de forma proactiva.

Es por ello por lo que todo el proceso de fabricación se encuentra en un constante cambio para exprimir al máximo los recursos y obtener los mayores beneficios. Con dicho fin, no solo se requieren los materiales más innovadores del mercado, sino también una completa organización de toda la cadena de producción y ensamblado de las aeronaves.

1.3 Objetivos

En un mercado tan competitivo y exigente como el actual, resulta esencial estar en continua búsqueda del factor diferencial. Con herramientas como Value Stream Mapping las empresas consiguen ese objetivo de competir en las condiciones más favorables a través de la comprensión del flujo de la cadena del valor de sus productos.

En el presente Trabajo de Fin de Máster se analiza y se aplica la herramienta Value Stream Mapping (VSM) al proceso productivo de una familia de Part Numbers en una empresa del sector aeronáutico. Los objetivos que se persiguen son:

- Detallar y comprender cómo fluye la cadena del valor de la familia de Part Numbers más demandados y que mayor facturación tienen para la empresa a lo largo de los diferentes procesos de producción, haciendo uso de la herramienta VSM.
- Mapear y analizar en detalle cómo fluye el valor en el proceso productivo; esto permitirá tener una visión clara y completa de todas las actividades y recursos involucrados en la cadena de valor.

- Optimizar el flujo productivo, identificando operaciones ineficientes, transportes prolongados, movimientos e inventarios excesivos, tiempos de espera innecesarios y disminución de las operaciones manuales que mejoren la eficiencia y la rentabilidad de la empresa.

1.4 Estructura del proyecto

Para la consecución de los objetivos planteados, el presente documento se estructura en seis capítulos divididos en varias secciones cada uno. Cada capítulo tiene un propósito específico de estudio y análisis de acuerdo con los objetivos planteados.

- **Capítulo 1: Introducción**

En el capítulo introductorio se analizan los antecedentes y la evolución que ha tenido el sector aeronáutico en los últimos años, así como la influencia de la metodología Lean Manufacturing en la actualidad. Se plantean los objetivos y la estructura del proyecto, facilitando al lector el seguimiento y la comprensión del proyecto.

- **Capítulo 2: La metodología Lean Manufacturing**

En el capítulo 2 se realiza una introducción al concepto Lean Manufacturing, sus antecedentes y los principios fundamentales que determina dicha metodología. Se repasan las diversas técnicas y herramientas Lean más usadas en la actualidad y los beneficios que conlleva su implantación en las empresas hoy en día.

- **Capítulo 3: Value Stream Mapping como herramienta de diagnóstico**

En el tercer capítulo se analiza en detalle la técnica Value Stream Mapping como herramienta de diagnóstico dentro de la metodología Lean Manufacturing. Se describen las diferentes etapas del VSM y las directrices a seguir para su implementación en la empresa.

- **Capítulo 4: Análisis del sistema de producción de la empresa**

En el capítulo cuatro se realiza una breve descripción de la empresa objeto de estudio y se representa el sistema de producción de la familia de Part Numbers con mayor demanda y facturación de la empresa GAZC mediante el empleo de la herramienta VSM; detallando el flujo de la cadena de valor para estos materiales y las operaciones que forman parte del proceso.

- **Capítulo 5: Implementación de mejoras**

En el capítulo 5 se analizan las diversas situaciones existentes en la planta de mecanizado de Sevilla para la familia de Part Numbers estudiados. Se proponen las alternativas de solución de acuerdo con el estudio previo realizado, con el objetivo de optimizar el flujo de la cadena del valor y automatizar el proceso del mecanizado y puestas a punto.

- **Capítulo 6: Conclusiones y líneas futuras**

En este capítulo se indican las conclusiones obtenidas de la realización del proyecto y las líneas futuras que puede experimentar la empresa para afianzar el sistema de mejora continua en la planta de mecanizados de Sevilla y expandirlo al resto de áreas de la empresa.

Existen dos capítulos adicionales, el primero relacionado con la Bibliografía, en el que se indican las referencias empleadas para la realización del trabajo y el último, denominado ANEXO, en el que se incluyen documentos y plantillas creados durante el proyecto.

2. La metodología Lean Manufacturing

En la actualidad, las empresas de todo el mundo se encuentran en una búsqueda constante por aumentar sus márgenes de beneficio sin incurrir en un aumento del precio de venta de sus productos y/o servicios, lo que solo puede lograrse minimizando el coste de fabricación, aumentando la productividad y reduciendo las pérdidas durante el proceso de producción.

Para lograr un desarrollo empresarial exitoso y competitivo se debe generar una cultura de mejora basada en la comunicación y el trabajo en equipo; capaz de aplicar mejoras en la planta de fabricación, desde los puestos de trabajo como nivel más bajo hasta la línea de fabricación en todo su conjunto. La clave es identificar los problemas y fallos existentes por parte de los operarios ya que son los que están en contacto directo con estos inconvenientes y llevar a cabo pequeñas mejoras (Monar, 2021). Para ello es fundamental que se fomente un ambiente de colaboración entre directivos y operarios.

Lean Manufacturing (LM) es una filosofía revolucionaria en comparación con la producción en masa tradicional utilizada durante gran parte del siglo XX, con la introducción del sistema de fabricación de Henry Ford. Las prácticas de LM permiten insertar una amplia variedad de productos a un menor coste y mayor calidad, utilizando menos recursos que las prácticas de producción tradicionales.

El objetivo principal de LM es transformar una empresa para que sea altamente competitiva y responda a la alta demanda y exigencia de los clientes, eliminando el desperdicio de los productos y procesos. Las empresas que implementan esta filosofía se vuelven más efectivas al aumentar la calidad y el valor de sus productos desde la perspectiva del cliente, logrando a su vez, minimizar la variabilidad interna y externa y reducir las formas de desperdicio en sus flujos de información y producción.

2.1 Antecedentes

Después de la Segunda Guerra Mundial, las principales industrias automovilísticas norteamericanas (Ford, General Motors y Chrysler) habían quedado muy bien posicionadas en el mercado, ya que la guerra se había desarrollado en casi toda su totalidad en Europa y parte de Asia, quedando devastadas gran parte de la industria durante muchos años.

Se iniciaba así un período de Guerra Fría entre las potencias occidentales y la Unión Soviética para determinar quién dominaría el mundo en los próximos años. En la Figura 2-1 se muestra la nueva distribución geopolítica que sufrieron muchos países.

La industria japonesa se hallaba en plena reconstrucción después de quedar destruidas casi en toda su totalidad, por lo que se vieron en obligación de captar las nuevas técnicas de producción que se desarrollaba en el occidente y adaptarlas a su sistema de producción.

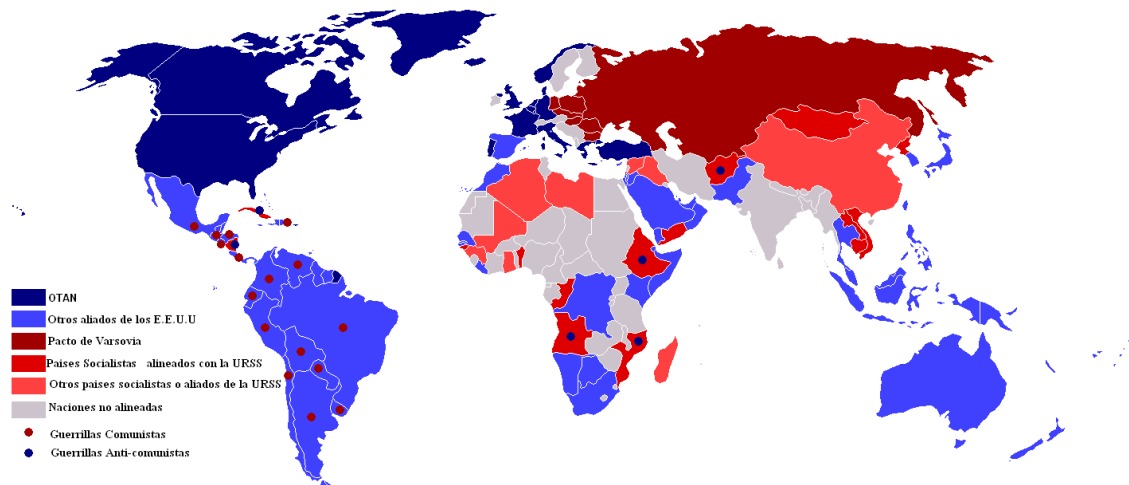


Figura 2-1: Nueva distribución geopolítica después de la Segunda Guerra Mundial

Fuente: <https://prezi.com/c6mdhbgdq2ub/geopolitica-de-la-guerra-fria/>

2.2 Primeras técnicas

Las primeras técnicas para la optimización de la producción surgen a principios de siglo XX de la mano de F.W. Taylor y Henry Ford. Taylor estableció las bases de la organización científica del trabajo y posteriormente Henry Ford introdujo las primeras cadenas de fabricación de automóviles en masa, revolucionando la ya surgida industria 2.0. Estas técnicas perseguían una nueva forma de organización, que poco a poco se fue desarrollando en el resto del mundo (Lean, 2015)

El Fordismo se caracteriza por la normalización de los productos, la introducción de máquinas para realizar tareas elementales que hasta ese momento eran realizadas por trabajadores, la simplificación-secuenciación de tareas y recorridos, la sincronización entre procesos, la especialización del trabajo y la formación especializada (Monar, 2021)

Estos conceptos permitieron reducir el tiempo de ciclo y fijar una estructura rígida en los procesos de producción, favoreciendo la producción en masa en las fábricas durante muchos años.

En este nuevo contexto industrial, empresas como Toyota tuvieron que estudiar y analizar profundamente acerca del cómo generar mayor valor a sus productos y/o servicios para volver a ser competitivos de cara al mercado.

En 1950, un joven ingeniero japonés, Eiji Toyoda, realizó un viaje de tres meses de duración a la planta Rouge de Ford, en Detroit, y se dio cuenta de que el principal problema de un sistema de producción son los desperdicios. Además, era un sistema difícilmente aplicable en Japón en ese tiempo debido a que (Felipe, 2017)

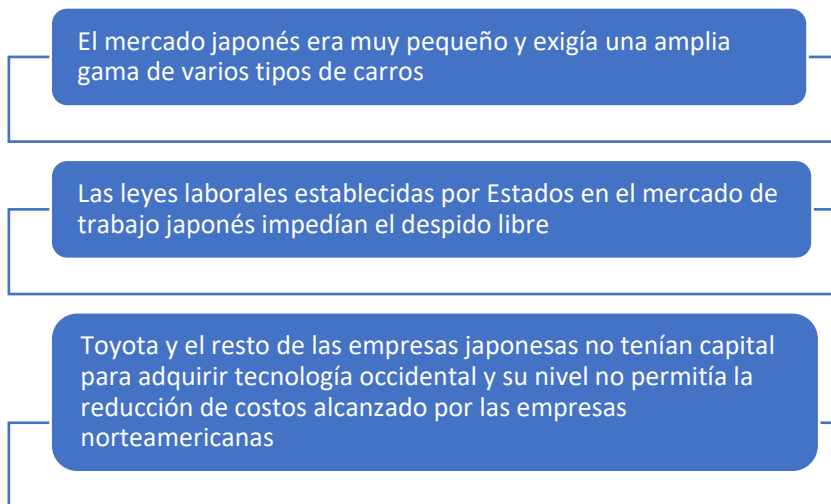


Figura 2-2: Principales elementos que frenaban el desarrollo automovilístico en Japón

Fuente: Elaboración propia adaptada de (Felipe, 2017)

Los japoneses se concienciaron de la precariedad de su posición en el escenario económico mundial; ya que desprovistos de materias primas energéticas, solo podían contar con ellos mismos para sobrevivir y desarrollarse. Mientras que en la industria automovilística norteamericana se utilizaba un método de reducción de costes (ya que producían automóviles en masas y en una variedad restringida de modelos) en Toyota se plantea la fabricación de pequeños volúmenes de muchos modelos diferentes a un buen precio (ingeniería de calidad, 2018).

2.3 Toyota Production System

La introducción de una serie de cambios innovadores en materia de productividad y eficiencia a través de simples herramientas de diagnóstico, evaluación y ejecución de acciones permitieron al Grupo Toyota ubicarse entre los principales competidores en el sector automovilístico a partir de la década de los 50's, surge de esta manera el Toyota Production System (TPS).

El TPS se basa en un sistema de producción y gestión integral cuya finalidad es la optimización de los procesos productivos a través de la disminución o eliminación de desperdicios y del estudio de la cadena de valor, para obtener un flujo de material lo más estable posible, en la cantidad y calidad adecuada y el momento necesario (Pérez, 2016)

Este nuevo sistema de producción y gestión empresarial permitía potenciar la satisfacción del cliente sin olvidar la eficiencia de las operaciones que englobaba. Gracias a las diferentes metodologías incluidas en el sistema, las fábricas japonesas eran capaces de fabricar productos competitivos, con una alta calidad y compromiso en los plazos de entrega pactados con los clientes.

El TPS permite, además, mantener un lugar de trabajo seguro y organizado, mejorar continuamente los procesos que abarca y garantizar tanto la seguridad de la propia empresa como la de sus clientes.

El enfoque que pretende el TPS para agilizar y optimizar sus procesos se podría resumir en los siguientes aspectos

- Mejora continua
- Relación calidad-precio
- Entrega a tiempo
- Seguridad

Atendiendo a la bibliografía sobre el TPS, el grupo de ingenieros de Toyota fueron los enemigos más feroces de los desperdicios e identificaron siete al respecto:

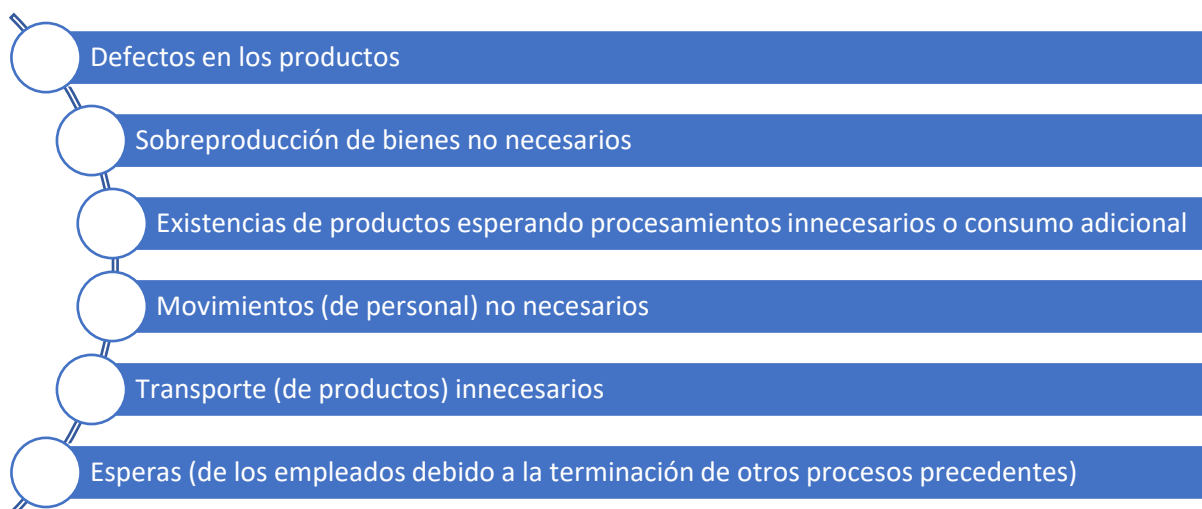


Figura 2-3: Despilfarros identificados en el flujo productivo.

Fuente: Elaboración propia adaptada de (Arango Londoño & Pinzón Rueda, 2015)

Toyota empleó este nuevo sistema para permitirse tener mayor flexibilidad y fiabilidad de fabricación, produciendo en cada momento lo que pedía el cliente con la calidad requerida y los plazos de entrega esperados. En la actualidad, es un sistema de producción y gestión muy utilizado por empresas de diferentes sectores en todo el mundo.

Bajo este escenario, TPS se basa en dos metodologías que permiten alcanzar sus objetivos (Arango Londoño & Pinzón Rueda, 2015) tal y como se expone en la Figura 2-4.

JIT

- La primera es el justo a tiempo (JIT, por sus siglas en inglés), que consiste en producir solo lo que se necesita, analizar realmente cuánto se necesita y solo hacerlo cuando es requerido.

Jidoka

- La segunda técnica es la conocida como Jidoka (construir con calidad), en la que de forma evidente se identifican las diferencias entre lo programado y lo ejecutado de la producción. En este contexto, la producción se detiene en el momento en que se identifican los fallos o surge alguna desviación en el proceso de producción

Figura 2-4: Pilares de la Metodología Lean Manufacturing

Fuente: Elaboración propia

2.4 Lean Manufacturing: Un proceso de mejora continua

LM realmente surge como parte del desarrollo sistemático de la Toyota Production System que buscaba desde sus inicios disminuir y eliminar los desperdicios y todas aquellas operaciones que no le otorgaban valor añadido al producto de cara al cliente final.

El enfoque Lean abarca una variedad de prácticas de fabricación, enfocadas en reducir las variaciones del proceso, identificando y eliminando los desperdicios en toda la cadena de valor del producto (Pagliosa, Tortorella, & Espindola Ferreira, 2019).

Lean mira lo que no deberíamos estar haciendo porque no agrega valor al cliente y tiende a eliminarlo. Para alcanzar sus objetivos, despliega una aplicación sistemática y habitual de un conjunto extenso de técnicas que cubren la práctica total de las áreas operativas de fabricación (Estefany & Ari, 2019)

En 1996, Womack y Jones definieron que el valor era el primer principio del pensamiento Lean (Jones & Womack, 1996). El valor está relacionado con los requerimientos deseados por el cliente y es éste el que en última instancia decide que es un desperdicio y que no (Delgado, 2020)

El equilibrio entre coste y valor se encuentra en un punto en el cual el producto o servicio proporciona tanto valor como el cliente esté dispuesto a pagar por él. El concepto de valor no tiene por qué ser para todos igual, dependerá del cliente y la importancia que le dé a cada aspecto (Delgado, 2020)

De acuerdo con (Díaz-Reza, García Alcaraz, & Morales García, 2022), para lograr sus objetivos LM emplea una serie de herramientas y actividades denominadas prácticas de Lean Manufacturing. Estas herramientas se agrupan en tres pilares fundamentales:

- Herramientas que permiten el flujo de materiales
- Herramientas que facilitan la obtención de calidad a la primera
- Herramientas del sistema de fabricación

Dentro de los aspectos fundamentales de las prácticas Lean, es importante destacar la estructura del sistema de producción según la disposición de sus pilares, las cuales han sido adaptadas para una mayor comprensión de las dimensiones que en ella se consideran (Sarria Yépez, Fonseca Villamarín, & Cristina Bocanegra, 2017)

Debemos entender que Lean Manufacturing es el esfuerzo incansable y continuo para crear empresas más efectivas, innovadoras y eficientes por ello son muchas las herramientas utilizadas y a continuación se describen las más representativas, asimismo, es necesario indicar que todas las herramientas pueden aplicarse de forma independiente o complementaria, y que el implantar la filosofía Lean en una empresa no conlleva la aplicación de todas ellas, sino que dependiendo de las pérdidas localizadas, se aplicarán una u otra según convenga, e incluso cabe la posibilidad de mezclarlas entre ellas con la finalidad de utilizar lo necesario de cada una para la situación en concreto que se nos presente (López, 2011)

Para la transformación de una empresa hacia el pensamiento Lean es necesario el apoyo y la constancia de todos sus trabajadores, tanto los que están vinculados directamente en el proceso productivo como los trabajadores indirectos. Todos los departamentos tienen que ser coordinados para ir en la misma dirección y esta coordinación debe ser responsabilidad de los “senior management” (Delgado, 2020)

La Figura 2-5 muestra la base de la metodología LM, la cual está representada por una serie de técnicas de diagnóstico, técnicas operativas y técnicas de seguimiento (Sarria et al. 2017)

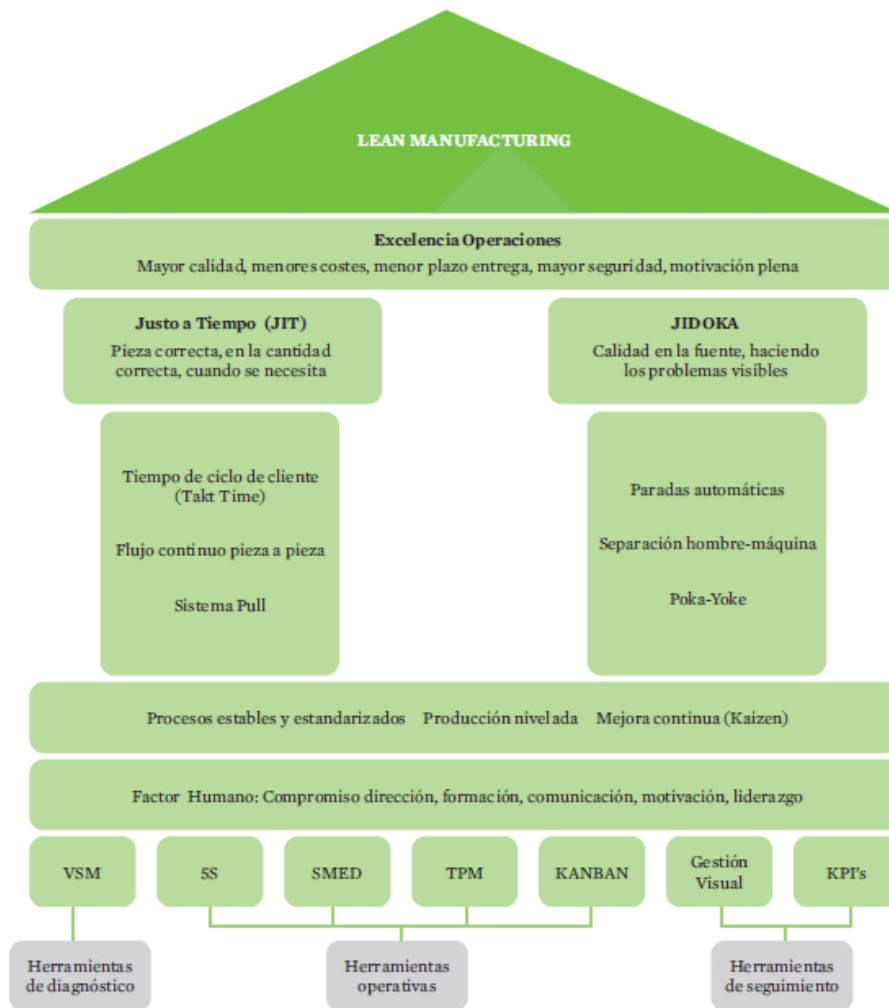


Figura 2-5: Casa o Metodología Lean Manufacturing

Fuente: Hernández y Vizán, 2013

En la base de la casa Lean encontraremos todo lo relacionado con la estrategia y el desarrollo, estos elementos son los cimientos y los principios del LM, pues hacen referencia a una cultura de empresa orientada al largo plazo y a la mejora continua (Kaizen), una gestión que permite que todos los implicados tengan la información adecuada, unos procesos capaces y realizados según el mejor estándar conocido, y una carga de trabajo nivelada, conocido como Heijunka (institutoagile.com, 2022).

2.4.1 VSM

Todo proceso de implantación de la filosofía Lean Manufacturing debe comenzar por un balance de su situación existente mediante el análisis de materiales e información. De esta forma, una vez se tengan los flujos, se podrá realizar un estudio para evaluar los distintos desperdicios existentes y disminuirlos o eliminarlos si es posible (Moya, 2020)

En la base de la casa de Lean, nos encontramos que, como herramienta de diagnóstico, la más empleada a nivel empresarial es el Value Stream Mapping (VSM por sus siglas en inglés), la cual consiste en analizar el flujo de valor del proceso según los requisitos previstos con el cliente (Sarria et al. 2017)

El uso de la herramienta VSM dentro de la metodología Lean, es hoy en día una de las principales técnicas empleadas debido a su elevada funcionalidad dentro de cualquier empresa que desee añadirle valor a sus productos o servicios. La Figura 2-6 muestra algunos de los aspectos más relevantes del uso de esta herramienta.

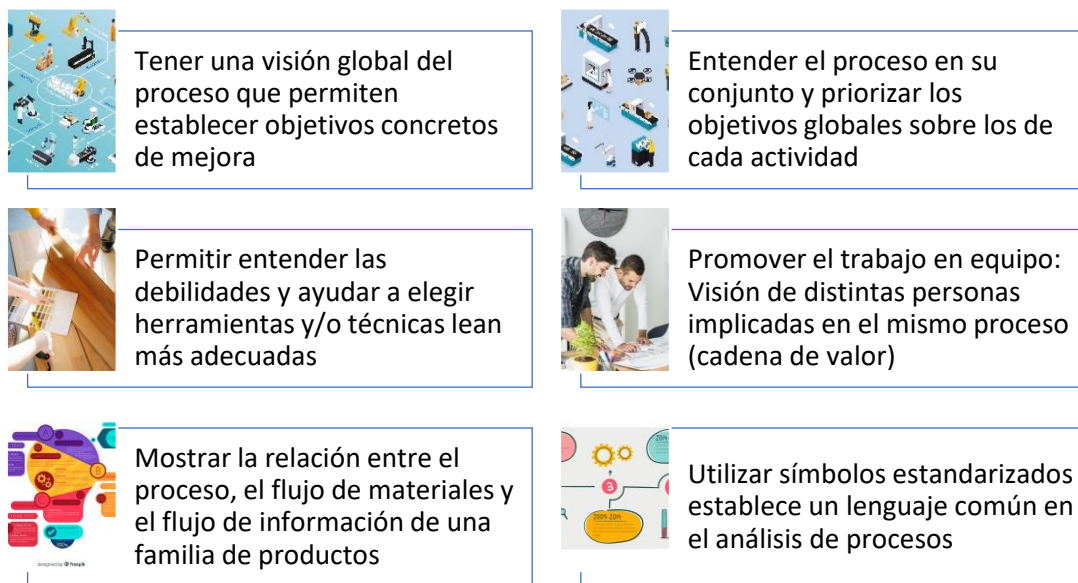


Figura 2-6: Beneficios del VSM como herramienta Lean

Elaboración propia

El VSM compara el estado actual y el estado futuro del flujo de valor del producto, lo que permite reducir los desperdicios en el proceso, enfocándose en las áreas que le agregan valor al producto (García Márquez & Segovia Ramirez, 2020). Se define como aquellas acciones requeridas para la transformación de los elementos utilizados en la fabricación de un producto inicial en producto o servicio final. Estas acciones se llevan a cabo con la ayuda previa de la visualización de la cadena de valor de un producto o servicio.

Identificada la cadena de valor del producto, el VSM es la descripción gráfica de dicha cadena de valor mediante un proceso estandarizado. Ampliando la definición anterior, el VSM es un diagrama de todas las actividades necesarias en la actualidad para mover un producto a través de los principales flujos esenciales para cada uno de ellos (Rico, 2014) como se observa en la Figura 2-7.

En el siguiente capítulo profundizaremos en el desarrollo de esta herramienta como técnica fundamental para el desarrollo del presente proyecto, enfocando la herramienta hacia el sector aeronáutico y su aplicación en la fabricación de piezas y partes de aviones.

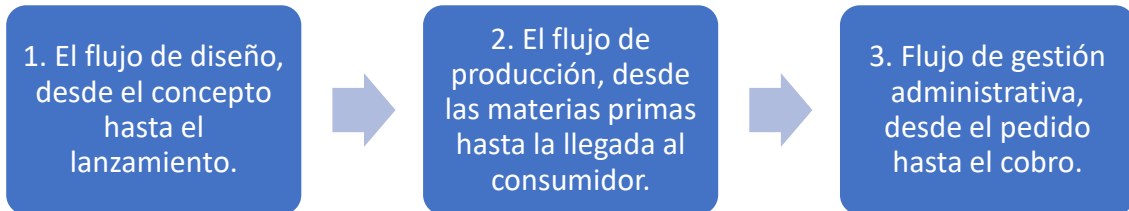


Figura 2-7: Identificación de los flujos en VSM

Fuente: Elaboración propia.

2.4.2 Las 5S

Dentro de las herramientas operativas, se agrupan cuatro de las prácticas más reconocidas en el ámbito industrial.

Las 5S permiten desarrollar un sistema de gestión que garantice la organización, el orden y la limpieza en los puestos de trabajo, consiguiendo de manera inmediata un aumento de la productividad y un lugar de trabajo más organizado. Las siglas de las 5S (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke) se desglosan de acuerdo con la Figura 2-8.

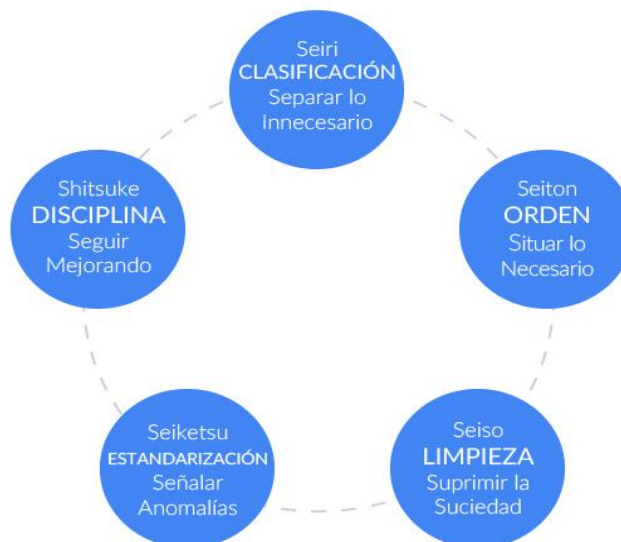


Figura 2-8: Técnica de las 5'S

Fuente: (Tool, 2022)

2.4.3 SMED

El SMED es una herramienta empleada para reducir el tiempo de preparación o cambio de utillaje en un proceso productivo, recordando que el tiempo de preparación es el tiempo que transcurre desde que sale o termina la última pieza de una orden hasta que se comienza el mecanizado de la primera pieza de la orden siguiente. La causa más frecuente de fracaso en estos proyectos es que la dirección y los responsables del proyecto no le dediquen la atención necesaria, sobre todo en la fase de seguimiento (Burgos, 2020)

La implementación del SMED transcurre principalmente en 5 etapas como se observa en la Figura 2-9, esta herramienta permite realizar un minucioso trabajo de mejora continua en las áreas en las cuales se ejecuta.

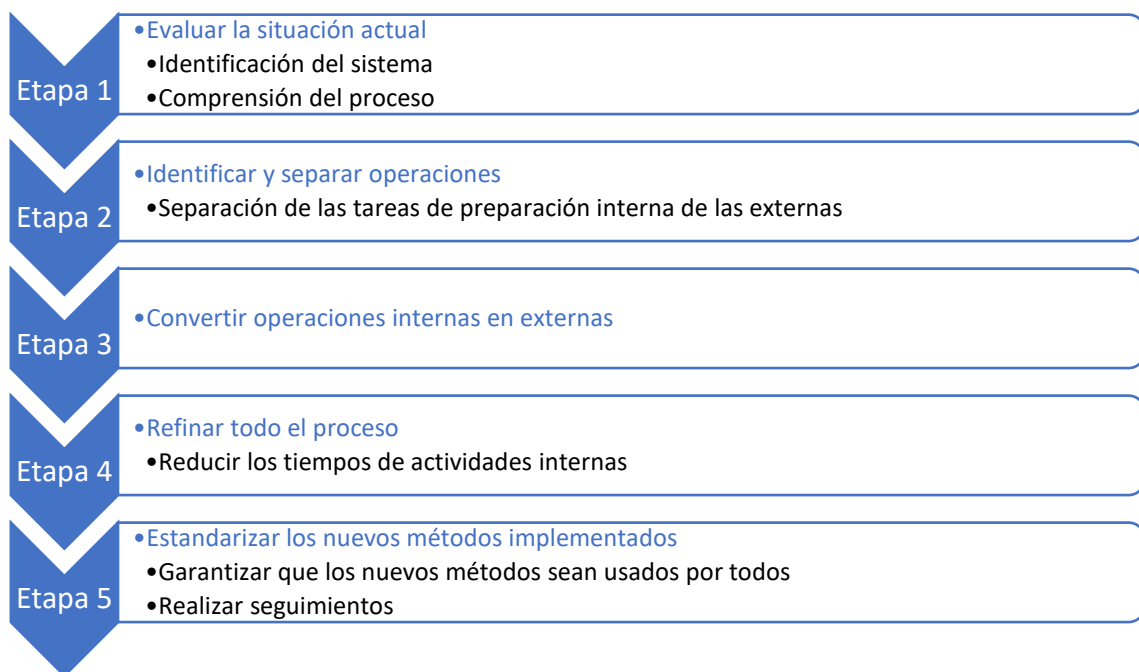


Figura 2-9: Etapas de la herramienta SMED

Fuente: Elaboración propia

2.4.4 TPM

Por su parte la herramienta TPM (Total Productive Maintenance por sus siglas en inglés), en castellano Mantenimiento Productivo Total; se enfoca en reducir las averías que sufren los elementos de la línea de producción mediante la implicación de los operarios de producción en las labores de mantenimiento más básicas, así como en tareas de inspección de los equipos (Monar, 2021)

De esta manera se consigue aumentar la fiabilidad y la disponibilidad en la línea de producción pues los propios operarios que utilizan las máquinas durante su jornada laboral son capaces de reparar ciertas averías que no sean demasiado complejas, para ello es muy importante darle una pequeña formación al trabajador con conocimientos básicos y sencillos de mantenimiento.

2.4.5 Kanban

El Kanban (o Pull System) permite medir el lead time y el tiempo de ciclo de un producto en diferentes áreas de la producción, permitiéndole detectar cualquier problema y evitarlo con el objetivo de disminuir el lead time de cara al cliente. La implementación del Pull System persigue que la empresa fabrique un bien o servicio sólo cuando el cliente ha realizado la solicitud de la orden y no cuando se ha fabricado ya en la empresa y desea venderla al cliente (García Márquez & Segovia Ramirez, 2020)

Autores como (Burgos, 2020) argumentan que para ejecutar correctamente el sistema Kanban se necesitan establecer una serie de reglas que se muestran en la Figura 2-10, las cuales deben ser respetadas y cumplidas por los trabajadores que realizan este tipo de tareas

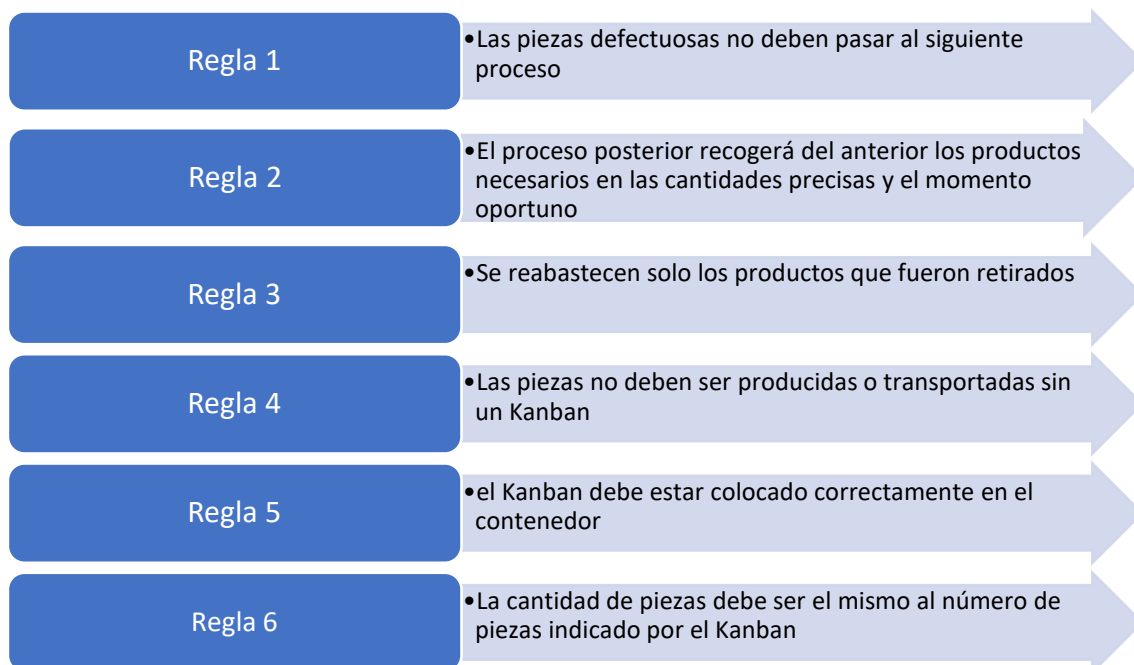


Figura 2-10: Reglas aplicadas al Kanban

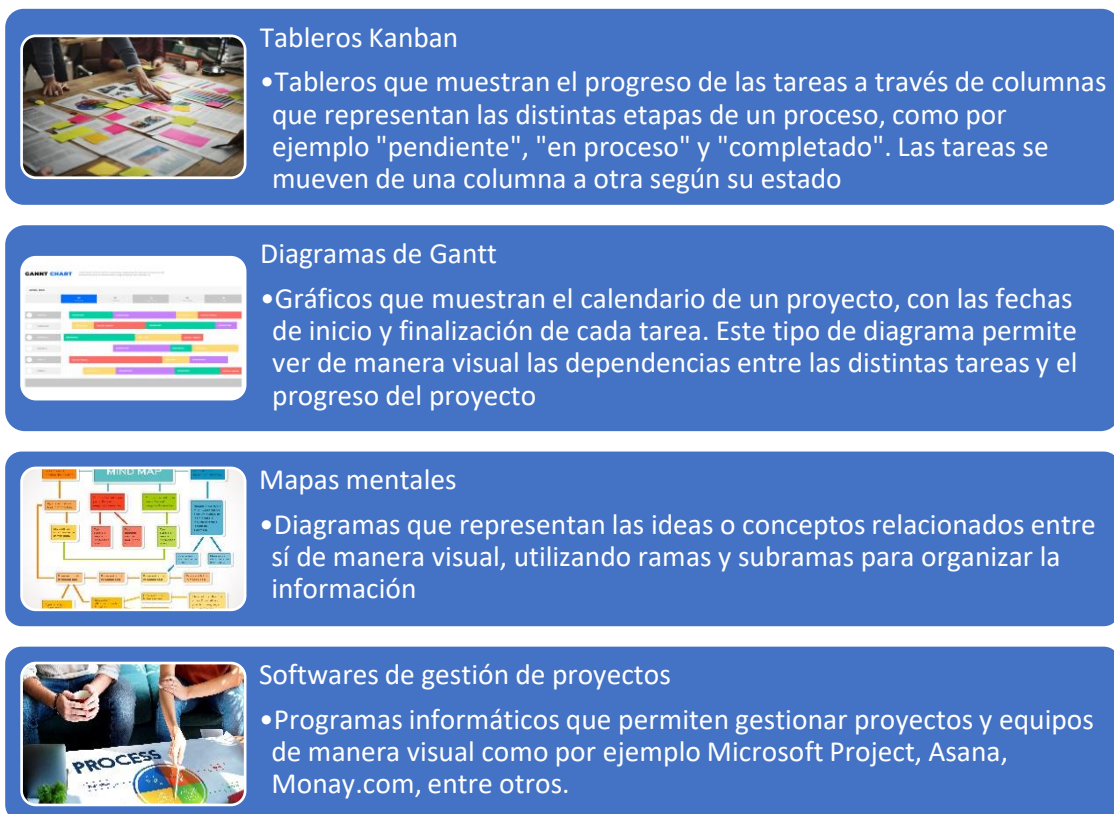
Fuente: Elaboración propia a partir de las reglas planteadas por (Burgos, 2020)

2.4.6 Herramientas de seguimiento

Las herramientas de seguimiento de Gestión visual son aquellas que permiten representar de manera gráfica el progreso de un proyecto o la relación entre distintas ideas o tareas en un equipo de trabajo, mejorando la comunicación y la eficiencia de los colaboradores y operarios de la empresa.

En la Figura 2-11 se muestran una serie de herramientas que se utilizan con mucha frecuencia en el ámbito de Lean empresarial.

Otra de las herramientas usadas para darle seguimiento y evaluar algún parámetro específico en una empresa son los KPI's (Key Performance Indicators). Los indicadores claves de rendimiento (significado en español) se utilizan para medir y evaluar el éxito de una organización, un departamento o un proyecto en relación con los objetivos y metas establecidos. Mediante estos indicadores, se analiza el progreso y el rendimiento de una empresa en áreas específicas y proporcionan información cuantificable que se puede utilizar para la toma de decisiones y así mejorar el rendimiento de la empresa.



Tableros Kanban

- Tableros que muestran el progreso de las tareas a través de columnas que representan las distintas etapas de un proceso, como por ejemplo "pendiente", "en proceso" y "completado". Las tareas se mueven de una columna a otra según su estado

Diagramas de Gantt

- Gráficos que muestran el calendario de un proyecto, con las fechas de inicio y finalización de cada tarea. Este tipo de diagrama permite ver de manera visual las dependencias entre las distintas tareas y el progreso del proyecto

Mapas mentales

- Diagramas que representan las ideas o conceptos relacionados entre sí de manera visual, utilizando ramas y subramas para organizar la información

Softwares de gestión de proyectos

- Programas informáticos que permiten gestionar proyectos y equipos de manera visual como por ejemplo Microsoft Project, Asana, Monay.com, entre otros.

Figura 2-11: Herramientas de visualización de proyectos

Fuente: Elaboración propia

Los KPI's pueden variar según el sector y lo que se quiera analizar o medir, pero suelen estar relacionados con la rentabilidad, la eficiencia operativa, la satisfacción del cliente, la calidad, la productividad, la seguridad, la innovación, el desarrollo de productos, entre otros aspectos relevantes para la organización

Por encima de la base estratégica, de desarrollo y de estandarización, se alzan los pilares que soportarán el sistema de producción (institutoagile.com, 2022). Uno de los grandes fundamentos de estos cimientos es lo relacionado con el Sistema Pull, que se centra en producir bienes sólo cuando se requiere, en lugar de producir en masa y esperar a que el producto sea vendido. Este sistema se basa en la demanda y consigue que el cliente obtenga justo lo que quiere en el momento en que lo desea.

Por su parte el flujo continuo pieza a pieza se refiere a un enfoque de producción en el que se mueven las piezas de un proceso a otro de manera constante y sin interrupción, con el objetivo de minimizar el tiempo de espera y los inventarios en cada etapa del proceso. En lugar de producir grandes lotes de piezas que se almacenan durante un tiempo antes de ser procesadas, las piezas se producen en pequeñas cantidades y se trasladan inmediatamente al siguiente proceso.

Para implementar el flujo continuo pieza a pieza, es necesario asegurarse de que cada proceso se ajuste perfectamente al siguiente proceso y que los tiempos de ciclo estén bien coordinados. También es importante tener un sistema de monitoreo y control de calidad para evitar la producción de piezas defectuosas que puedan retrasar el flujo de trabajo (Womack, Jones, & Roos, 1990).

La herramienta Takt time (TT) es la base para el diseño de las celdas de fabricación en una empresa y representa la tasa de consumo por parte del mercado mostrada en la fórmula 2.1. Takt time es donde comienza el esfuerzo, porque es reflexivo de la demanda del cliente. Todo en el diseño de celdas de fabricación se basa en el TT (Feld, 2000).

$$Takt\ time\ (TT) = \frac{Tiempo\ total\ disponible\ al\ día}{Tasa\ de\ producción\ diseñada\ diariamente} \quad (2.1)$$

El Takt time se confunde a menudo con el tiempo de ciclo. El tiempo de ciclo representa la capacidad actual/capacidad de la operación existente, mientras que el TT se basa en la demanda proyectada del cliente, no la capacidad del proceso actual para cubrir esa demanda (Feld, 2000)

Todas estas herramientas sostienen las dos columnas vertebrales de la Casa Lean Manufacturing; Just in time y Jidoka. JIT (Just in time por sus siglas en inglés) es un enfoque que pretende entregar la pieza correcta, en la cantidad correcta y cuando lo solicite el cliente, apoyadas en las herramientas antes analizadas. Por su parte Jidoka consigue un enfoque de calidad total en la producción y los servicios, haciendo los problemas visibles desde su raíz y permitiendo una excelencia en todas las operaciones del sistema.

En el marco actual de la sociedad y las empresas, todas estas herramientas Lean respetan los derechos fundamentales de los trabajadores y la ergonomía en el puesto de trabajo. Aunque se ha de añadir que hoy en día las herramientas Lean no se encuentran completamente normalizadas y no existe un método único de aplicarlas, cada empresa tiene su propia metodología (Pérez, 2016)

La aplicación de cada uno de estos enfoques de manera individual o agrupada como prácticas de manufactura permitirán a la empresa tener una mejor calidad del producto, mejorar el enfoque hacia el cliente, generar productos a menor coste y de manera competitiva, reducir tiempos de entrega, generar mayor flujo de caja y eliminar los desperdicios como el tiempo de inactividad en máquinas, herramientas, operarios y líneas de producción en general (Díaz-Reza et al, 2022).

3. Value Stream Mapping como herramienta de diagnóstico

Son muchos elementos los que intervienen en el flujo de valor de una empresa. Factores como el tiempo, el flujo de materiales, el inventario, el personal, los plazos de entrega y la información se afectan entre sí durante el proceso productivo. Los efectos que estos elementos tienen entre sí son difíciles de definir sin un análisis profundo a lo largo toda la cadena productiva.

3.1 Las claves del VSM a través del Lean Thinking



Figura 3-1: Principios del VSM.

Elaboración propia adaptada de (Jones & Womack, 1996)

El Lean Thinking (o pensamiento ajustado como se le conoce en español) es un proceso de pensamiento que da sentido a todos los métodos y técnicas específicas, de cara a guiar a la dirección en la consecución del Lean Manufacturing, avanzando más allá de la

Producción en Masa. El Lean Thinking puede ser estructurado en cinco principios que se muestran en la Figura 3-1.

Mediante la comprensión de estos principios y la creación de una interconexión entre ellos, la Dirección puede hacer un uso completo de las técnicas lean y mantener un desarrollo de proyectos estable.

Autores como (Jones & Womack, 1996) afirman que pasar de un sistema de lotes y colas a uno de flujo continuo con un tirón efectivo desde el cliente puede, con inversiones modestas o nulas conseguir las pretensiones mostradas en la Figura 3-2.

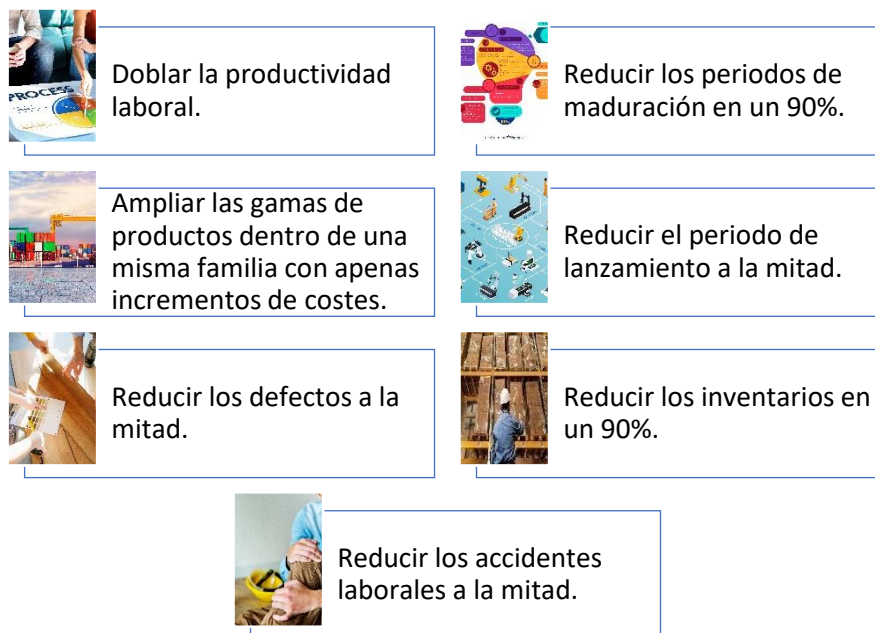


Figura 3-2: Aumento de indicadores de productividad y rendimiento mediante Lean Thinking.

Elaboración propia adaptada de (Jones & Womack, 1996)

El Lean Thinking proporciona también un modo de trabajar más satisfactorio ofreciendo un feedback inmediato de los esfuerzos para convertir los desperdicios en valor y en contraste con la moda reciente de la reingeniería de procesos, proporciona un método para crear nuevos puestos de trabajo, en lugar simplemente de destruirlos en nombre de la eficiencia.

3.2 Generación de valor a través del Value Stream Mapping

Una de las herramientas Lean con mayor tendencia a emplearse por las grandes empresas en diversos sectores es la del mapa del flujo de valor (VSM por sus siglas en inglés) que

permite visualizar lo que ocurre y trabajar de forma global, en un proceso o un conjunto de ellos, pertenecientes a una o varias empresas, situadas a lo largo del flujo de valor de un producto o servicio.

Ello permite visualizar simultáneamente los flujos de materiales, productos e información. Utilizando el VSM que representa la situación actual resulta más fácil la transición hacia una implementación Lean. Así, se van anotando los cambios resultantes de iniciativas Lean, hasta completar el VSM de la situación que se desea alcanzar en el futuro. De esta forma es posible valorar las mejoras conseguidas (Jones & Womack, 1996)

Por definición Value Stream Mapping (mapa de flujo de valor en español, VSM por sus siglas en inglés) es una herramienta ilustrativa que utiliza una iconografía sencilla para detallar las actividades de una empresa en cuanto a diseño, pedidos, producción y entrega de los productos que fabrica desde el punto de vista del flujo del material y la información (MARTÍNEZ, 2010). Ayuda a ver, al empleado o a la persona que lo visualiza, cómo la combinación de cada parte de la empresa sirve para crear productos o servicios.

La técnica VSM se utiliza para encontrar focos de desperdicios dentro del proceso productivo que sigue un producto dentro de la empresa. De esta forma, una vez que se identifican estos despilfarros se puede trabajar en cada zona para eliminarlos lo antes posible. VSM pretende de manera general una mejora global del proceso.

El VSM se caracteriza por ser una herramienta sencilla y visual, facilitando una rápida identificación de los despilfarros, lo cual permite una conexión entre el flujo de fabricación y el de información, una ventaja que lo diferencia de otras técnicas de diagnóstico dentro de la metodología Lean.

Debido a que el pensamiento Lean va contra la propia intuición y es difícil de asumir a la primera, analizaremos la puesta en práctica de estos 5 principios Lean en la empresa en los siguientes capítulos.

Por otro lado, el VSM también ha sido adaptado y evolucionado a situaciones de planta con características más complejas (Anand Gurumurthy, 2011) en las que la demanda es más aleatoria, la cantidad de referencias es muy variada y de difícil agrupación;

conjuntamente, hay gran cantidad de procesos, muchos de ellos compartidos con otras familias y por tanto los flujos se vuelven complicados.

Asimismo, es necesario citar la divulgación de bibliografía referida a ampliar la experiencia sobre el propio proceso de desarrollo, tanto del proyecto de mapeado, como del despliegue e implantación de las mejoras aprobadas tras el análisis.

Previo al inicio de las etapas, varios autores aconsejan la creación de un equipo multifuncional de 3 a 7 miembros en el que la figura del responsable del flujo de valor o value stream manager será el encargado de liderar el proceso VSM y el plan de implantación posterior. Éste, ha de ser un conocedor del flujo de valor de la familia de productos a tratar (Womack, Jones, & Roos, 1990) y por otro lado ha de poseer los siguientes atributos (Tapping & Shuker, 2002)

- Un sentido de propiedad de producto.
- Un sentido de compromiso hacia la Producción Ajustada.
- Autoridad para hacer que los cambios se produzcan a través de funciones y departamentos.

El especialista en Producción Ajustada o lean specialist es otra figura perteneciente al equipo que apoyará en la labor de detectar los despilfarros e introducir las prácticas apropiadas para actuar ante las causas de las ineficiencias. Más que en la implantación en sí, dichos especialistas actuarán de guías y asesores del equipo (Womack, Jones, & Roos, 1990).

3.3 Etapas de aplicación del VSM

En la Figura 3-3 se puede resumir las etapas de implementación de esta herramienta, desglosada en 5 pasos fundamentales.

Es necesario focalizar el proceso de mapeado en una única familia de productos, graficar todas las referencias que se producen en la planta resulta complicado y no conduce a desarrollar de manera adecuada las pautas de la Producción Ajustada (Rother & Shook, 1999)

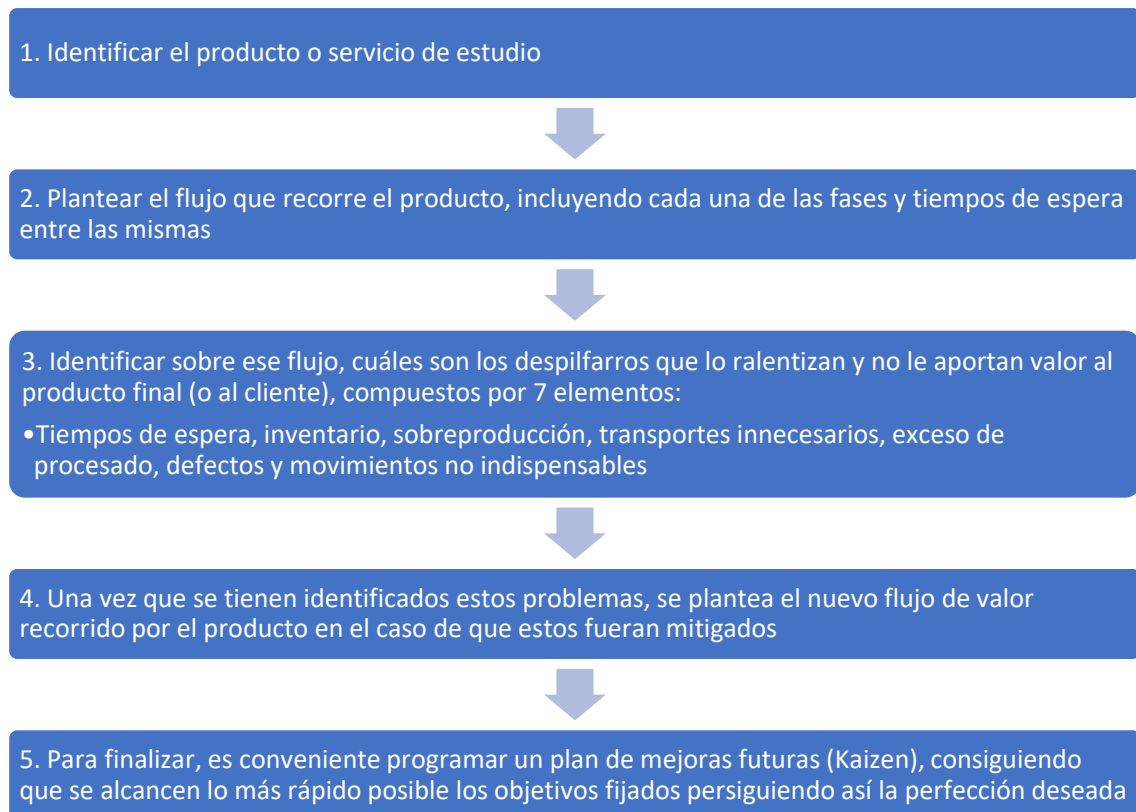


Figura 3-3: Etapas de implementación del VSM.

Elaboración propia

3.3.1 Elección de una familia de productos

Para casos más complejos, donde existen numerosos productos y una gran cantidad de rutas, detalla más la definición con una propuesta abierta de los siguientes criterios:

- El tiempo de operación de cada proceso con cada referencia de la familia de producto puede variar hasta en un 30%.
- Se puede permitir que el 20% de las etapas de la fabricación sean diferentes.

La búsqueda de familias de productos puede no resultar una tarea fácil a simple vista, sobre todo en casos de plantas fabriles funcionales. Se han desarrollado y se siguen desarrollando algoritmos y métodos para la asignación de familias, dichos métodos han sido desplegados para dirigir el rediseño de las distribuciones en plantas funcionales u orientadas al proceso a distribuciones orientadas al flujo de productos.

Así pues, existe una gran variedad de dichas técnicas de ayuda para la identificación de posibles familias de productos, pero resultan bastante complicadas de aplicar, y son poco

conocidas y empleadas. Por suerte, en los casos prácticos reales, no suele haber necesidad de valerse de técnicas demasiado sofisticadas.

La literatura básica referente al VSM expone la denominada matriz de familia de productos (ver Figura 3-4) como herramienta de ayuda para la detección de familias, con la que, en algunos casos a simple vista, o mediante la aplicación de un sencillo algoritmo, se pueden hallar posibles familias de productos.

Se puede centrar la elaboración de la matriz en los primeros procesos de la cadena de valor, ya que en muchos casos serán aquellos que más fácilmente se plantearán para asignarlos específicamente a la familia de productos definida (Jones & Womack, 1996).

		Assembly Steps & Equipment							
		1	2	3	4	5	6	7	8
PRODUCTS	A	X	X	X		X	X		
	B	X	X	X	X	X	X		
	C	X	X	X		X	X	X	
	D		X	X	X			X	X
	E		X	X	X			X	X
	F	X		X		X	X	X	
	G	X		X		X	X	X	

A Product Family

Figura 3-4: Matriz de familia de productos.

Fuente: (Rother & Shook, 1999).

Cuando el número de referencias es alto, es aconsejable centrar previamente el estudio en las referencias que mayor volumen de producción supongan; la regla ABC, 80-20 (o de Pareto) resulta de gran ayuda en estos casos. A este tipo de estudio también se le denomina análisis P-Q (Producto-Cantidad) (Tapping & Shuker, 2002).

Para producciones bajo pedido donde la diferenciación de producto usualmente se da muy aguas arriba, diversos autores aconsejan agrupar los productos en base a la similitud de los procesos que siguen. Asimismo, los diferentes criterios para determinar el futuro diseño de los sistemas productivos pueden servir como guía para la agrupación (Ver Tabla 3-1)

Tabla 3-1: Criterios para seleccionar familia de productos

Criterio para identificar macro familias de productos		Ejemplo
1.- Tipo de producto.	<i>Cada familia la conforman productos del mismo tipo o misma función.</i>	<i>Motores y generadores</i>
2.- Mercado.	<i>Mercado geográfico o tipo de cliente: distribuidor, final, etc.</i>	<i>Europa, Norteamérica</i>
3.- Clientes.	<i>Familia de productos que se venden a uno o varios clientes concretos.</i>	<i>Una familia para dos clientes dominantes, el resto de los productos conforman una tercera familia.</i>
4.- Grado de contacto con el cliente.	<i>Agrupar productos de acuerdo con el grado de influencia que tiene el cliente sobre el producto final.</i>	<i>Todos los productos stockados en una familia, todos los fabricados bajo pedido en otra, etc.</i>
5.- Volumen de venta.	<i>Agrupar productos con similar volumen de ventas.</i>	<i>Alto volumen, bajo volumen.</i>
6.- Patrones de pedidos.	<i>Agrupar productos en base a los diferentes patrones de recibir pedidos.</i>	<i>Series largas y repetitivas, por un lado, series cortas e irregulares por otro.</i>
7.- Base competitiva.	<i>Agrupar productos en base a sus argumentos de venta.</i>	<i>Por un lado los de bajo coste y rápida entrega, por otro los productos personalizados.</i>

8.- Tipo de proceso.	<i>Aquellos productos con similares procesos en la misma familia.</i>	<i>Todos los que requieren montaje por un lado, todos los que no por otro.</i>
9.- Características de productos.	<i>Productos con similares características físicas o materias primas.</i>	<i>Grandes vs. pequeños, ligeros vs. pesados, etc.</i>

3.3.2 Mapeado de la situación actual o inicial

Para trazar el mapa de la situación inicial, es útil conocer la simbología propuesta en el Anexo VIII y el tipo de información más relevante que se debe recoger, para ello es muy conveniente utilizar como guía el diagrama de flujo para esa familia de productos definidas en el paso anterior y realizar un dibujo de la situación inicial. Es evidente que dependiendo de las particularidades del proceso se puede diseñar iconografía propia, y recopilar la información que se considere más adecuada y útil.

Autores como (Rother & Shook, 1999) y (Lasa, 2007) aconsejan para realizar el dibujo:

- Recoger los datos in situ de la propia planta en una hoja
- Cada punto donde el material fluye se considera un proceso y se dibuja mediante una caja, el proceso termina allá donde una desconexión hace que el flujo de materiales pare y se genere un stock intermedio. Han de registrarse los datos necesarios para cada proceso, que podrían ser:
 - Recurso compartido o específico a la familia.
 - Tiempo de ciclo.
 - Tiempo de cambio.
 - Eficiencia.
 - Periodo de ciclo de fabricación. Tamaño de lote medido en tiempo.
 - Every Part Every Interval (EPEI).
 - Número de operarios.
 - Número de variaciones de productos.
 - Tipo y Tamaño de embalaje.
 - Número de relevos.
 - Tiempo de trabajo disponible (descontar descansos).

- Otros datos que se puedan considerar necesarios.
- Tras la recogida de los datos de los procesos se dibuja el inventario acumulado y se contabiliza en la propia planta.
- Se grafican las entregas a clientes y los acopios de los proveedores más importantes: frecuencia de entregas, tamaño y tipo de embalajes, volúmenes de entregas...
- Una vez dibujado el flujo físico de los materiales, se procede a graficar el flujo de información.
- Por último, se contabiliza el contenido de trabajo en tiempo de la pieza así como su periodo de maduración desde materia prima hasta producto terminado mostrándolo en una línea dibujada dentada en la base del dibujo.

3.3.3 Mapeado de la situación futura

Se trata de ir respondiendo a ciertas preguntas clave e ir configurando el mapa futuro (Rother & Shook, 1999)

1. ¿Cuál es el takt time o ritmo impuesto por el mercado basado en el tiempo de trabajo disponible?
2. ¿Se va a producir para expedir directamente a partir del proceso regulador o se necesita un supermercado de producto terminado?
3. ¿Dónde puede ser empleado el flujo continuo?
4. ¿Es necesario algún sistema pull (tirón) para gestionar la producción?
5. ¿Qué único punto de la cadena de producción, denominado proceso regulador será empleado para programar la producción?
6. ¿Cómo puede ser nivelado el mix de producción en el proceso regulador?
7. ¿Qué unidad de trabajo será retirada constantemente desde el proceso regulador?
8. ¿Qué mejoras de proceso (mejoras kaizen) serán necesarias en el flujo de valor para que fluya como en el diseño del estado futuro?

Dichas cuestiones clave se basan en directrices o pautas de Lean Manufacturing, que tratan de que cada proceso de producción fabrique sólo lo que el siguiente proceso necesite, en el momento en el que lo requiera; para así, buscar la unión de todos los procesos en un flujo con un mínimo de periodo de maduración y coste, así como con un máximo de calidad de producto.

3.3.4 Definición e implantación de un plan de trabajo

La consecución del mapa futuro aprobado requerirá de una planificación detallada que habrá de liderar el responsable del flujo de valor con el apoyo y seguimiento de la alta dirección de la empresa. Se aconseja dividir el mapa futuro en lazos (loops) o segmentos manejables con los que ir abordando paulatinamente los proyectos de mejora. El lazo inicial podría ser aquel que integra al proceso regulador, o bien aquel proceso que es adecuadamente comprendido por el personal de la empresa y tenga el éxito e impacto garantizado (Rother & Shook, 1999), (Tapping & Shuker, 2002)

Así como la planificación es un punto importantísimo, también hay que combinarlo en algunos casos con sistemas prueba/error con los que ir aprendiendo y sacando resultados y conclusiones (Rother & Shook, 1999).

3.4 Directrices del Lean Manufacturing para desarrollar el VSM

Como se ha visto en los epígrafes anteriores, el mapa de valor futuro ha de desarrollarse en base a ciertas pautas de acuerdo con la metodología Lean que se describen en la Figura 3-5.

Se entiende como ciclo el ritmo de producción según el ritmo de ventas y se define como el tiempo disponible de producción dividido por la demanda del cliente, todo ello en un periodo dado (Rother & Shook, 1999):

$$\begin{aligned} \text{CICLO DE PRODUCCIÓN} \\ = \frac{\text{Tiempo de trabajo disponible (por turno)}}{\text{Demanda del cliente (por turno)}} \end{aligned} \quad 1$$

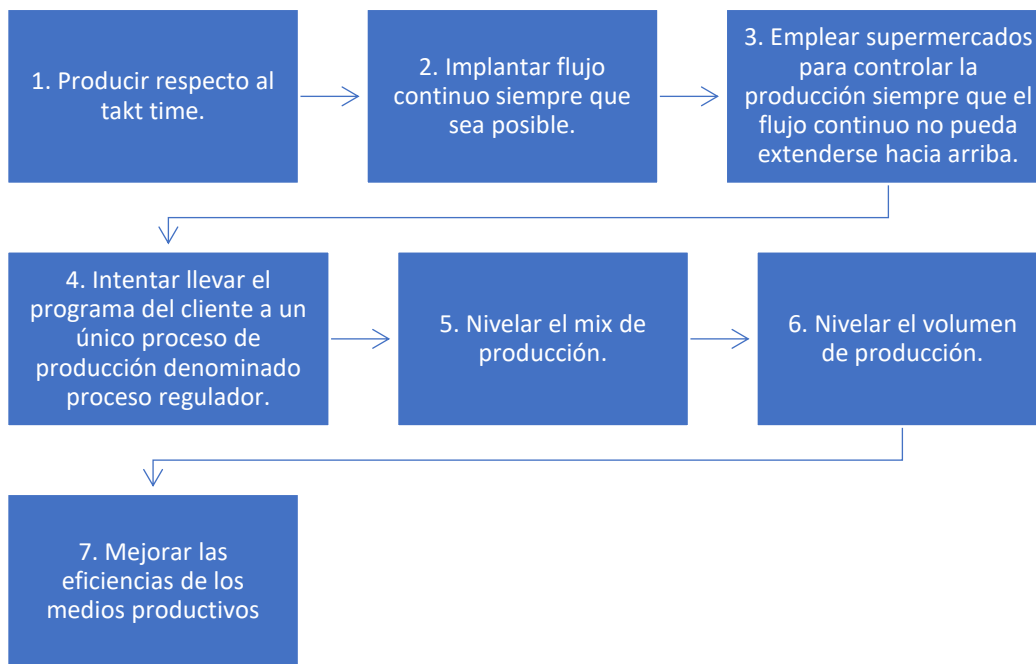


Figura 3-5: Directrices para desarrollar el VSM.

Elaboración propia adaptado de (Lasa, 2007)

3.1.1 Producir respecto al Takt time

Esta variable permite tener un baremo del ritmo de producción idóneo, es decir, ajustar el ritmo de producción a la demanda. La consecución de este objetivo exige capacidad para reaccionar con rapidez ante incidencias, eliminar o minimizar las causas de interrupciones imprevistas y eliminar los tiempos de cambio entre procesos.

El takt, “compás” en idioma alemán, se emplea para sincronizar el tiempo de producción con el de ventas, sobre todo en el proceso regulador. Es un número de referencia que da una sensación del ritmo al que hay que producir. Producir al ritmo del takt suena sencillo, pero requiere esfuerzo para:

- Dar rápida respuesta (dentro del takt) ante problemas.
- Eliminar causas de ineficiencias.
- Eliminar tiempos de cambio en procesos tipos de ensamblaje aguas abajo.

3.4.1 Implantar flujo continuo

Significa fabricar y mover los productos uno a uno, o a lo sumo en lotes muy pequeños y consistentes a través de los procesos de producción (Rother & Shook, 1999). El flujo

continuo puede conseguirse de diferentes maneras, desde líneas de montaje móviles, hasta células de montaje o fabricación. La Ilustración 3-6 y 3-7 muestran la diferencia entre un flujo discontinuo por lotes y uno continuo pieza a pieza.

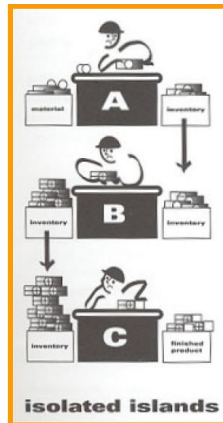


Figura 3-6: Flujo discontinuo. (Rother & Shook, 1999)

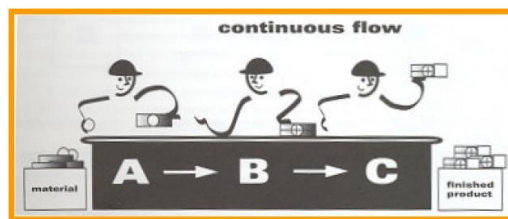


Figura 3-7: Flujo continuo. (Rother & Shook, 1999)

El transferir las piezas una a una, presupone acercar los medios productivos y dedicarlos casi exclusivamente a la familia de productos en cuestión, lo cual en muchos casos no se justifica por las características de los procesos o por falta de saturación de medios productivos caros con una sola familia de productos. Estos medios productivos, también denominados “monumentos”, deberían de ser sustituidos en la medida de lo posible por medios adecuadamente dimensionados a la demanda de la familia de productos a la que irán destinados (Lasa, 2007).

En el caso en el que varias etapas del proceso productivo sean susceptibles de adecuarlas al flujo continuo, otra de las tareas a desarrollar será el correcto balanceo o equilibrado de las operaciones entre los medios y trabajadores necesarios en la nueva configuración. El takt time será la referencia base para el correcto equilibrado.

3.4.2 Emplear supermercados para controlar la producción

Hay puntos en el flujo de valor donde el flujo continuo no es posible y la agrupación de los materiales para su transporte es necesaria (lotes de transferencia no unitarios). En estos casos hay que oponer resistencia a la estímulo que otorga programar estos puntos, ya que la programación es sólo una estimación de lo que el siguiente proceso va a necesitar. El Lean Manufacturing viene respaldada por la implantación de sistemas pull para estos escenarios.

El sistema pull es un método de control de producción en el que las actividades aguas abajo señalan sus necesidades a las actividades aguas arriba. Este sistema busca la eliminación de la sobreproducción sin tener que programar dichos puntos (Lasa, 2007)

La actividad aguas abajo provee de información a la operación aguas arriba frecuentemente mediante una tarjeta Kanban, “señal” en idioma japonés, en la que se especifica el material que se necesita, la cantidad y donde y cuando se requiere. Hasta que la señal Kanban no llega al proceso proveedor, éste no fabrica nada, al contrario que en un sistema push.

La Figura 3-8 muestra esquemáticamente un proceso Pull en el que el cliente va al supermercado y toma lo que necesita cuando lo necesita y el proveedor produce para reaprovisionar lo retirado.

Cualquiera que sea el formato (Lasa, 2007), los kanban cumplen con dos funciones en un sistema productivo, por lo que habitualmente se clasifican en dos tipos:

- Los denominados kanban de producción o production kanban, ordenan a los procesos aguas arriba la fabricación de piezas.
- Los kanban de transporte o withdrawal kanban, ordenan a los acarreadores de material mover los productos señalados en la señal.

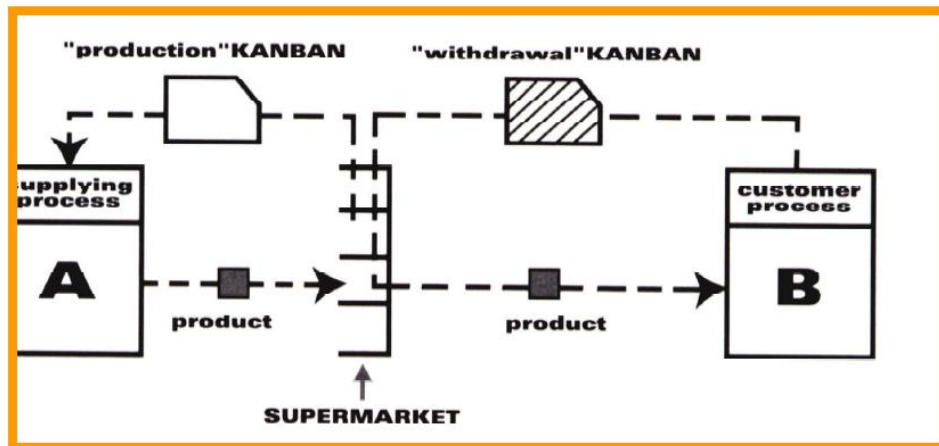


Figura: 3-8: Sistema Pull (Rother & Shook, 1999)

Las empresas que trabajan bajo pedido tienen el interfaz situado lo más aguas arriba posible en el proceso productivo. En cambio, las empresas que operan contra stock tienen el interfaz situado lo más aguas abajo posible, concretamente en el almacén de producto terminado (Lasa, 2007)

3.4.3 Programar un único proceso de producción

Empleando sistemas pull de supermercado, sólo será necesario programar un punto en el flujo de valor. Este punto se llama “proceso regulador” o “pacemaker process”. Es el que marcará el ritmo y dirigirá la producción de la familia de productos tratada más adelante.

Este punto no debe confundirse con el proceso cuello de botella (Rother & Shook, 1999), que es el que ha de comandar la producción. Conforme al Sistema de Producción Toyota, salvo en contadas excepciones como producción bajo pedido, no puede ser el cuello de botella o proceso más problemático el que marque y dirija el ritmo de toda la producción de la planta, tal y como aboga la TOC; esto no es óbice para no tratar de liberar dicho proceso y aumentar su capacidad (Anand Gurumurthy, 2011)

Así, con productos personalizados y en talleres funcionales, es lógico que el punto de programación o proceso regulador esté muy aguas arriba, ya que frecuentemente se trata de una producción bajo pedido. En estos casos particulares de producción bajo pedido se puede aconsejar enviar el programa de producción al proceso más aguas arriba a intervalos regulares teniendo como referencia la capacidad del cuello de botella del sistema (Lasa, 2007).

3.4.4 Nivelar el mix de producción

La programación de grandes series o lotes en los procesos finales de montaje o procesos reguladores evita realizar muchos cambios, pero esto crea serios problemas en el resto del flujo de valor (Lasa, 2007). Los grandes lotes hacen difícil el servir a clientes que desean algo diferente a la serie que se está produciendo en el momento. Esto se traduce en requerimientos de más stock de producto terminado y mayor periodo de maduración.

Existen diversas maneras de evitar la situación anterior, y una de las formas más efectivas de evadir dicho efecto consiste en realizar un mix de producción lo más nivelada posible en el proceso regulador. Nivelar el mix de producción no es más que producir en pequeños lotes, manteniendo las variantes de los componentes a disposición en la sección de montaje e incrementando el número de cambios (Ver ejemplo de la Figura 3-9).

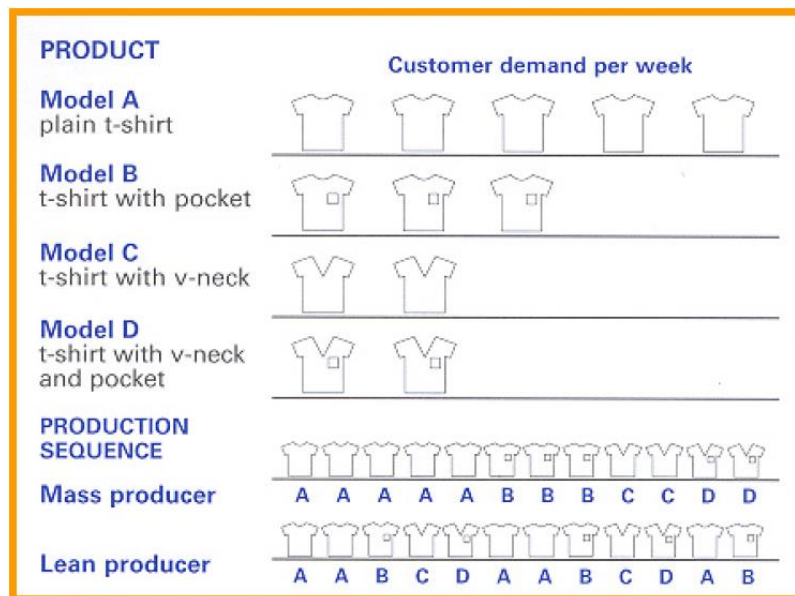


Figura 3-9: Nivelación del mix de producción. (Lasa, 2007)

3.4.5 Nivelar el volumen de producción

Nivelar el volumen de producción significa desencadenar la producción encargando y retirando en el proceso regulador unidades de trabajo pequeñas y consistentes. Trata de que la frecuencia de tiempo de gestión, la cantidad de trabajo que se encarga cada vez y el tiempo dedicado al control de la producción sean mínimos (Rother & Shook, 1999). Muchas empresas encargan lotes grandes de trabajo a los procesos de planta, lo cual causa diversos problemas de planificación y organización del trabajo, los principales problemas detectados por (Lasa, 2007) se detallan en la Figura 3-10.

- No hay ni sentido de takt time ni pull con el que responder.
- El volumen de trabajo se encarga de manera aleatoria con picos y valles que causan caos en máquinas, trabajadores y supermercados.
- La situación se hace difícil de monitorizar: ¿adelantados o retrasados?
- Con tal cantidad de trabajo cada proceso tiende a secuenciar las ordenes por su cuenta, lo cual incrementa el periodo de maduración o lead time y la necesidad de expedir ordenes.
- Responder a cambios en requerimientos de clientes se vuelve muy complicado.

Figura 3-10: Problemas de encargar grandes lotes de producción.

Elaboración propia adaptado de (Lasa, 2007)

Establecer un ritmo de nivel de producción crea un flujo de producción predecible, el cual da la alarma sobre los problemas y habilita tomar rápidas acciones correctoras. Así como no se debe manejar material en grandes lotes, tampoco se deben lanzar las ordenes en grandes lotes.

Una de las herramientas para la nivelación de mix y de volumen es el panel de nivelación de carga denominado Heijunka (ver Figura 3-11)



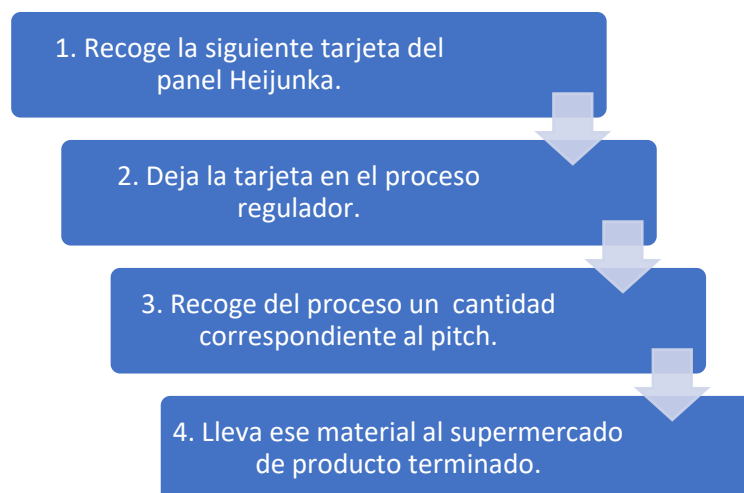
Figura 3-11: Panel Heijunka. (Lasa, 2007)

El panel Heijunka o caja de nivelación, es una herramienta que se puede emplear para nivelar la mezcla y el volumen de producción distribuyendo tarjetas en la planta a intervalos fijos (Tapping & Shuker, 2002).

En la Ilustración anterior, cada fila representa un tipo de producto mientras que cada columna representa intervalos de tiempo idénticos para una retirada rítmica de tarjetas. En este caso expuesto anteriormente, el turno de trabajo comienza a las 7:00 y la retirada se da cada 20 minutos por el carretillero, quien distribuye las tarjetas entre los procesos de producción de las planta.

En el mismo ejemplo, el pitch correspondiente al producto A es de 20 minutos, al B de 10 minutos y al C de 40 minutos; por otro lado los productos D y E comparten el mismo proceso con un pitch de 20 minutos. Como se ve, el panel es una vía para que las ordenes lleguen lo más niveladas y en el menor volumen de trabajo posible a las diferentes líneas de producción.

En la Figura 3-12 se muestra la labor del acarreador en un entorno con un supermercado de producto terminado. Cada pitch:



*Figura 3-12: Pasos Pitch a seguir.
Elaboración propia adaptado de (Lasa, 2007)*

Los kanban que se generan a partir de la retirada de los materiales del supermercado de producto terminado pueden ser reordenados por el programador en el mix adecuado antes de volver a situarlos en el panel Heijunka (Tapping & Shuker, 2002).

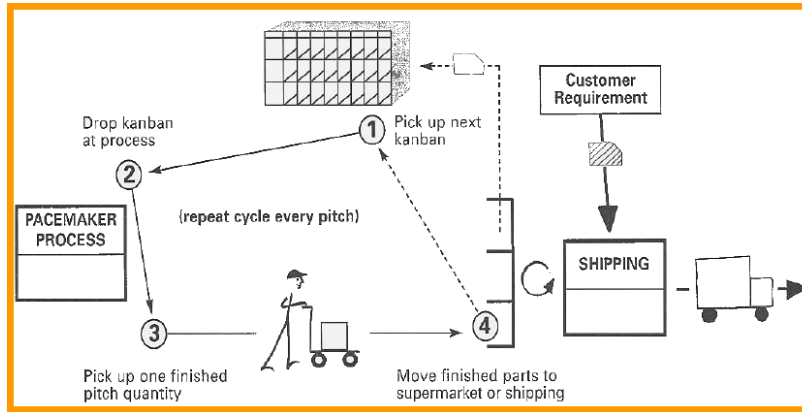


Figura 3-13: Ejemplo de funcionamiento del pitch mediante el panel Heijunka (Rother & Shook, 1999)

3.4.6 Mejorar las eficiencias de los medios productivos

Mejorar la flexibilidad y la eficiencia de los medios productivos es una de las respuestas para la reducción de costes y el aumento de los estándares de calidad de la empresa.

Para reducir el nivel de stock en curso, disminuir el efecto Bullwhip (imprecisión en la demanda) y reducir los periodos de maduración, la clave radica en responder con rapidez y en lotes pequeños a las necesidades de los procesos aguas abajo.

En definitiva, se trata de mejorar la eficiencia de los recursos productivos para invertir ese tiempo ganado en aumentar el número de cambios, trabajar con lotes mínimos y responder con más rapidez a las necesidades generadas.

3.5 Aportaciones del VSM

(Rother & Shook, 1999) afirman que el VSM cumple con las propiedades demandadas para una técnica de rediseño de sistema productivo y organizacional de la empresa. En su categorización de técnicas lean, (Lasa, 2007) subraya su gran potencial de cara a la mejora de sistemas productivos. Los argumentos se pueden resumir en:

- El análisis de la situación inicial está basado en la adquisición y tratamiento de datos numéricos y emplea un interfaz gráfico con el que se facilita la visión de los flujos de materiales y de información.
- La visión sistémica de cada familia de producto que refleja las ineficiencias del sistema.

- La aportación de un lenguaje común para el equipo y la unificación de conceptos y técnicas lean en un único cuerpo.
- La posibilidad de que el VSM suponga el punto inicial de un plan estratégico de mejora.
- Fuerza a que las decisiones sobre el flujo se visualicen y se puedan discutir, sin dejar que esas decisiones se den u ocurran por defecto.

Llegados a este punto, podemos concluir que el VSM se percibe como una herramienta práctica para el diseño y creación de entornos productivos flexibles y eficientes, mejorando el flujo de los recursos asociados a la cadena productiva y de información de la empresa.

4. Análisis del sistema de producción de la empresa

Llevando todo el marco teórico de los apartados anteriores a la práctica, a lo largo de este capítulo se realiza una breve introducción de la evolución de los materiales compuestos en la aeronáutica, ya que la utilización de estos ha supuesto la fabricación de aeronaves mucho más ligeras, eficientes y competitivas para el mercado.

Posteriormente, se describe el proceso de fabricación y se detallan las operaciones de la familia de Part Numbers que mayor demanda y facturación tiene para la empresa GAZC mediante el uso de la herramienta Value Stream Mapping, cuyos principales clientes son las compañías Airbus y Boeing.

4.1 Breve descripción de la empresa

El presente proyecto se desarrolla en la empresa GAZC (Grupo Aeronáutico Zona Centro) un fabricante líder de piezas mecanizadas para los principales OEM (fabricantes que se encargan de hacer un producto “en blanco”, o de marca blanca para después venderlo al público) y Tier1 (empresas fabricantes que cumplen una serie de características productivas y financieras que garantizan la solvencia a largo plazo). Gracias a su experiencia y tecnologías de vanguardia, GAZC ha ganado la confianza de los principales clientes a nivel global y el reconocimiento en la industria aeronáutica en todos los ámbitos empresariales.

GAZC comienza su actividad en el año 1999, trabajando desde sus inicios con las principales empresas nacionales del sector aeroespacial: Airbus y EADS-CASA (actualmente integrada en Airbus Military), confirmándose en estos 24 años como una sólida referencia en la fabricación y el montaje de piezas para esta industria.

Una vez consolidada su presencia en España, a partir del año 2006 apuesta fuerte por la vía de la internacionalización y hoy en día, el mercado exterior supone aproximadamente el 30% de su facturación, pero la compañía se ha marcado, como uno de sus retos más ambiciosos, llegar al año 2025 con un equilibrio cercano al 50-50% entre mercado nacional e internacional.

Con crecimientos anuales que han llegado a superar el 15% en los últimos años (antes de la pandemia COVID), GAZC ha tomado importantes decisiones estratégicas para

mantener esta línea ascendente (ver Figura 4-1). Y aunque en los últimos dos años se ha visto afectada la evolución de las ventas de la empresa debido al coronavirus, se prevé un crecimiento gradual para los próximos años por la creciente demanda de materiales compuestos de Airbus y Boeing.

Una de las decisiones estratégicas para continuar su crecimiento ha sido la creación de GAZC Sevilla Mecanizados, previa adquisición de una empresa sevillana con la que venía manteniendo una relación comercial desde hacía tiempo, ganado en proximidad con su principal cliente, Airbus.



Figura 4-1: Ventas de la empresa en los últimos años.

También en Sevilla, en el mismo Parque Aeronáutico, GAZC abre en el año 2013 una nueva planta, en la que desarrolla una de las líneas de negocio que más está potenciando actualmente, el montaje estructural, apoyada además por unas nuevas instalaciones de tratamiento superficial, anexas a su sede central de Getafe, con las que GAZC ha cuadruplicado su capacidad operativa en este tipo de trabajos, logrando así una mejor posición competitiva en el mercado.

4.2 Los materiales compuestos en la aeronáutica actual

En los últimos años, debido al incremento del tráfico aéreo, la búsqueda de aeronaves eficientes, ligeras y con gran capacidad se han convertido en los principales retos a los que se enfrenta la industria aeronáutica. Conseguir materiales con propiedades de resistencia del orden de los metales y con un peso tres veces menor ha sido posible gracias al uso de los materiales compuestos o composites.

La definición de material compuesto a escala macroscópica se corresponde a una combinación de dos o más materiales con interfases de separación entre ellos para formar uno nuevo, el cual presenta las propiedades que los constituyentes no tienen por separado. De esta forma, mediante la fusión de dos materias primas químicamente independientes, se puede obtener un componente nuevo de forma artificial.

No se consideran materiales compuestos las aleaciones metálicas. En la Tabla 4-1 se reflejan las principales propiedades de los metales usualmente empleados en aeronáutica, así como los compuestos más utilizados. En el caso concreto del mecanizado, la empresa trabaja mayoritariamente el aluminio con aleaciones de otros compuestos, aunque también realiza piezas con otros materiales como el titanio, aceros inoxidable y materiales no metálicos.

Los materiales compuestos pueden clasificarse en términos generales en dos grandes grupos: materiales reforzados con fibra y materiales reforzados con partículas. Siendo estos últimos poco utilizados en la industria aeronáutica.

Tabla 4-1: Propiedades de los materiales metálicos y compuestos.

Fuente Airbus

Material	Fración en volumen de fibra (V_f) (%)	Módulo de elasticidad (E) GPa	Resistencia a la tracción (τ_u) (GPa)	Densidad (ρ) (g/cm ³)	Modulo específico (E/ ρ)	Resistencia específica (τ_u/ρ)
Acero	-	210	0.45-0.83	7.8	26.9	0.058-0.106
Aluminio 2024-T4	-	73	0.41	2.7	27.0	0.152
Aluminio 6061-T6	-	69	0.26	2.7	25.5	0.096
Vidrio(E) - Epoxy	57	21.5	0.57	1.97	10.9	0.26
Kevlar 49 - Epoxy	60	40	0.8	1.4	29.0	0.57
Carbono -Epoxy	60	83	0.97	1.54	53.9	0.63

En cuanto a los materiales compuestos reforzados con fibra, estos están formados por dos elementos bien diferenciados, la fibra y la matriz. La fibra hace referencia al material

responsable de la resistencia y la rigidez. Se caracteriza porque una de sus dimensiones, la longitud, es mucho mayor que las otras dos.

La matriz corresponde al material base donde se introducen las fibras y que las unifica. De esta forma, se transfiere la carga y se crea el material compuesto. El composite estará formado por un porcentaje de fibra y uno de matriz.

Una de las características más importantes de los materiales compuestos está relacionada con la orientación de las fibras. En función de la disposición de estas, van a obtenerse mejores propiedades en unas determinadas direcciones. En la dirección longitudinal de las fibras se encuentra la dirección más resistente (dirección 1) y en el transversal la menor (dirección 2).

Si se quiere fabricar un compuesto que presente una resistencia a una combinación de esfuerzos (tracción, flexión, torsión), será necesario combinar las orientaciones de las láminas que generarán el laminado completo, es por ello por lo que el proceso de fabricación de material compuesto presenta una dificultad extra.

Por otro lado, una de las extraordinarias ventajas de los materiales compuestos es la gran reducción de peso que permiten en las estructuras. Este hecho ha conllevado a que, pese al alto coste y dificultad en su fabricación, la industria aeronáutica haya apostado por ellos desde finales de los años 70. Innovando e investigando cada día para conseguir fabricar estructuras más ligeras y resistentes en comparación a la densidad de sus materias primas.

En la Figura 4-2, se muestra la evolución que ha tenido la introducción de los materiales compuestos en las aeronaves desde su inicio hasta la actualidad.

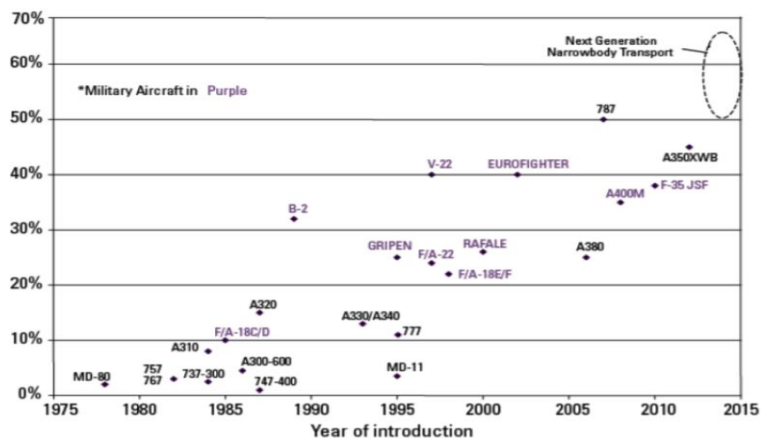


Figura 4-2: Evolución del porcentaje de material compuesto en la estructura de las aeronaves

Fuente: Teal group, Boeing, Airbus, Composite Market Reports.

Concretamente, el fabricante Airbus ha superado a su principal competidor, Boeing, en el uso de materiales compuestos en sus aeronaves. Tanto los diseños como los procesos de fabricación han ido evolucionando hasta conseguir en aviones como el Airbus A350 XWB que el 53% de su estructura esté construida en fibra de carbono, incluyendo tanto los winglets como el fuselaje al completo. Este modelo ha superado a su competidor el Boeing 786 Dreamliner, cuyo porcentaje de peso en carbono es del 50%.

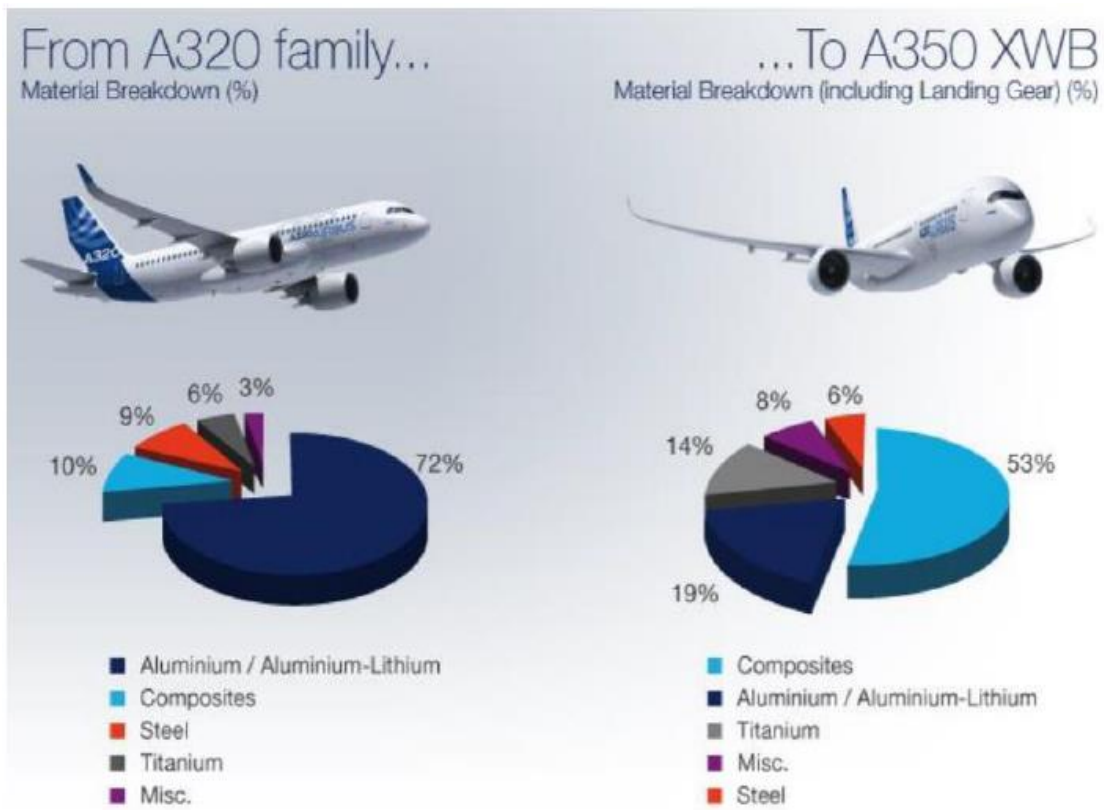


Figura 4-3: Porcentaje en peso de material compuesto en Airbus A320 y A350 XWB

Fuente: Airbus Global Market Forecast 2019-2038

La combinación de materiales utilizados en la fabricación abarca un amplio rango en función de las cargas que soporten y el coste que requieran. La industria aeronáutica se ha caracterizado siempre por invertir en materiales innovadores, pese al alto coste que estos presenten. Por ello, las estructuras de aviones fabricadas mediante materiales compuestos en la actualidad contienen, en su gran mayoría una combinación de los materiales mostrados en las Figura 4-3 y Figura 4-4.

Carbono/epoxy (CFRP):	<ul style="list-style-type: none"> • Suele utilizarse como material estructural y para componentes primarios.
Kevlar/epoxi (AFRP):	<ul style="list-style-type: none"> • Se utiliza principalmente en aplicaciones militares, para la fabricación de estructuras primarias y chapadas.
Fibra de vidrio:	<ul style="list-style-type: none"> • Se utiliza como material estructural, en tuberías para sistemas lubricados y en revestimientos.
Vidrio/fenólico (GFRP):	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizado en accesorios interiores, mobiliario y estructuras secundarias.
Boro/epoxi:	<ul style="list-style-type: none"> • Se utiliza para parches de reparaciones y en estructuras compuestas más antiguas. Actualmente está siendo reemplazado por el carbono/epoxy (CFRP).

Figura 4-4: Combinación de materiales compuestos utilizados en la actualidad

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4-5 se muestran los componentes fabricados con diferentes materiales compuestos en la aeronave comercial más vendida.

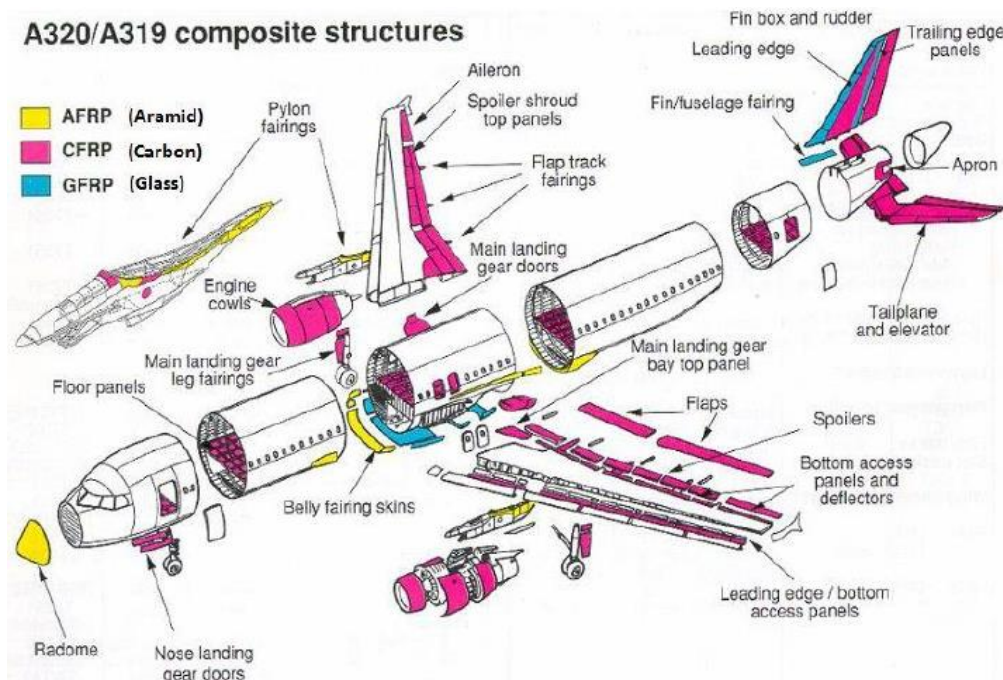


Figura 4-5: Estructuras fabricadas con material compuesto en Airbus A320/A219.

Fuente: Teal group, Boeing, Airbus, Composite Market Reports.

4.3 Descripción del proceso productivo actual

En el siguiente epígrafe se pretende dar una visión **detallada** del flujo productivo a través del VSM actual, aplicando las distintas etapas por las cuales transita esta técnica Lean explicadas en el capítulo anterior, permitiendo priorizar la acción de mejora futura y comprobando asimismo el correcto cumplimiento con respecto a la demanda y que deje a la vista al mismo tiempo las posibles dificultades para satisfacerla.

Antes de iniciar un proceso de implantación de Lean Manufacturing, es necesario cartografiar la situación actual, mostrando el flujo de material y de información que permita identificar todas las actividades que ocurren a lo largo de un flujo de valor para un producto o familia de productos, la Figura 4-6 nos ayuda a entender de forma global cómo podría llevarse a cabo un VSM que englobe a todos los actores que intervienen en el flujo productivo.

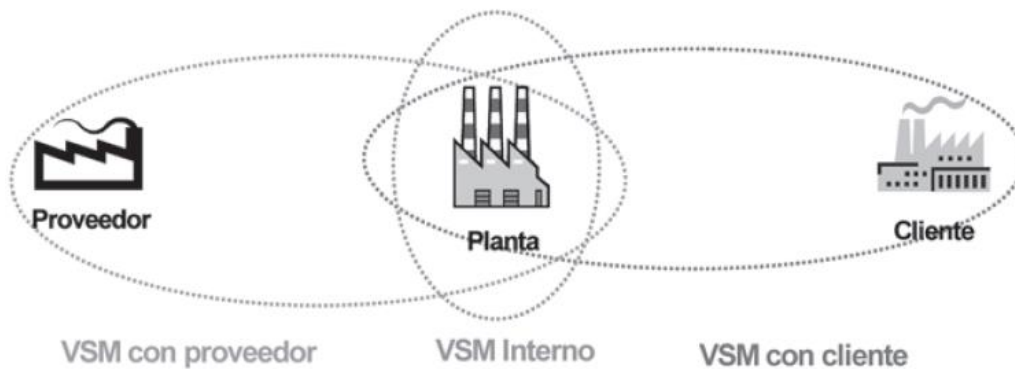


Figura 4-6: Desarrollo visual del VSM global

Fuente: "Lean Manufacturing: Evidencia de una necesidad"

Usualmente, los ejercicios existen para ejemplificar un Value Stream Mapping se basan en procesos productivos sencillos y lineales donde una única familia de productos pasa por las mismas etapas de transformación de material y de información.

4.3.1 Creación del equipo

Esta etapa se abrió mediante la vía de una reunión con los participantes de cada etapa del proceso que intervienen en el flujo productivo y en la que también estuvo presente algún otro miembro de la empresa si así se consideró oportuno.

El método de recogida de datos consistió en la observación del proceso y las entrevistas y reuniones realizadas con el equipo de trabajo (ver Tabla 4-2). Para ello se conforma un

equipo compuesto por los encargados de cada Departamento que intervienen en el proceso productivo para ir detallando el flujo de la cadena del valor.

Hay que destacar que desde el primer momento hubo una buena acogida para el diseño del VSM actual, pues en la empresa hay una cultura ya preestablecida acerca del Lean Manufacturing y sus beneficios para la empresa. Hay que tener en cuenta que el participante por cada Departamento correspondía con un rango suficientemente alto y con la máxima responsabilidad en cuanto al proyecto que se desarrolla.

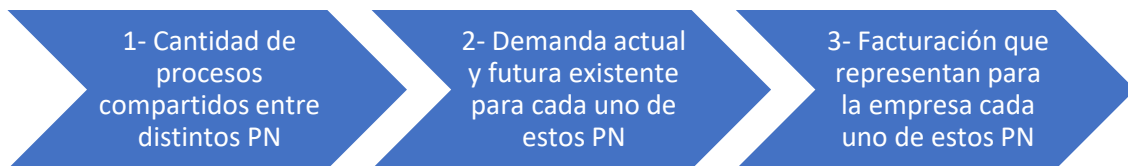
Tabla 4-2: Equipo multifuncional por Dpto.

<i>Departamento</i>	<i>Responsable</i>
Ingeniería	Dirección
Logística	Técnico de suministro
Compras	Dirección
Producción	Jefe de producción

4.3.2 Elección de la familia de productos

En general se deberían analizar las familias de productos a partir del cliente en la cadena de valor, considerando como familia cualquier grupo de productos que pase por etapas similares y equipos comunes. Hay que recordar que el mapeado se enmarca en el flujo del valor de una familia de productos en concreto, por tanto las mejoras que se proponen a partir del estudio y diseño del Value Stream Mapping actual van orientadas a agilizar el flujo de dicha familia.

La elección de la familia de productos en este caso se ha elegido teniendo en cuenta los siguientes criterios de selección:



Una vez seleccionada la familia de productos, comienza el mapeado de la situación inicial. El proceso de mapeado requiere y se basa principalmente en la recolección de los datos referentes a los diferentes procesos productivos.

La toma de datos se lleva a cabo en aquellos procesos y puntos incluidos en los límites internos del sistema productivo de la planta, es un estudio que se desarrolla siguiendo la ruta de la familia de productos seleccionada desde su entrada en planta como materia prima hasta su salida de como producto terminado, es decir, un análisis puerta a puerta.

PN	Procesos	Demanda 2023-2024	Facturación	Conjunto
65N2548	1-2-3-4-6-7-8-10-12	Normal	Alta	FAMILIA DE PRODUCTOS
65N2190	1-2-3-4-6-7-8-10-12	Normal	Alta	
65N7514	1-2-3-4-6-7-8-10-12	Normal	Alta	
D312587	1-2-3-5-6-7-9-10-11-12-14-15-17-18-20	Baja	Alta	FAMILIA DE PRODUCTOS
D319087	1-2-3-5-6-7-9-10-11-12-14-15-17-18-20	Baja	Alta	
MN239878	1-2-3-5-6-7-8-10-11-12-14-15	Normal	Media	FAMILIA DE PRODUCTOS
MN676543	1-2-3-5-6-7-8-10-11-12-14-15	Normal	Media	
MN109087	1-2-3-5-6-7-8-10-11-12-14-15	Normal	Media	
421B648	1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16	Crítica	Muy alta	FAMILIA DE PRODUCTOS
421B245	1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16	Crítica	Muy alta	
421B514	1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16	Crítica	Muy alta	
421B202	1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16	Crítica	Muy alta	

Tabla 4-3: Criterios para agrupar los PN por familia de productos.

Fuente: Elaboración propia

Para el desarrollo de este trabajo, los PN que empiezan por la numeración 412B han sido los seleccionados para analizar el proceso productivo que sigue y proponer mejoras en el flujo de la cadena del valor, ya que constituye la familia de productos que tienen una mayor demanda (Crítica), el mayor nivel de facturación para la empresa (Muy alta) y además siguen la misma secuencia en la cadena de flujo, tal y como se puede observar en la Tabla 4-3.

Esta familia de PN está compuesta principalmente por Aluminio (90%) y materiales compuestos varios (10%) para la fabricación de partes y piezas de la familia de aviones A320. Hay que destacar que por la protección y confidencialidad de los datos, se han cambiado los nombres de los PN reales y se han establecido niveles de demanda y facturación cualitativos a partir de los datos reales cuantitativos que tiene la empresa.

4.3.3 Situación inicial de la familia de productos seleccionada

Una vez elegido el producto, pasamos a determinar cuál es la situación actual de la organización para el desarrollo de la familia de PN seleccionados. Para abordar el estado existente de estos PN se elabora el flujo del valor actual a través de la información recogida en las diferentes áreas de la empresa y observando cómo se desarrolla el proceso de mecanizado de estas piezas.

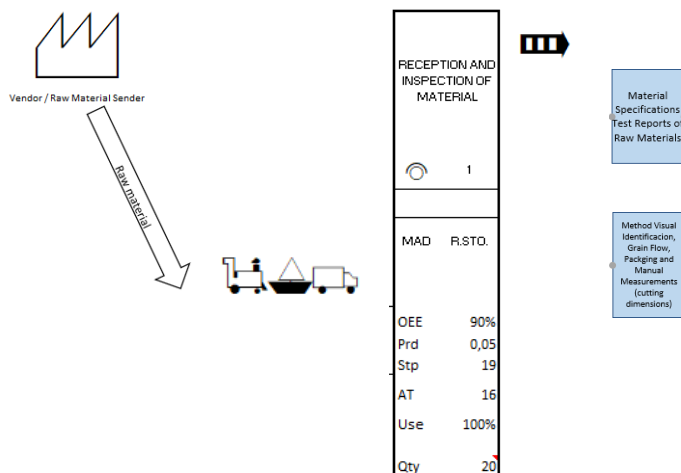
Se sigue el flujo de materiales y de información a través de los diferentes departamentos por los cuales transita el material, desde el área de compras hasta logística, pasando por las plantas de fabricación y montaje. Se ha utilizado para ello la simbología VSM empleada por Airbus (estándar para el sector aeronáutico en España), de acuerdo con la metodología descrita en el Capítulo 3.

Para la elaboración de este flujo del valor actual, se toma como base los procesos elaborados por el departamento de Ingeniería a través del Flow chart que siguen estos materiales a lo largo de la cadena de suministro, además de las diversas reuniones y entrevistas (informales) con los responsables de cada operación. En los ANEXOS I y II se muestra el Flow chart para estos PN, así como el VSM elaborado a partir de la situación actual que describimos a continuación.

4.3.3.1 Descripción de los procesos

El proceso comienza con el pedido de compra por parte de GAZC a la empresa proveedora de materiales compuestos y continúa “aguas arriba” hasta el cliente final. Las fases del proceso se representan en diferentes categorías como son: recepción, mecanizado, verificación, montaje, almacenamiento, etc., utilizando el formato de "Análisis del flujo de proceso".

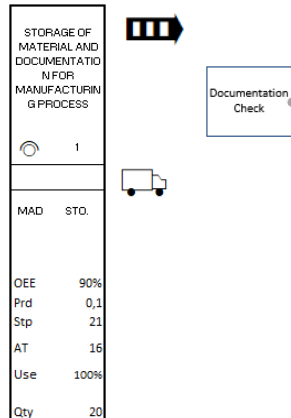
1. **Recepción e inspección del material:** El primer paso en el proceso de producción del PN es la entrada de la materia prima en la planta. Los materiales se importan desde un proveedor externo que siguen las normas de calidad para la fabricación de este tipo de compuestos (especificaciones dadas por Boing a nivel internacional) y se transportan en tren, después en barco y por último en camiones containers hasta llegar al área de verificación de materias prima de la empresa. Una vez el producto llega a



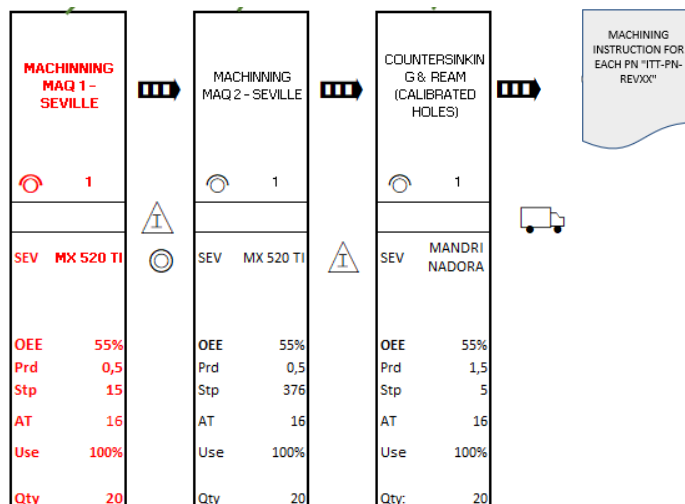
planta, se le realiza una inspección de calidad para comprobar que cumpla con los estándares de inspección (Raw material test reports).

2. Almacenaje y preparación de documentación para el proceso de mecanizado:

Esta operación consiste en almacenar la materia prima verificada en el punto anterior para su posterior envío a la planta de mecanizados de Sevilla GSM.



3. Mecanizado: La operación de Mecanizado para esta familia de PN se realizan en máquinas Fresadoras y se dividen en 3 operaciones diferentes (3, 4, 5) que se explican a continuación, cada una de ellas siguiendo estándares establecidos de dimensiones y tolerancias de acuerdo con las normas europeas de fabricación de piezas para el sector aeronáutico:

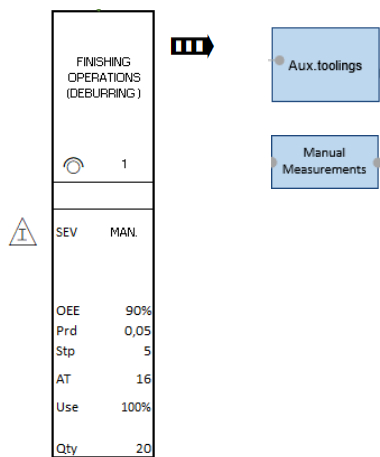


3. Corte y Rebaja: consiste en ajustar las dimensiones de la pieza a los estándares establecidos por el cliente en máquinas de gran tamaño que utilizan brocas. Esta operación constituye el cuello de botella del flujo productivo porque es donde más recursos y mayor tiempo se emplea en agregarle valor al producto.

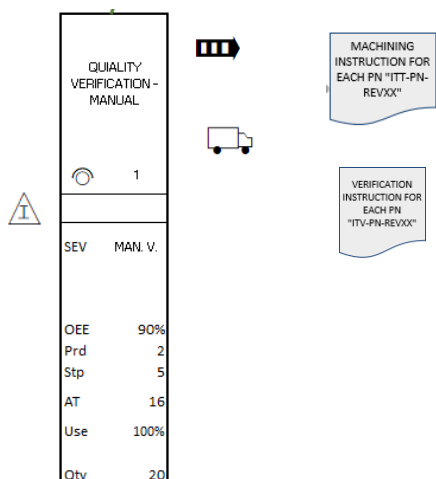
4. Perforación: Una vez se corta y se rebaja la pieza, pasa a la operación de Drilling, que no es más que crear un agujero en el material utilizando la fresadora en máquinas más pequeñas.

5. Avellanado: Esta operación crea un agujero cónico con máquinas mandrinadoras que permite que un tornillo o perno se inserte en él y quede a ras de la superficie.

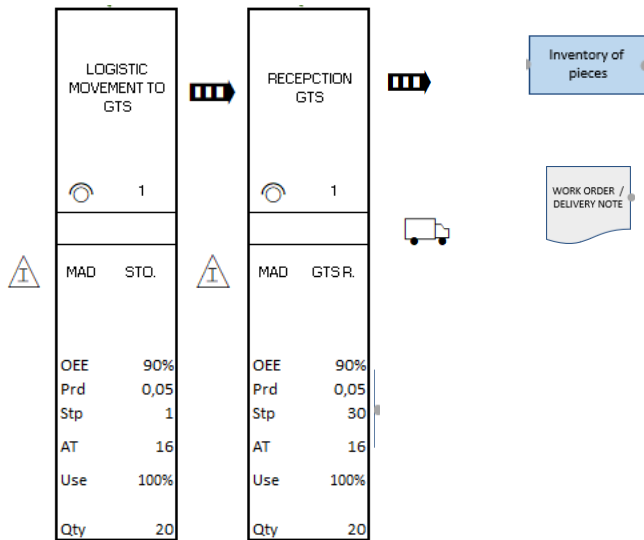
6. Repaso: Una vez concluidas las operaciones de mecanizado, las piezas se transportan al área de Repaso mediante carretillas elevadoras. En esta área se repasan las piezas de forma manual con herramientas auxiliares y se le da el toque final de acuerdo con las instrucciones técnicas de trabajo de cada orden.



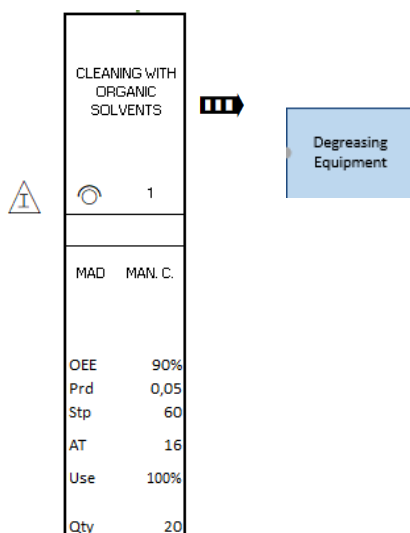
7. Verificación: Una vez concluida la operación de repaso, las órdenes de trabajo (OF) se trasladan con carretillas elevadoras al área de Verificación. En esta área se chequean las dimensiones de la pieza, los ángulos, los agujeros, los radios, el espesor, etc., todo ello mediante manuales de calidad.



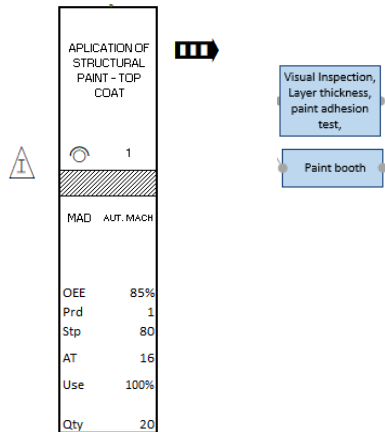
8. Empaquetado y traslado a la planta de tratamiento superficial: Siguiendo el flujo productivo, una vez se verifica y se embala el material en Sevilla, se traslada en camiones containers hacia la planta de tratamiento superficial en Madrid, siguiendo las indicaciones técnicas de embalaje y movilidad de acuerdo con los estándares de Boing.



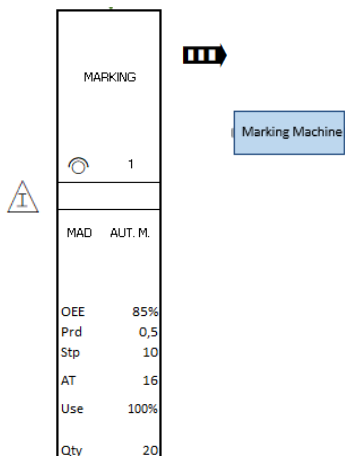
9. Limpieza manual: Una vez esté el material almacenado, se despacha al área de tratamiento superficial donde se realiza primeramente una limpieza con solventes orgánicos para proteger la superficie de la pieza y poder aplicar la pintura, esta operación se realiza de forma manual con un equipo desengrasante.



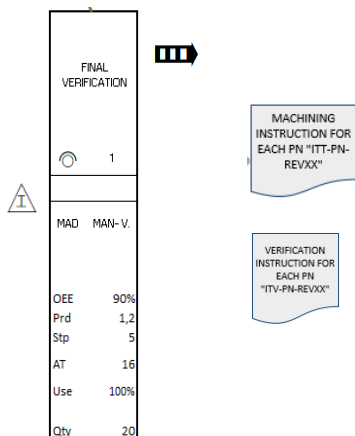
10. Aplicación de estructuras de pintura: Una vez las piezas son almacenadas, se trasladan hacia el área de pintura para aplicarle las capas de protección al material mediante estructuras sellantes.



11. Enmarcado: Terminada la operación anterior y ya las piezas estén secas, se realiza la operación de enmarcado, donde se “marcan” las piezas para garantizar la trazabilidad y la integridad mecánica del material mediante tecnología láser.

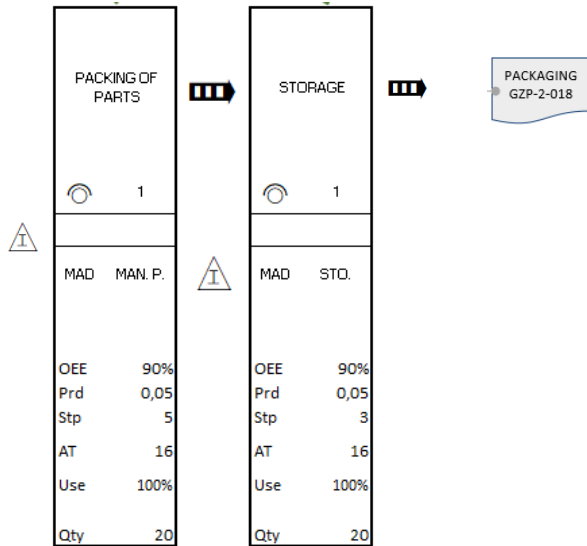


12. Verificación final: Concluidas las operaciones de mecanizado y montaje, las piezas pasan al área de verificación, donde los operarios realizan de manera visual la

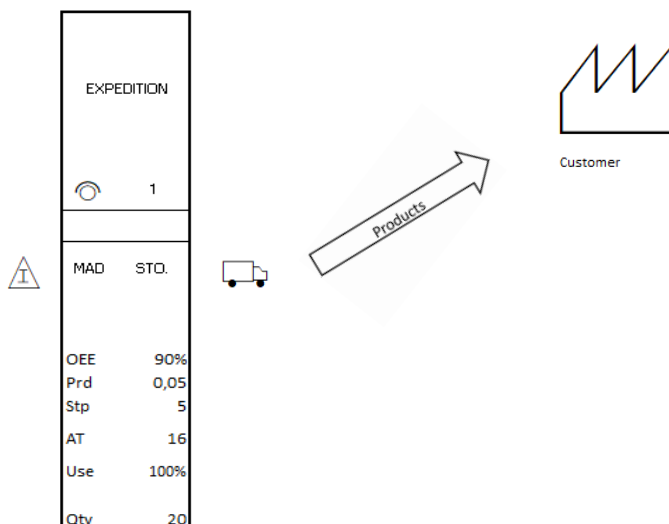


inspección de cada pieza siguiendo las instrucciones de calidad de las órdenes de trabajo.

13. Empaquetado y Almacenamiento: Cuando la orden de trabajo se encuentra verificada en su totalidad, se realiza el empaquetado de toda la orden (en pallets) y se coloca en el almacén de productos terminado para enviarlo al cliente.



14. Expedición: En esta operación se realiza el envío del pedido de compra al cliente una vez se haya comprobado toda la documentación referente al envío, la consolidación y ordenación de la mercancía. El transporte es asumido por GAZC de acuerdo con lo acordado con el cliente mediante camiones containers.



4.3.3.2 Hoja de datos del proceso

En la Tabla 4-3 se muestran los datos asociados a cada parte del proceso con su operación correspondiente.

	Área/Planta	OEE (%)	Tiempo de proceso (min)	Tiempo preparación (min)	Tiempo disponible (hrs)	Cantidad de material (uds)	Número de Operarios	Número de Turnos/horas	Número de máquinas
1	Almacén/ Madrid	90	0,05	19	16	20	1	2/16	-
2	Almacén/ Madrid	90	0,1	21	16	20	1	2/16	-
3	<u>Mecanizado/</u> <u>Sevilla</u>	<u>55</u>	<u>0,5</u>	<u>15</u>	<u>16</u>	<u>20</u>	<u>1</u>	<u>2/16</u>	<u>1</u>
4	<u>Mecanizado/</u> <u>Sevilla</u>	<u>55</u>	<u>0,5</u>	<u>376</u>	<u>16</u>	<u>20</u>	<u>1</u>	<u>2/16</u>	<u>1</u>
5	<u>Mecanizado/</u> <u>Sevilla</u>	<u>55</u>	<u>1,5</u>	<u>5</u>	<u>16</u>	<u>20</u>	<u>1</u>	<u>2/16</u>	<u>1</u>
6	Mecanizado/ Sevilla	90	0,05	5	16	20	1	2/16	-
7	Mecanizado/ Sevilla	90	2	5	16	20	1	2/16	-
8	Montaje/ Madrid	90	0,1	31	16	20	1	2/16	-
9	Montaje/ Madrid	90	0,05	60	16	20	1	2/16	-
10	Montaje/ Madrid	85	1	80	16	20	1	2/16	1
11	Montaje/ Madrid	85	0,5	10	16	20	1	2/16	1
12	Almacén/ Madrid	90	1,2	5	16	20	1	2/16	-
13	Almacén/ Madrid	90	0,1	8	16	20	1	2/16	-
14	Almacén/ Madrid	90	0,05	5	16	20	1	2/16	-
Total		82	7,7	645			14		5

Tabla 4-4: Hoja de datos del proceso. Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en el Anexo II el diseño realizado para conformar el VSM actual, el cual muestra el flujo productivo y de información existente en la empresa para la familia de PN analizados en este proyecto, ubicando el OEE más bajo de todo el flujo en el proceso de mecanizado en la planta de Sevilla, que es donde centraremos nuestros esfuerzos para aumentar dicho indicador y optimizar todo el flujo de producción.

Hay que aclarar que el OEE (Overall Equipment Effectiveness) es un indicador que se refiere a la eficiencia general de cada operación-equipo. Se calcula a partir de una estimación del producto de tres parámetros: disponibilidad, rendimiento y tasa de calidad.

Tal y como se puede observar en el mapa inicial, para un contenido de trabajo por pieza de aproximadamente un minuto por operación, el tiempo de permanencia en el sistema ronda los 112 días sumando los aproximadamente 15 días que demora la materia prima en llegar a la planta de Madrid.

Considerando los puntos de mejoras futuras en cada proceso dentro del flujo de la cadena del valor actual, para el siguiente capítulo se analizan una serie de mejoras para el rediseño del VSM futuro.

5. Implementación de mejoras y análisis de resultados

Durante los últimos meses de trabajo dentro del departamento de proyectos y mejora continua, ha sido posible conocer de forma precisa y detallada aquellas situaciones generadoras de retrasos e ineficiencias en el flujo productivo. A lo largo del presente capítulo se proponen soluciones para solventar de manera eficiente y efectiva todas estas dificultades para la familia de PN analizados.

El objetivo del siguiente capítulo es asignar las herramientas más adecuadas para mitigar cada problema, justificando su elección y comprobando cómo la fusión de algunas conlleva a un aumento de la efectividad y eficiencia del flujo productivo y la cadena de valor dando paso al mapeado del VSM futuro.

Las técnicas empleadas para el diseño del VSM futuro se enfocan en la planta de mecanizado de Sevilla y los procesos de almacenamiento. Estas técnicas bien podrán aplicarse a todas las familias de PN para todo el flujo productivo (con previo estudio de la situación que generen) o a una fase específica dentro del proceso actual de fabricación.

5.1 Actuaciones de mejora y optimización del proceso

Para la implementación del plan de acción de mejora continua (KAISEN) se establece un equipo temporal multifuncional conformado por un Team Leader (ver Figura 5.1-1), que será el responsable de analizar y proponer acciones de mejora en algún aspecto concreto, apoyado fundamentalmente en el equipo con el objetivo de eliminar el despilfarro y en consecuencia aumentar la productividad de la planta.

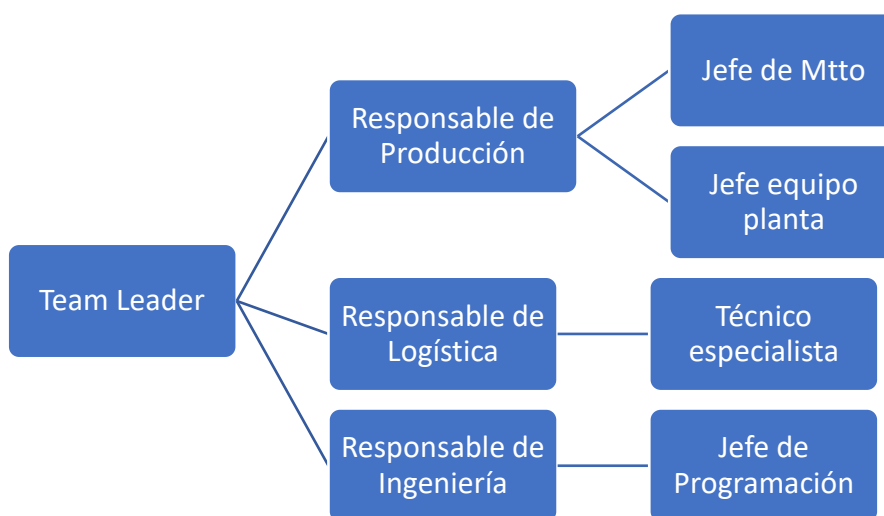


Figura 5-1: Equipo temporal multifuncional. Elaboración propia.

En función del análisis previo en el capítulo anterior, se decide trabajar en las siguientes líneas:

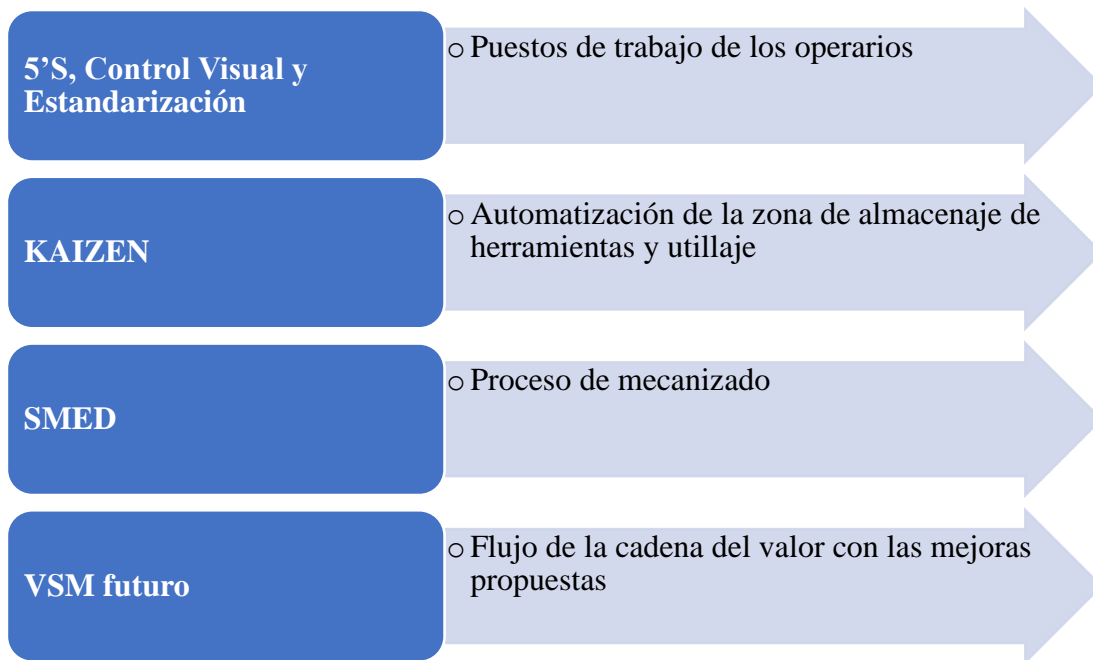


Figura 5-2: Propuestas de desarrollo de mejoras

5.1.1 Control Visual, 5'S y Estandarización

➤ Puestos de trabajo de los operarios:

En los recorridos por planta que realizan diariamente los miembros del equipo multifuncional, se detecta que no está estandarizada la organización en los puestos de trabajo y que los operarios no tienen bien claro la operativa a seguir para mantener su lugar limpio y ordenado. Para ello se proponen la técnica 5'S, esclarecida de la siguiente manera:

- I. Seiri: clasificar. Se clasifican todos los elementos de las mesas de trabajo del operario y cada utensilio va a su sitio respectivo y lo que no se utiliza con frecuencia, se desecha.
- II. Seiton: orden. Se establecen pautas y reuniones con los operarios para concientizar el mantener los puestos de trabajo limpios y ordenados.
- III. Seiso: limpiar. Se limpia toda la zona y quedan perfectamente identificadas las estanterías (cajones) de cada puesto de trabajo.
- IV. Seiketsu: estandarizar. Se colocan cartelerías en cada máquina que asegure la estandarización de esta técnica y su correcto cumplimiento en cada turno de

trabajo, asegurando que los operarios revisen su puesto en la entrada y salida del turno.

V. Shitsuke: sostener (autodisciplina). Como primera medida para la sostenibilidad de esta forma de trabajo, se establecen auditorías semanales durante los dos primeros meses, pasando a mensuales a partir del tercero.



Figura 5-4: Puestos de trabajo antes



Figura 5-3: Puestos de trabajo después

5.1.2 Kaizen

✓ Zona de almacenaje de herramientas y utillaje:

En la planta de mecanizados de Sevilla, esta área se emplea para almacenar las herramientas y útiles necesarios para el proceso de mecanizado. La situación actual en esta zona es la siguiente:

- Falta de automatización en las estanterías, lo que provoca demoras innecesarias en el transporte de los útiles dedicadas a la fabricación de las piezas.
- No estandarización de una zona para el almacenamiento de herramientas y útiles que se emplean para el proceso de mecanizado.

Los maquineros encargados de transportar estos utensilios y herramientas tardan como promedio 30 min para llenar el carro y llevarlos hasta las máquinas, ya que estos materiales no están organizados en una sola sección.

En la Tabla 5-1 se muestran los tiempos promedios que tarda el maquinero en preparar los Útiles-Herramientas por cada PN de la familia estudiada.

PN	Tiempos preparación Utillaje (min)	Tiempos preparación Herramientas (min)	TOTAL (min)
421B648	14	13	27
421B245	17	17	34
421B514	14	15	29
421B202	15	15	30
PROMEDIO	15	15	30

Tabla 5-1: Tiempos de preparación Herramientas-Utillajes



Figura 5-5: Utillajes (planta superior)

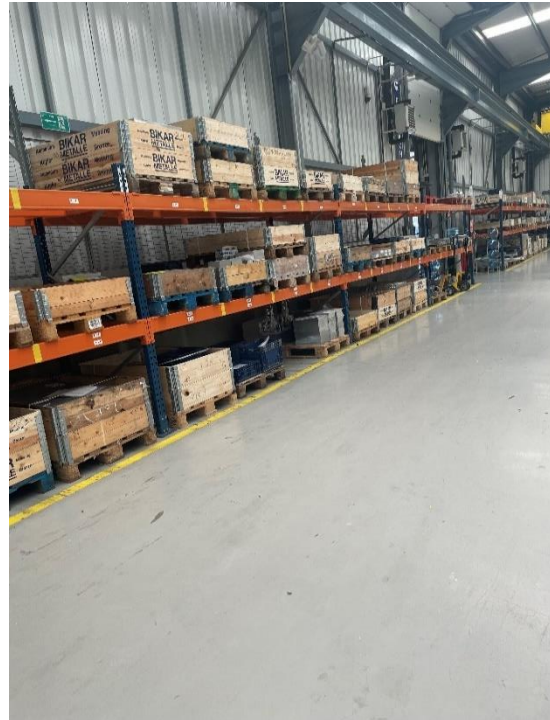


Figura 5-6: Herramientas (planta baja)

Como se puede apreciar, en los lugares destinados para el almacenamiento de estos materiales existe una adecuada organización, una limpieza profunda y una clasificación de acuerdo con el tipo de herramienta-útil a utilizar, por lo que no se plantea realizar en este punto 5'S.

Sin embargo, se propone instalar almacenes verticales (ver Figura 5-7) con la idea de depositar en un mismo sitio todos estos materiales, permitiendo los siguientes beneficios para la empresa:

- ✓ Reducción de los tiempos de preparación y puesta a punto en cada máquina.
- ✓ Reducir el manejo de los maquineros con productos pesados.
- ✓ Aumento de la seguridad de los trabajadores y los productos almacenados.
- ✓ Utilización de espacios muertos (parte superior).
- ✓ Mayor precisión en el manejo de los inventarios.
- ✓ Automatización del proceso de entrega de Herramientas y Utillajes.

En las reuniones de seguimiento y puesta en marcha de alternativas, se comienza el proceso de adquisición de estos almacenes verticales, dado que es una necesidad para la empresa reducir los accidentes laborales de los maquineros por concepto de manipulación de materiales (ver Tabla 5-2 del año 2021-2022), además de acortar los tiempos de preparación de las máquinas para el proceso de mecanizado (Tabla 5-1).

Actualmente estos almacenes están en proceso de implementación y puesta a punto (ver Figura 5-7). En un estudio realizado en conjunto con un equipo técnico del fabricante y técnicos de la empresa GAZC, se determina el tipo de almacén necesario de acuerdo con las necesidades detectadas (ver Figura 5-8), así como los complementos de consola-ordenador y el software de gestión Modula asociados ya a este módulo (ver Figura 5-9).

Tabla 5-2: Bajas de los maquineros por accidente laboral. 2021-2022

Maquineros de baja laboral	Días de baja total	Costo empresa
3	21	€ 3675.00



Figura 5-7: Almacenes verticales

Resaltar que cuentan con un sistema automatizado de localización de los materiales de acuerdo con las tipologías ya existentes en planta, datos que se almacenan en el ordenador que trae consigo, permitiendo la puesta a punto de las Herramientas-Utillajes en cuestión de 5 minutos (ver Tabla 5-3).

Modelo	Ancho bandeja (mm)	Profundidad bandeja (mm)	Altura perfil bandeja (mm)	Capacidad neta por bandeja (kg)	Dimensión en planta con bahía INTERNA (L x P mm)	Dimensión en planta con bahía EXTERNA (L x P mm)
ML25	4.100	654	70/120	250	4.517x2.556	4.517x3.246

Figura 5-8: Modelo de almacén que se va a emplear



CAPACIDAD MÁXIMA DE CADA BANDEJA: HASTA 990 KG POR BANDEJA



CONSOLA OPERADOR INDUSTRIAL COPILOT: 10,4 PULGADAS PANTALLA TÁCTIL



SOFTWARE MODULA WMS: PARA MANTENER TODO BAJO CONTROL



SEGURIDAD PARA LOS OPERADORES: ERGONÓMICO, SEGURO, CERTIFICADO TUV GS

Figura 5-9: Complementos del modelo ML25

PN	Tiempo de preparación de herramientas (min)	Tiempo de preparación de utillajes	TOTAL
Familia PN	2	3	5

Tabla 5-3: Estimaciones de los tiempos de preparación Herramientas-Utillajes



Figura 5-10: Materiales almacenados en la planta con el "Modula vertical"

5.1.3 SMED

Actualmente la producción en la fábrica de mecanizados GAZC se realiza de acuerdo con la demanda del cliente para esta familia de PN. ¿Cómo funciona? Lo explicamos de manera muy resumida en el flujograma de la Figura 5-1.

El cliente realiza el pedido al Dpto. de Compras y estos analizan la solicitud, si están de acuerdo, les envían el VSM (actual) y de acuerdo con las diversas negociaciones de costes

y tiempos estimados que se llevan a cabo, se llega a un convenio para fabricar la demanda estipulada y se comienza el proceso de fabricación de los materiales en la planta. El lote de piezas se fabrica de acuerdo con un Takt time calculado que determina el flujo productivo, pero solo a partir de las operaciones de montaje y sellante en Madrid.

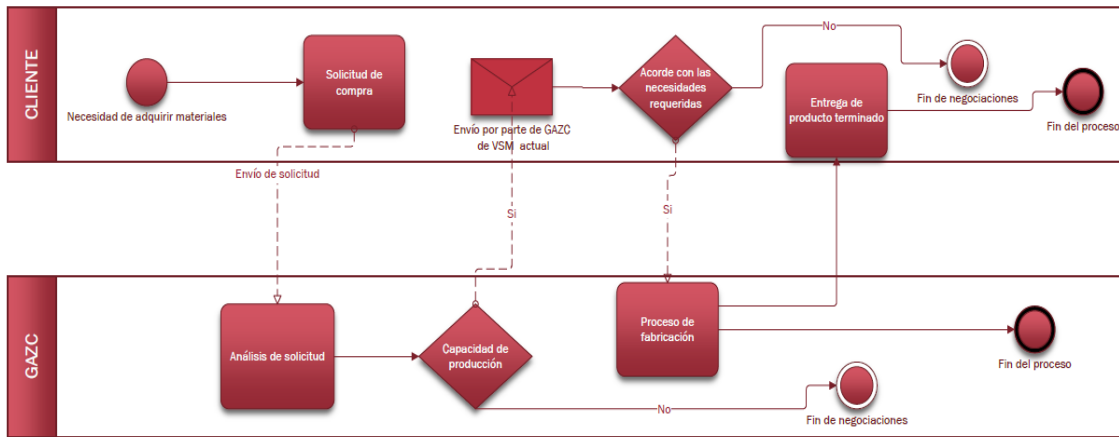


Figura 5-11: Flujograma básico del pedido de compra. Elaboración propia

5.1.3.1 Proceso de mecanizado

Siguiendo el flujo actual del mapa de valor para los PN seleccionados, el equipo multifuncional decide enfocar los esfuerzos en reducir el proceso del mecanizado de las piezas y optimizar los tiempos y los cambios de operaciones entre máquinas, ya que constituyen el cuello de botella de todo el proceso (más recursos se utilizan) y es donde más bajo se encuentra el OEE de todo el flujo de la cadena de valor (ver VSM actual).

La programación de mecanización actual para este tipo de piezas cuenta con tres posturas diferentes en 3 máquinas diferentes (ver Anexos III, IV, V) y la preparación de las órdenes de trabajo, los cambios de pieza y cambios de postura los realiza el propio operario de forma manual. Los tiempos reales para estas operaciones se detallan en la Tabla 5-4.

PN	Operario-Máquina	Preparación de nueva orden (min/lote)	Cambio de pieza (min/ud)	Tiempo mecanizado
Familia	M1	15	15	23
	M2	56	18	37
	M3	10	5	7
	<i>Total por lote (20 uds)</i>	<i>81</i>	<i>760</i>	<i>1340</i>

Tabla 5-4: Tiempos de operarios

Como se puede observar de la Tabla anterior, con el proceso actual de producción para estos PN el tiempo total del proceso de fabricación para un lote de 20 piezas, sumando

cada cambio de pieza, tiempo de mecanizado y una única preparación por lote, es de 2181 min (36 horas aproximadamente).

5.1.3.2 Relación entre la Calidad de las piezas-Mecanizado-Factor Humano

Para analizar de manera más detallada el impacto que tiene el proceso de mecanizado actual y la influencia del factor humano en las No Conformidades para la familia de PN estudiada, se sostuvieron varias reuniones con los responsables del Dpto. Calidad de la empresa y se detallaron los defectos de las piezas y las causas que originaban dichos desperfectos.

En la Tabla 5-5 se analiza el origen de los defectos y en el Diagrama Pareto de la Figura 5-13 se visualizan los porcentajes acumulados de estos defectos.

Descripción del Defecto	Conteo de órdenes	%	% acumulado
GZDMC_Proceso_de_Mecanizado	357	48,84%	48,84%
GZDES_Espesor	192	26,27%	75,10%
GZDDI_Diametros_interiores	139	19,02%	94,12%
GZDRA_Radios	12	1,64%	95,76%
GZDAV_Avellanados	9	1,23%	96,99%
GZDLN_Dimensión_lineal	7	0,96%	97,95%
GZDCH_Chafñan	5	0,68%	98,63%
GZDRS_Roscas	4	0,55%	99,18%
GZDGR_Defectos_Generales	4	0,55%	99,73%
GZDMP_Materia_Prima	2	0,27%	100,00%

Tabla 5-5: Análisis Defectos-Cantidad de órdenes para los PN estudiados

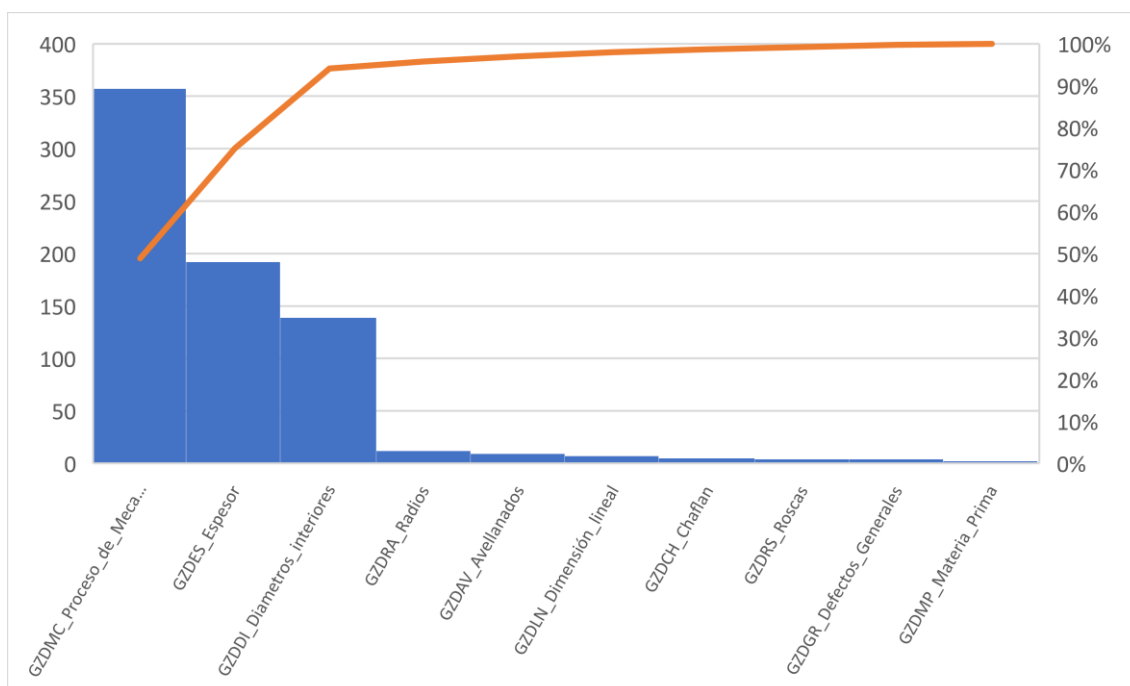


Figura 5-12: Pareto de Defecto-órdenes de trabajo

Como podemos apreciar del Pareto anterior, el proceso de mecanizado acumula casi el 50% del total de defectos encontrados en la familia de PN estudiado.

Las causas que originaron los defectos encontrados se analizaron de igual manera, en la Tabla 5-6 se observan las causas y en el diagrama Pareto de la Figura 5-14 se puede visualizar el porcentaje acumulado que corresponde con cada causa analizada. Como se observa, prácticamente el 50% de las causas son debido al Factor Humano y las ineficiencias del propio proceso de mecanizado.

Descripción de la causa	Cantidades de piezas No OK	%	% acumulado
GZCMC_Mecanizado	245	34%	33,89%
GZCFH_Factor_Humano	113	16%	49,52%
Sin determinar	90	12%	61,96%
GZCIN_Instalaciones	75	10%	72,34%
GZCGC_Gestión_de_la configuración_y_Documentación	57	8%	80,22%
GZCMT_Método_y_Procesos	46	6%	86,58%
GZCUT_Utillaje	29	4%	90,59%
GZCMQ_Máquinas_y_Equipos	28	4%	94,47%
GZCGE_Generales	23	3%	97,65%
GZCDA_Almacenamiento_Manipulación_Protección	9	1%	98,89%
GZCMP_Materiales_y_Productos	8	1%	100,00%

Tabla 5-6: Análisis Causas vs piezas defectuosas

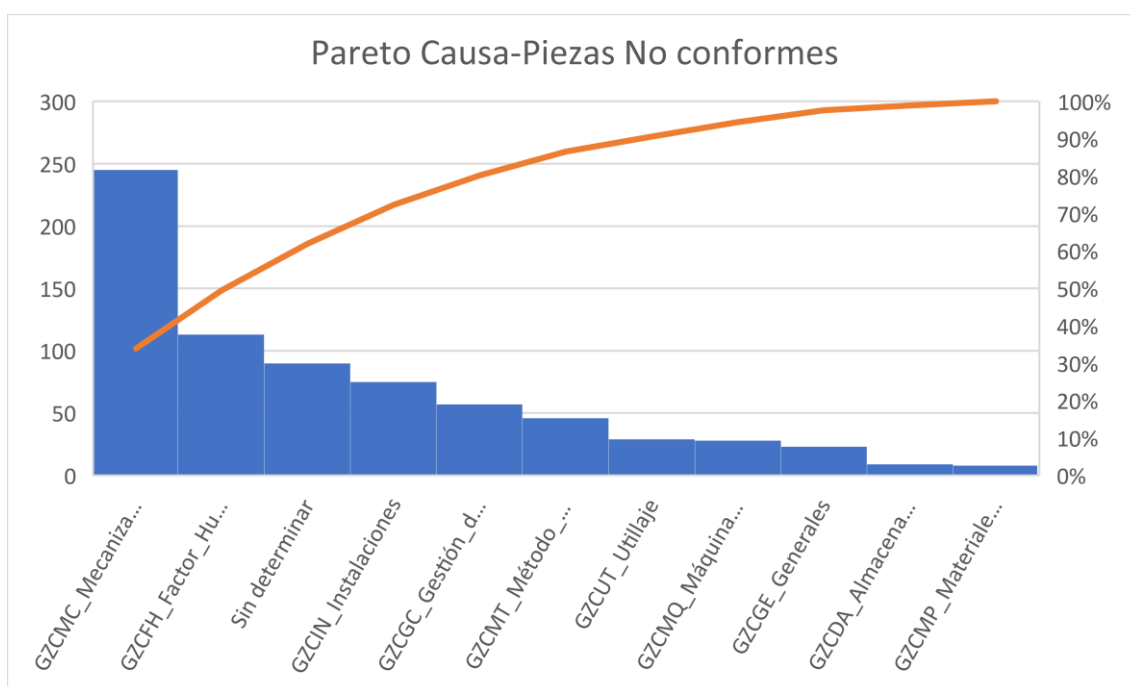


Figura 5-13: Pareto Causas vs Piezas defectuosas

Después de una serie de análisis, estudios y charlas Brainstorming que se llevaron a cabo a partir de los datos anteriores, se proponen las siguientes soluciones para optimizar el proceso de mecanizado y reducir el impacto que tiene el factor humano en las piezas defectuosas de los PN más importantes actualmente para la empresa:

- Unificar el proceso de mecanizado en un misma Postura (1+2+3) para una misma máquina.
- Emplear brazos robots para optimizar la preparación de las órdenes de trabajo, los cambios de piezas y minimizar la involucración de los operarios en el propio proceso de fabricación.

5.1.3.3 Unificar Posturas en el proceso de mecanizado

Como se explica anteriormente, el mecanizado actual para esta familia de PN pasa por la fabricación de cada postura en 3 máquinas diferentes. La idea de esta propuesta es mecanizar todas las Posturas de las piezas en una misma máquina como se observa en el ANEXO VI. Esto permitirá que se prepare la máquina una sola vez con todas las herramientas y utillajes necesarios para todas las posturas (con la ayuda de los brazos robots) y que los cambios de piezas y de posturas sean automatizados (brazos robots).

Se han tomado los tiempos de fabricación (aún manual, sin la implementación de los brazos robots) con la nueva puesta en marcha de la unificación de las posturas, teniendo en cuenta los cambios de postura y cambios de pieza, arrojando los resultados mostrados en la Tabla 5-7.

Operario-Máquina	Preparación nueva orden (min/lote)	Cambio de pieza (min/ud)	Cambio de postura (min/ud)	Tiempo mecanizado (min/ud)	TOTAL (min/lote)
OM-1	27	17	12	71	
<u>Total por lote (20 uds)</u>	27	340	240	1420	<u>2027</u>

Tabla 5-7: Nuevos tiempos de fabricación con Posturas unificadas

Haciendo una comparativa entre esta nueva propuesta y la anterior, en la Tabla 5-8 vemos como se ha reducido el tiempo total de fabricación por lote, de 2181 min/lote a 2027 min/lote, con un disminución del 7% aproximadamente.

Procedimiento	Tiempo de fabricación total (min/lote)
POS 1+2+3	2181
Actual (operario)	2027
Reducción	154

Tabla 5-8: Comparativa de procedimientos para el mecanizado

5.1.3.4 Automatización del proceso a través de brazos robots

Actualmente, la implementación de los brazos robots se encuentra en proceso de puesta a punto, pero se han realizado las siguientes estimaciones de los tiempos de preparación de nuevas órdenes, cambios de pieza y cambios de posturas utilizando los brazos robots (ver Tabla 5-9), viendo como el tiempo total de fabricación de un lote de 20 piezas se reduce en más del 24% (478 min/lote) con respecto a la operativa actual (ver Tabla 5-10).

Brazo robot-Máquina	Preparación nueva orden (min/lote)	Cambio de pieza (min/ud)	Cambio de postura (min/ud)	Tiempo mecanizado (min/ud)	TOTAL (min/lote)
RM-1	9	4	2	71	1549

Tabla 5-9: Estimaciones de tiempo de fabricación utilizando brazos robots

Procedimiento	Tiempo de fabricación total (min/lote)
Actual (operario)	2027
Futura (robots)	1549
Reducción	478

Tabla 5-10: Comparativa procedimiento actual vs futura

Hay que destacar de los brazos robots que permitirán:

- ✓ Aumenta la eficiencia y productividad:
 - Los brazos robots son capaces de realizar tareas repetitivas de manera constante y precisa, lo que aumenta la velocidad y la eficiencia del proceso de producción.
 - Aumento del OEE del proceso.
 - Disminuir el Manufacturing Lead time
 - Reducir los tiempos de cambios de pieza
 - Reducir los tiempos de preparación de órdenes de trabajo

- ✓ Mejora de la calidad:
 - Los brazos robots pueden realizar movimientos precisos, lo que reduce la probabilidad de errores humanos y aumenta la calidad de las piezas fabricadas. Además, los robots pueden ser equipados con sistemas de visión y sensores para detectar y corregir cualquier defecto durante el proceso de fabricación.
- ✓ Reducción de costos:
 - Al implementar brazos robots, se puede reducir la gran parte de las actividades manuales en el proceso de mecanizado, disminuyendo los riesgos laborales.
- ✓ Disminuir los riesgos laborales de los operarios
 - Se restringe la manipulación de materiales pesados de los operarios.

5.1.4 VSM futuro

Del análisis realizado en los epígrafes anteriores, se crea el mapa del valor de la situación futura para esta familia de PN, teniendo en cuenta las mejoras propuestas. En el cuadro de la Tabla 5-11 se muestran un resumen de las alternativas de soluciones planteadas anteriormente.

5.1.4.1 Diseño del mapa de la cadena del valor

A partir de estas propuestas, se diseña el VSM futuro (ver ANEXO VII), el cual tendrá las novedades expuestas en la Tabla 5-11 con respecto al VSM actual.


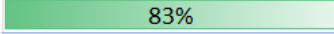



<i>Indicadores</i>	<i>VSM actual</i>	<i>VSM futuro</i>	<i>Incremento a positivo</i>
Nro Operaciones	16	13	 19%
Tiempos de espera (horas)	6	1	 83%
Sevilla-Valor añadido (horas)	36,5	27	 26%
Sevilla Manufacturing Lead time (min)	2027	1549	 24%
Manufacturing OEE (%)	55	85	 35%

Tabla 5-11: Incremento del valor añadido a raíz de las propuestas de soluciones dadas.

<i>Concepto</i>	<i>Antes</i>	<i>Ahora</i>
Estandarización de la organización y limpieza de los puestos de trabajo	No estaba establecido un procedimiento estándar para mantener los puestos ordenados y los utensilios organizados según tipología	Procedimiento estandarizado que permite mantener el lugar de trabajo limpio y ordenado
Automatización del almacenamiento de Herramientas y Utillajes	Los Útiles y las Herramientas se encontraban en lugares diferentes y las operaciones las realizaba un maquinero para preparar las máquinas	Se adquirieron almacenes verticales para unificar la ubicación de Herramientas-Útiles y automatizar el proceso de preparación de estos materiales
Unificación de las operaciones de mecanizado	Se mecanizaban 3 POS en 3 máquinas diferentes	Se unifican las operaciones del mecanizado en una misma máquina
Automatización del proceso de mecanizado	Los operarios preparan las máquinas (manualmente) antes de comenzar el proceso de mecanizado	Está en proceso de implementación la puesta a punto de los brazos robots que permitirán automatizar la preparación de nuevas órdenes, cambios de pieza y cambios de posturas en las máquinas

Tabla 5-12: Resumen de las alternativas de soluciones planteadas

6. Conclusiones y líneas futuras

En este apartado se recogen las conclusiones y posibles futuras líneas de trabajo para continuar con el proceso de mejora continua en la empresa GAZC; obtenidas a partir del desarrollo de la metodología Lean Manufacturing, en especial de la herramienta VSM detallada en el proyecto y su implementación en el caso de estudio.

6.1 Conclusiones

El proyecto tratado en este Trabajo de Fin de Máster ha demostrado que la búsqueda constante por la mejora continua de los procesos y sus actividades, propician un desarrollo competitivo y de unos niveles de calidad altos en cualquier sector.

A pesar de contar con una ventana temporal ajustada, se pudo desarrollar el mapeo de flujo de la cadena del valor de la familia de productos más demandada y con mayor dificultad en los procesos de mecanizado dentro de la empresa. Todo ello gracias a un equipo multifuncional muy profesional y comprometido con de la empresa, lo cual facilitó la aplicación de la metodología Lean Manufacturing a través de una serie de herramientas que posibilitaron alcanzar los resultados mostrados anteriormente.

En el desarrollo del trabajo se ha ido mostrando la evolución del proyecto a lo largo de las fases de implementación de la metodología Lean. Esta evolución da pie a las siguientes conclusiones:

- **Mejora en la visualización y optimización del flujo de valor:** La aplicación de la herramienta VSM ha permitido mapear y analizar de manera detallada el flujo de valor actual de la familia de productos de mayor valor para la empresa. Esto ha brindado una visión global de los procesos involucrados, identificando cuellos de botella, tiempos de espera y áreas de desperdicio. Como resultado, se han propuesto mejoras específicas para optimizar el flujo de valor y aumentar la eficiencia general.
- **Mejora organizativa en el entorno de trabajo:** Con la aplicación de la técnica 5'S se ha optimizado la organización de los operarios en los puestos de trabajo y se han estandarizado los procedimientos para mantenerlos siempre limpios y ordenados. Esto ha contribuido a reducir los tiempos de búsqueda de herramientas

y materiales, minimizando la posibilidad de errores y mejorando la seguridad en el entorno laboral.

- **Espacio optimizado para el almacenamiento:** Aplicando la herramienta Kaizen, se automatiza la zona donde se almacenan las herramientas y útiles de la empresa, todo ello con la utilización de almacenes verticales, lo cual influyó en la reducción de los tiempos de preparación de órdenes de trabajo para el proceso de mecanizado.
- **Optimización del proceso de mecanizado:** Se unificaron las operaciones del mecanizado en una sola Postura, lo cual permitió reducir el Manufacturing Lead time en la planta de Sevilla.
- **Automatización de la producción:** Se estudiaron las diversas ventajas que ofrece el empleo de brazos robots para el proceso de mecanizado y se ha puesto en marcha la adquisición de estos para disminuir los tiempos de preparación, cambios de pieza y cambios de posturas en las órdenes de trabajo, contribuyendo significativamente en la optimización del flujo productivo.

6.2 Líneas futuras

Una vez finalizado el proyecto, la empresa debe mantener los cimientos del sistema de mejora continua y las mejoras implantadas, extendiéndolas de ser posible a otras familias de PN de significativa importancia. Para continuar con el progreso del proyecto hay varios aspectos que se pueden desarrollar.

Como continuidad a dicho trabajo existen 4 posibles líneas de trabajo a futuro, todas de gran interés para la empresa. Se citan a continuación y se detallan en los siguientes apartados:

- Elaboración de un Sistema de Gestión Lean propio que permita estudiar de manera detallada cada proceso de la empresa, para detectar posibles desperdicios y proponer alternativas de mejora.
- Elaborar un plan de mejora continua que involucre a todos los departamentos de la empresa y los operarios de planta.
- Técnica SPC que permita ahorrarnos las operaciones de verificación de las piezas terminadas. Una vez establecido el SPC y teniendo el proceso bajo control

estadístico, Airbus ya no exige que se le haga verificación final a las piezas, por lo que la empresa se ahorraría los tiempos de verificación a las piezas finales.

- Automatizar los VSM actuales y futuros que se desarrollen, con el objetivo de simular el flujo de la cadena del valor y detectar posibles cuellos de botellas y puntos críticos dentro del proceso de una forma más eficiente.

Siguiendo con la última línea de posible mejora futura, los software orientados al modelado y simulación de los flujos de material y de información constituyen hoy en día una vía muy utilizada de cara al rediseño y optimización de sistemas productivos.

Estos programas poseen un carácter dinámico, mayor nivel de precisión, naturaleza cuantitativa y un enfoque similar al marco del VSM, pero en tiempo real; lo cual puede llegar a constituir importantes razones para su puesta en práctica por parte del Departamento de Ingeniería de la empresa.

La integración del VSM futuro que se diseña en este proyecto, en conjunto con un software de simulación de procesos consigue un enfoque global entre Lean Manufacturing e Investigación de Operaciones, con el propósito de mejorar la eficiencia y el desempeño del flujo productivo para la familia de PN analizados, fusionando un sistema estático (VSM actual y futuro) con un sistema dinámico (software de simulación).

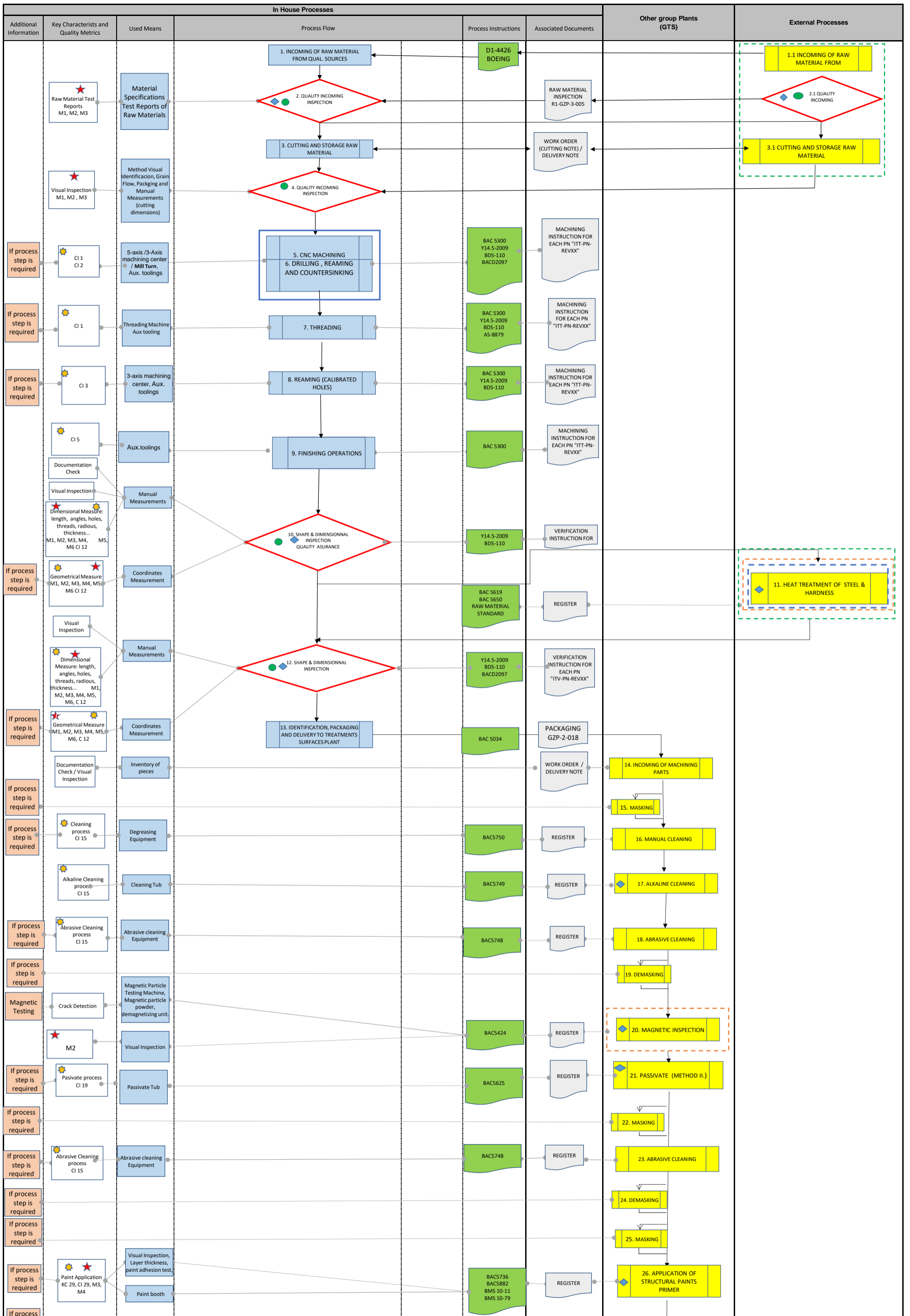
Referencias

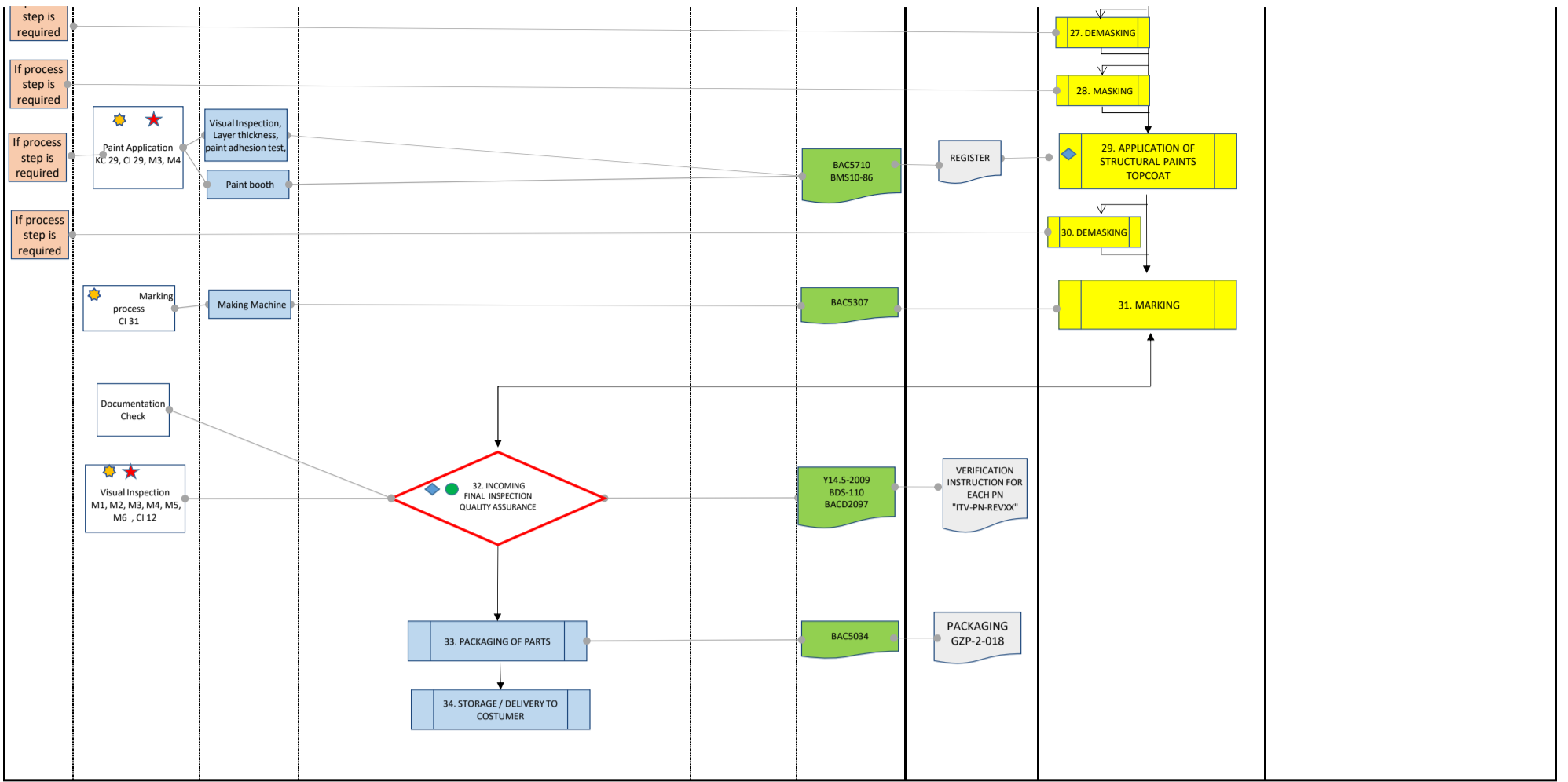
- Anand Gurumurthy, R. K. (2011). Design of lean manufacturing systems using value stream mapping with simulation. *Emerald*, 31.
- Arango Londoño, C. A., & Pinzón Rueda, W. A. (2015). *Sistema de producción Toyota usando cibernética de tercer orden*. Bogotá: Ciencia Unisalle.
- Burgos, D. B. (2020). *Implementación de la metodología Lean Manufacturing en un taller de mecanizados y calderería*. Valladolid.
- Delgado, A. R. (2020). *Tendencias y propuestas en el aprendizaje de Lean Manufacturing*. Sevilla.
- Díaz-Reza, J. R., García Alcaraz, J. L., & Morales García, A. S. (2022). *Best Practices in Lean Manufacturing*. Ciudad Juárez: Springer.
- Estefany , M., & Ari , O. (2019). *APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA LEAN MANUFACTURING EN EL SECTOR INDUSTRIAL*. Lima.
- Feld, W. M. (2000). *Lean Manufacturing: Tools, Techniques, and How to Use Them*. Florida.
- Felipe, A. (27 de febrero de 2017). *Historia-Biografía*. Obtenido de <https://historia-biografia.com/historia-del-lean-manufacturing/>
- García Márquez, P. F., & Segovia Ramirez, I. (2020). Introductory Chapter: Introduction to Lean Manufacturing. En *Lean Manufacturing and Six Sigma - Behind the Mask* (pág. 176). Castilla-La Mancha: IntechOpen.
- ingenieriadecalidad*. (septiembre de 2018). Obtenido de <https://www.ingenieriadecalidad.com/2018/09/historia-del-lean-manufacturing.html>
- institutoagile.com*. (27 de enero de 2022). Obtenido de <https://www.institutoagile.com/post/la-casa-lean>
- Jones, D., & Womack, J. (1996). *Lean Thinking Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. New York : Journal of the Operational Research Society.
- Lasa, I. S. (2007). *ANÁLISIS DE LA APLICABILIDAD DE LA TÉCNICA VALUE STREAM MAPPING EN EL REDISEÑO DE SISTEMAS PRODUCTIVOS* . Girona.
- Lean, P. (22 de mayo de 2015). *Progressa Lean*. Obtenido de <https://www.progressalean.com/origen-y-evolucion-del-lean-manufacturing/>
- López, C. M. (2011). *Estudio previo para la implantación de Lean Manufacturing en una fábrica de mecanizado*. Sevilla.
- MARTÍNEZ, J. A. (2010). *OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS MEDIANTE TÉCNICAS DE LEAN MANUFACTURING. APLICACIÓN A UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DEL SECTOR DEL ASCENSOR*. Sevilla.

- Monar, P. V. (2021). *Implantación de un Sistema de Gestión Lean Manufacturing en una empresa del sector agroalimentario*. Sevilla.
- Pagliosa, M., Tortorella, G., & Espindola Ferreira, J. (2019). *Industry 4.0 and Lean Manufacturing*. Brazil: Journal of Manufacturing Technology Management.
- Pérez, J. V. (2016). *LEAN MANUFACTURING. GRADO DE IMPLANTACIÓN DE HERRAMIENTAS LEAN EN LAS EMPRESAS DE AUTOMOCIÓN EN ESPAÑA*. Sevilla.
- Rico, A. Q. (2014). *Mejora de un proceso productivo del sector aeronáutico mediante el uso de la filosofía Lean*. Sevilla.
- Rother, M., & Shook, J. (1999). *Learning to see*. Massachusetts.
- Sarria Yépez, M. P., Fonseca Villamarín, G., & Cristina Bocanegra, C. (2017). Modelo metodológico de implementación de lean manufacturing. *Revista EAN*, 29.
- Tapping, D., & Shuker, T. (2002). *Value stream management for the lean office*. New York: Productivity Press.
- Tool, K. (2022). *Kanban Tool*. Obtenido de <https://kanbantool.com/es/guia-kanban/queson-las-5s>
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The Machine That Changed the World*. New York.

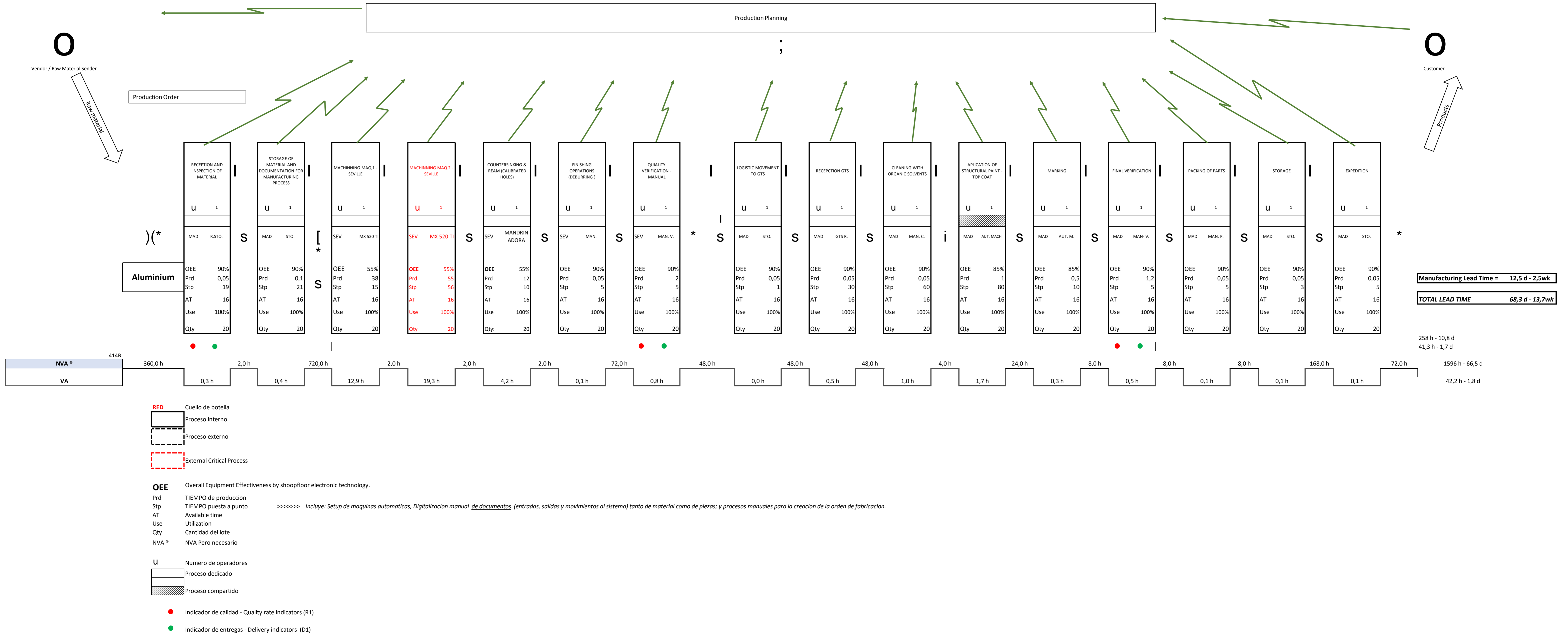
ANEXOS

ANEXO I: Flow Chart de PN estudiados





ANEXO II: VSM actual




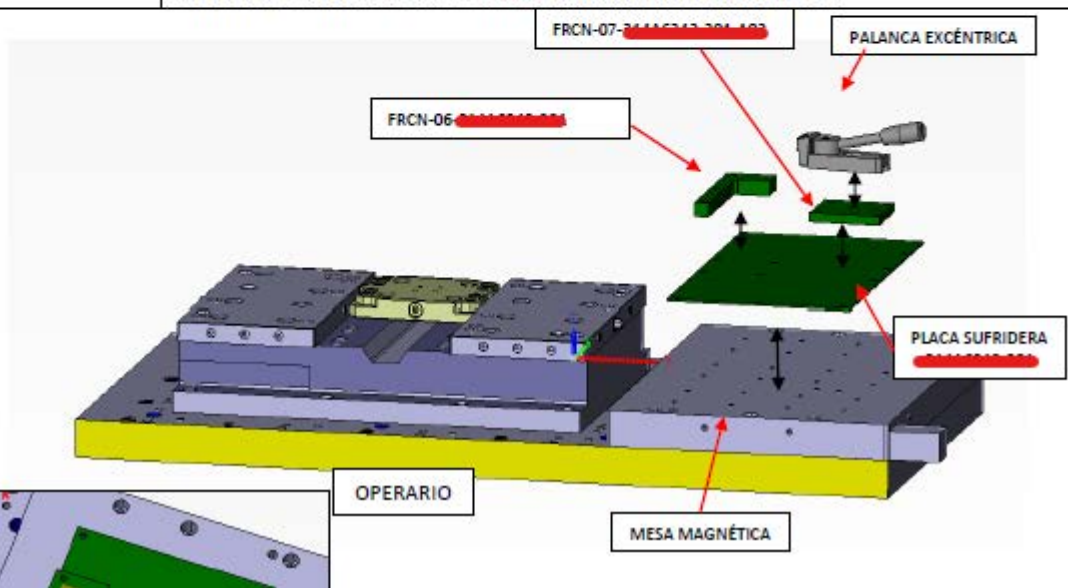
ANEXO III: Proceso de mecanizado POSTURA I

5. NOTAS DE MECANIZADO / MACHINING NOTES:

5.1. POSTURA 1 / PHASE 1

[REDACTED]

Nº PROGRAMA <i>NC PROGRAM</i>	O0024 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">  <div style="border: 2px solid yellow; padding: 2px; font-weight: bold;">00024</div> </div>
ORIGEN PIEZA <i>ORIGIN</i>	X: PUNTO 0 GRILLERA Y: PUNTO 0 GRILLERA Z: SOBRE GRILLERA
INSTRUCCIONES <i>INSTRUCTIONS</i>	AMARRAR PLACA SUFRIDERA A MESA MAGNÉTICA CON TORNILLOS M8x20 Y FIJAR LOS ÚTILES FRCN-06 Y FRCN-07 SOBRE LA PLACA SUFRIDERA. LLEVAR BRUTO A TOPE Y ASEGURAR CON PALANCA EXCÉNTRICA.



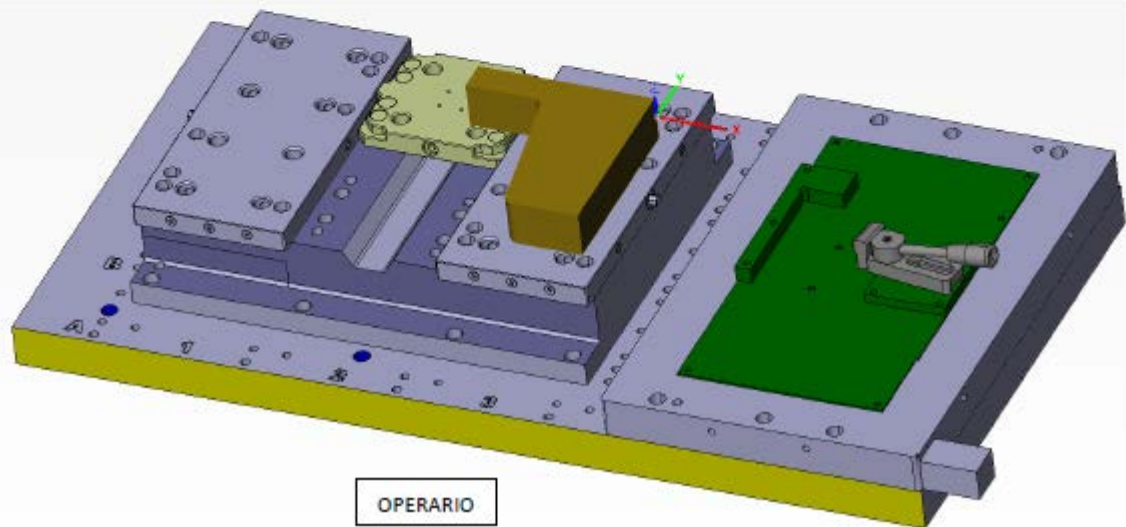
ANEXO IV: Proceso de mecanizado POSTURA II

5.2. POSTURA 2 / PHASE 2

XXXXXXXXXX

Nº PROGRAMA <i>NC PROGRAM</i>	00025  00025 00025
ORIGEN PIEZA <i>ORIGIN</i>	X: PUNTO 0 GRILLERA Y: PUNTO 0 GRILLERA Z: SOBRE GRILLERA
INSTRUCCIONES <i>INSTRUCTIONS</i>	FUJAR RESULTADO DE POSTURA ANTERIOR A PLACA LANG CON TORNILLOS LANG COMO SE MUESTRA EN LA IMAGEN.

DEFINITIVA



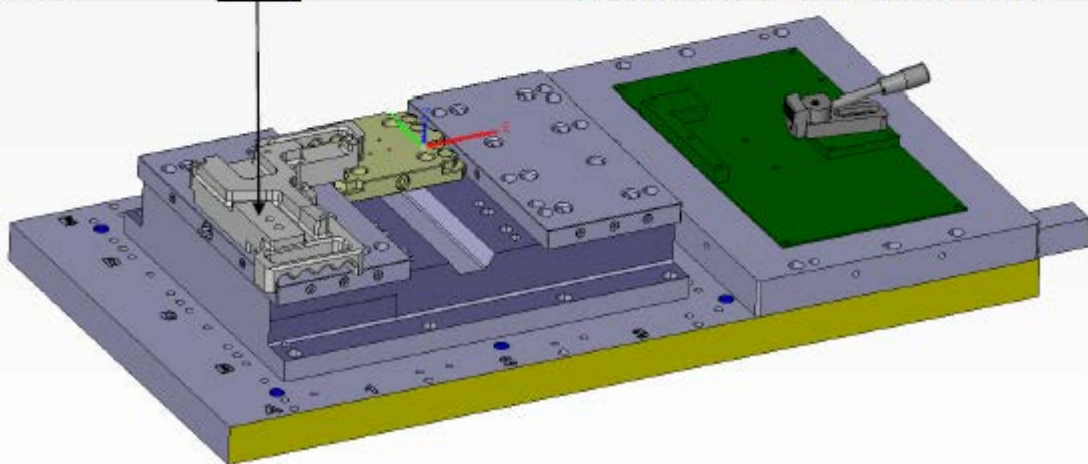
OPERARIO

ANEXO V: Proceso de mecanizado
POSTURA III

5.3. POSTURA 3 / PHASE 3

XXXXXXXXXX

Nº PROGRAMA <i>NC PROGRAM</i>	O0026	 00026	O0026
ORIGEN PIEZA <i>ORIGIN</i>	X: PUNTO 0 GRILLERA Y: PUNTO 0 GRILLERA Z: SOBRE GRILLERA		
INSTRUCCIONES <i>INSTRUCTIONS</i>	COLOCAR RESULTADO DE POSTURA ANTERIOR SOBRE ÚTIL FRCN-03 FIJAR CON 1 TORNILLO M8x35, 2 TORNILLOS M10x40, 1 TORNILLO M10x30 Y FIJAS 8H7 EN LOS CASQUILLOS, Y AMARRAR A PLACA LANG MEDIANTE TORNILLOS LANG.		
COMPROBACIÓN ÚTIL <i>CHECK TOOL</i>	ESPESOR / THICKNESS: 48 MM Z: 170	FIJA 1 / DOWEL PIN 1: X: -423.5 Y: -403.8 FIJA 2 / DOWEL PIN 2: X: -230.86 Y: -236	



ANEXO VI: Proceso de mecanizado
POSTURA UNIFICADA

5.4. POSTURA 1+2+3 / PHASE 1+2+3 [REDACTED]

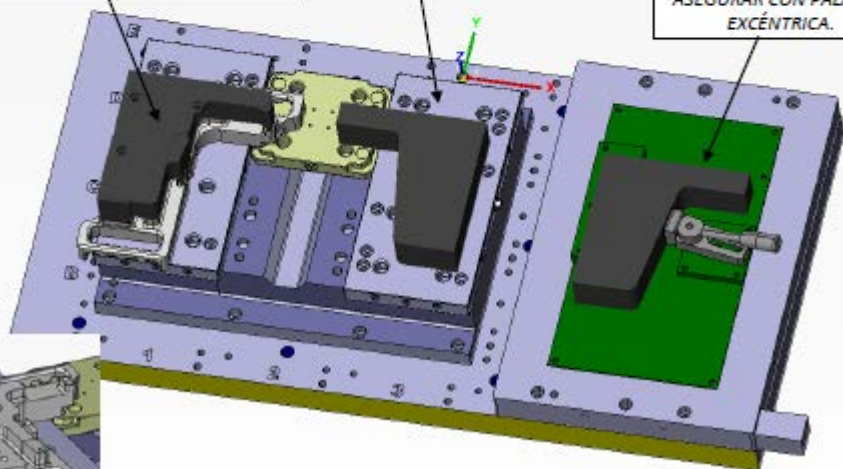
Nº PROGRAMA NC PROGRAM	00036	 00036	
ORIGEN PIEZA ORIGIN	X: PUNTO 0 GRILLERA Y: PUNTO 0 GRILLERA Z: SOBRE GRILLERA		
INSTRUCCIONES INSTRUCTIONS	COLOCAR BRUTOS COMO SE INDICA Y LANZAR PROGRAMA ENLAZADO.		
COMPROBACIÓN ÚTIL CHECK TOOL	ESPESOR / THICKNESS: 48 MM Z: 170	FIJA 1 / DOWEL PIN 1:	X: -423.5 Y: -403.8 FIJA 2 / DOWEL PIN 2: X: -230.86 Y: -236

COLOCAR RESULTADO DE POSTURA ANTERIOR EN ÚTIL FRCN-03 CON 1 TORNILLO M8x35, 2 TORNILLOS M10x40, 1 TORNILLO M10x30 Y FIJAS BH7

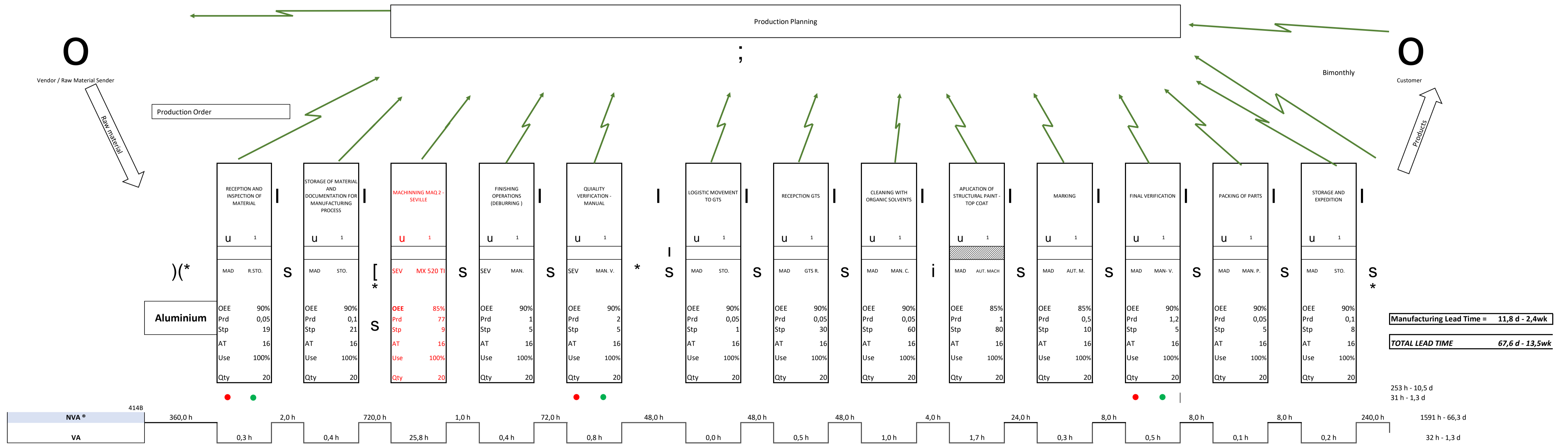
FIJAR CON TORNILLOS LANG

LLEVAR BRUTO A TOPE Y ASEGURAR CON PALANCA EXCÉNTRICA.

Z=170



ANEXO VII: VSM futuro



- Cuello de botella
- Proceso interno
- Proceso externo
- External Critical Process

OEE Overall Equipment Effectiveness by shopfloor electronic technology.

Prd TIEMPO de produccion

Stp TIEMPO puesta a punto >>>>>> Incluye: Setup de maquinas automaticas, Digitalizacion manual de documentos (entradas, salidas y movimientos al sistema) tanto de material como de piezas; y procesos manuales para la creacion de la orden de fabricacion.

AT Available time

Use Utilization

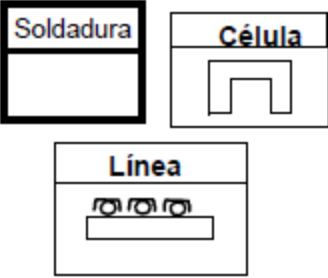
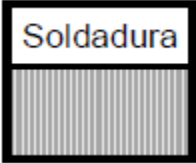

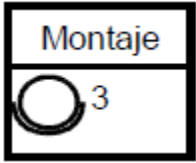
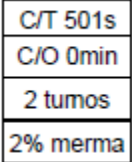


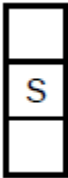
Qty Cantidad del lote


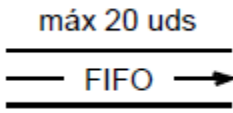
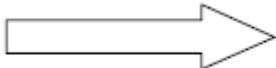




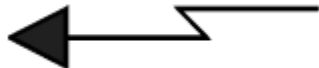
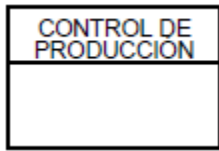
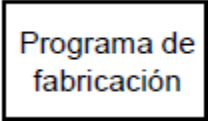

- U** Numero de operadores
- Proceso dedicado
- Proceso compartido

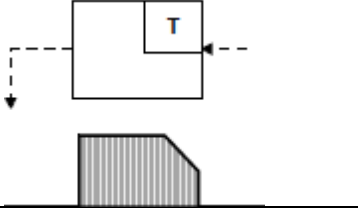
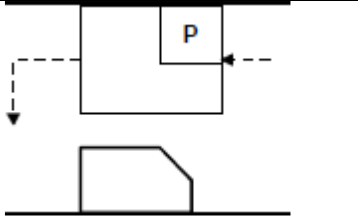

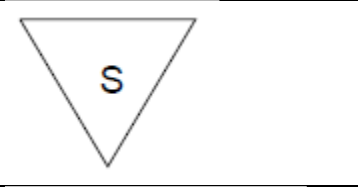
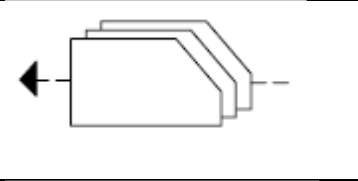
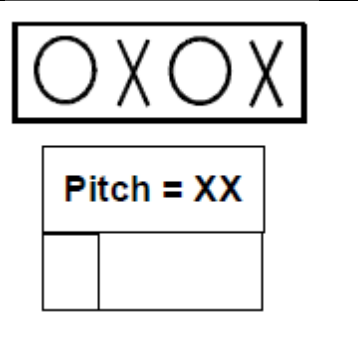
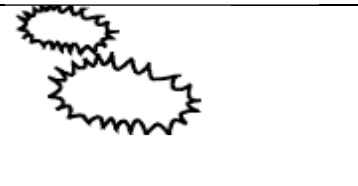
- Indicador de calidad - Quality rate indicators (R1)
- Indicador de entregas - Delivery indicators (D1)

ANEXO VIII: Simbología VSM

Anexo I: Simbología VSM

Símbolo	Significado	Observaciones
 <p>El símbolo muestra tres tipos de procesos: 'Soldadura' (un rectángulo con una línea superior), 'Célula' (un rectángulo con un U invertido en el centro) y 'Línea' (un rectángulo con tres pequeños rectángulos en la parte superior).</p>	<p>Proceso de fabricación dedicado a la familia de productos analizada.</p> <p>Puesto – Célula - Línea</p>	<p>Representa un área de flujo continuo. Puede incluir una máquina o una célula.</p>
 <p>El símbolo muestra un rectángulo con la palabra 'Soldadura' en la parte superior y una franja horizontal con líneas verticales en la parte inferior.</p>	<p>Proceso de fabricación compartido con otras familias de productos que no se estén analizando.</p>	<p>Las conclusiones que se adopten sobre este proceso hay que contrastarlas con el resto de productos.</p>
 <p>El símbolo es un rectángulo con un borde superior irregular, similar a un perfil de una montaña o un techo.</p>	<p>Proceso origen o destino de la cadena de valor.</p>	<p>Normalmente, el proveedor o el cliente.</p>
 <p>El símbolo muestra un rectángulo con la palabra 'Montaje' en la parte superior y un círculo con el número '3' a su lado.</p>	<p>Proceso de fabricación o montaje.</p>	<p>En este caso con 3 operarios asignados por turno.</p>
 <p>El símbolo es una caja dividida en cuatro secciones con el siguiente texto: 'C/T 501s', 'C/O 0min', '2 turnos' y '2% merma'.</p>	<p>Caja de parámetros. Se incluye la información que define el proceso. Se representa en la parte inferior del proceso.</p>	<p>C/T (Tiempo de ciclo). C/O (Tiempo de cambio). Turnos, mermas, disponibilidad, tamaño de lote.</p>
 <p>El símbolo muestra un triángulo con una 'I' y el texto '100 uds' y '3 días' debajo.</p>	<p>Inventario. Un punto de acumulación de material por interrupción de flujo.</p>	<p>Se anota la cantidad de unidades y los días de stock.</p>
 <p>El símbolo es un rectángulo dividido en tres secciones, con la letra 'B' en la sección central.</p>	<p>Punto de acumulación de material. BUFFER. Es una protección a variaciones EXTERNAS: Variación en la demanda.</p>	<p>Sirve para cumplir con la demanda absorbiendo variaciones. Se puede eliminar con flexibilidad en capacidad productiva.</p>
 <p>El símbolo es un rectángulo dividido en tres secciones, con la letra 'S' en la sección central.</p>	<p>Punto de acumulación de material. STOCK DE SEGURIDAD. Es una protección a problemas INTERNOS: Defectos, averías...</p>	<p>Sirve para cumplir con la demanda absorbiendo problemas internos. Se puede eliminar resolviendo las incidencias internas.</p>

	SUPERMERCADO. Dispone de una cantidad por referencia que se repone en función del consumo registrado.	Se utiliza en los puntos de la cadena de valor en los que no se puede establecer un flujo continuo.
	Punto de acumulación de material. Sale lo primero que ha entrado. Está limitada la capacidad, si se alcanza el tope de capacidad se interrumpe el proceso de cabecera.	Alta variedad de productos. No se puede establecer un Súper. Protege el proceso de salida.
	Flujo de materiales desde el origen de la cadena o al destino de la cadena.	Representa el paso de elementos dentro de la cadena de flujo
	Flujo de materiales PUSH.	El material avanza independientemente del consumo registrado.
	Flujo de materiales PULL.	El material avanza porque se ha producido un consumo de productos.
	Flujo de información suministrada de forma manual	Pueden ser papeles, documentos...
	Envío por transporte de carretera.	Se anota la frecuencia de envío y el lote de transporte.
	Flujo de información suministrada de forma electrónica	Pueden ser EDI, e-mail...
	Proceso de control.	Recibe información (previsiones, consumos, ...), la procesa y genera información para controlar el flujo de materiales.
	Información, previsiones, órdenes de fabricación,...	
	Sistema informático (base de datos).	Sistemas ERP, MRP, PLM...

	<p>Kanban de transporte</p>	<p>Indica el número de componentes a retirar de un supermercado.</p>
	<p>Kanban de producción</p>	<p>Indica el número de productos a fabricar para reponer un consumo de materiales.</p>
	<p>Tarjetero Kanban.</p>	
	<p>Señal Kanban: Indica el número de componentes a fabricar en un proceso que fabrique por lotes.</p>	<p>La señal Kanban genera una orden de fabricar un lote para reponer un consumo (punto de pedido).</p>
	<p>Lote de tarjetas Kanban.</p>	<p>Señal Kanban: Representa un lote (punto de pedido). Lote de tarjetas: Es una acumulación de tarjetas (periodo).</p>
	<p>HEIJUNKA BOX. Representa una nivelación del flujo de materiales.</p>	<p>La secuenciación está realizada en base a cantidades de trabajo fijas de xx minutos de duración.</p>
	<p>Acción KAIZEN</p>	