



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería en Organización Industrial

**Reducción del *lead time* y mejora de la  
eficiencia en los procesos de una planta  
de fabricación de componentes para el  
sector del automóvil**

Laura Herrero Galván

Tutores:

D. Juan José de Benito Martín

D. Pedro Sanz Angulo

Valladolid, marzo de 2017







*Quiero expresar mi agradecimiento al departamento de Organización de Empresas y Comercialización e Investigación de Mercados, y muy especialmente a los directores de este trabajo: D. Juan José de Benito Martín y D. Pedro Sanz Angulo, sin cuya ayuda no hubiese sido posible su realización.*



## Resumen

Hoy en día, los diferentes sistemas productivos se tienen que adaptar a los deseos del cliente, ofreciendo productos en el momento y la cantidad que lo solicitan, con la calidad requerida y a un precio competitivo. Por ello, es necesaria la adaptación de los sistemas de producción y la mejora continua en la realización de todo tipo de operaciones, con el objetivo de reducir el tiempo de entrega de un producto al cliente, para ganar ventaja competitiva con respecto a otras empresas del sector.

En este Trabajo Fin de Grado, se muestra la eficiencia de las herramientas *Lean* y se lleva a cabo un análisis con el que se pretende reducir significativamente el lead time de la planta de producción.

**Palabras clave:** *Lean, value stream mapping, lead time, proceso, mejora.*

## Abstract

Nowadays, the different production systems have to be adapted timely to customer demands, providing the required quantity at a competitive price. For this reason, it is necessary to adapt production systems and a continuous improvement in the performance of all types of operations. Therefore, the delivery time will be reduced and company will gain a competitive advantage over other industry competitors.

In this Bachelor Thesis, the efficiency of the *Lean* tools is shown and an analysis of a production plant is carried out with the aim of minimizing its manufacturing time.

**Keywords:** *Lean, value stream mapping, lead time, process, improvement.*





# Índice

<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>III</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>V</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1. LEAN MANUFACTURING .....</b>	<b>5</b>
1.1 HISTORIA DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE TOYOTA .....	5
1.2 FUNDAMENTOS DEL LEAN MANUFACTURING.....	7
1.3 HERRAMIENTAS DE PLANIFICACIÓN Y CONTROL.....	9
1.4 FACTOR HUMANO .....	15
1.5 HERRAMIENTAS DE ESTANDARIZACIÓN Y ESTABILIDAD DE PROCESOS .....	17
1.6 PILARES FUNDAMENTALES .....	18
1.7 IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA LEAN.....	22
<b>2. PROCESO PRODUCTIVO ACTUAL .....</b>	<b>25</b>
2.1 CONTEXTO DE LA EMPRESA .....	25
2.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA PRODUCTIVO.....	25
2.3 MAPA DE FLUJO DE VALOR ACTUAL .....	32
<b>3. MEJORAS EN LOS PROCESOS.....</b>	<b>39</b>
3.1 MEJORAS EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE ACUERDO A UN SISTEMA LEAN .....	39
3.2 FUTURE VALUE STREAM .....	67
3.3 PASOS PARA LLEVAR A CABO LA PROPUESTA .....	70
<b>4. ESTUDIO ECONÓMICO .....</b>	<b>75</b>
4.1 INTRODUCCIÓN .....	75
4.2 FASES DEL MODELO PLANTEADO.....	75
4.3 ESTUDIO ECONÓMICO.....	76
4.4 COSTE ASIGNADO A CADA FASE DEL PROYECTO .....	81
4.5 RESULTADOS FINALES.....	83
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>87</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>93</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>95</b>
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	95
REFERENCIAS WEB .....	96



## Índice de figuras

FIGURA 1. 1 ETAPAS LEAN MANUFACTURING .....	8
FIGURA 1. 2 CICLO PDCA .....	18
FIGURA 1. 3 REPRESENTACIÓN DEL NIVEL DE INVENTARIO SEGÚN LAS INEFICACIAS DE LOS PROCESOS. ADAPTACIÓN DE DOMÍNGUEZ MACHUCA J. A. (1995). <i>DIRECCIÓN DE OPERACIONES: ASPECTOS TÁCTICOS Y OPERATIVOS EN LA PRODUCCIÓN Y LOS SERVICIOS</i> (P. 203) .....	20
FIGURA 2. 1 COMPOSICIÓN DE CADA CONJUNTO FINAL .....	26
FIGURA 2. 2 LAYOUT GENERAL DE PLANTA .....	26
FIGURA 2. 3 REPRESENTACIÓN DE LA LÍNEA DE PINTURA .....	28
FIGURA 2. 4 REPRESENTACIÓN DE UN BASTIDOR CON UNA PIEZA COLGADA .....	29
FIGURA 2. 5 REPRESENTACIÓN DE UN SISTEMA PUSH .....	31
FIGURA 2. 6 REPRESENTACIÓN DEL CLIENTE EN EL MAPA DE FLUJO DE VALOR ACTUAL .....	33
FIGURA 2. 7 REPRESENTACIÓN DE LOS PROCESOS EN UN VSM .....	34
FIGURA 2. 8 REPRESENTACIÓN DE UNA CAJA DE DATOS DE PROCESO .....	34
FIGURA 2. 9 REPRESENTACIÓN DEL INVENTARIO .....	35
FIGURA 2. 10 REPRESENTACIÓN TRANSPORTE POR CARRETERA EN UN VSM .....	35
FIGURA 2. 11 REPRESENTACIÓN FLECHA DE ENVÍO EN UN VSM .....	35
FIGURA 2. 12 REPRESENTACIÓN DEL FLUJO DE INFORMACIÓN EN UN VSM .....	36
FIGURA 2. 13 FLECHA DE EMPUJE EN UN VSM .....	36
FIGURA 2. 14 CUADRO DE CONTROL DE LA PRODUCCIÓN EN VSM .....	36
FIGURA 2. 15 VSM ACTUAL .....	38
FIGURA 3. 1 LAYOUT DEL PROCESO DE INYECCIÓN DEL CONJUNTO B Y C .....	40
FIGURA 3. 2 LAYOUT ENMASCARADO .....	40
FIGURA 3. 3 REPRESENTACIÓN PROCESOS INYECCIÓN Y ENMASCARADO PARA EL CONJUNTO B .....	41
FIGURA 3. 4 LÍNEA FIFO ENTRE LOS PROCESOS DE PINTURA Y MONTAJE .....	48
FIGURA 3. 5 LÍNEA DE PINTURA APARENTEMENTE NIVELADA .....	49
FIGURA 3. 6 LÍNEA DE PINTURA NO NIVELADA .....	49
FIGURA 3. 7 REPRESENTACIÓN DE LA DISTANCIA ENTRE DOS BASTIDORES .....	50
FIGURA 3. 8 DIFERENCIAS ENTRE UNA LÍNEA NIVELADA Y OTRA DESNIVELADA .....	55
FIGURA 3. 9 DIAGRAMA ESPAGUETI .....	57
FIGURA 3. 10 PANTALLA PARA DECLARAR QUE NO HAY QUE ALMACENAR PIEZAS SOBRANTES .....	60
FIGURA 3. 11 PANTALLA PARA DECLARAR PIEZAS A ALMACENAR .....	60
FIGURA 3. 12 INFORMACIÓN PARA OPERARIOS DE CARGA DE PIEZAS A LA LÍNEA DE PINTURA .....	64
FIGURA 3. 13 VISOR CARRETILLERO A .....	64
FIGURA 3. 14 VISOR CARRETILLERO B .....	65
FIGURA 3. 15 PEDIDOS EN LA PANTALLA DEL CARRETILLERO C .....	66
FIGURA 3. 16 REPRESENTACIÓN PEDIDO URGENTE POR EL PUESTO P1 .....	67
FIGURA 3. 17 VSM FUTURO .....	68
FIGURA 3. 18 REPRESENTACIÓN DEL FLUJO DE INFORMACIÓN DESDE EL CLIENTE .....	68
FIGURA 3. 19 REPRESENTACIÓN DEL PASO DE INFORMACIÓN DE CLIENTE AL PROCESO MARCAPASOS .....	69

FIGURA 3. 20 REPRESENTACIÓN DEL FLUJO AGUAS ABAJO .....	69
FIGURA 3. 21 REPRESENTACIÓN PROCESO DE INYECCIÓN .....	70
FIGURA 3. 22 PASOS EN LOS QUE SE DIVIDE EL VSM FUTURO PARA LA IMPLEMENTACIÓN.....	71
FIGURA 4. 1 REPRESENTACIÓN DEL TIEMPO EMPLEADO POR CADA FASE .....	80
FIGURA 4. 2 REPRESENTACIÓN DEL COSTE ASOCIADO A CADA FASE .....	84
FIGURA 4. 3 TIEMPO EMPLEADO POR CATEGORÍA .....	85
FIGURA 4. 4 COSTES POR CATEGORÍA .....	85
FIGURA 5. 1 REPRESENTACIÓN DE LOS CENTROS DE TRABAJO SEGÚN SU CAPACIDAD. ADAPTACIÓN DE DOMÍNGUEZ MACHUCA J. A. (1995). DIRECCIÓN DE OPERACIONES: ASPECTOS TÁCTICOS Y OPERATIVOS EN LA PRODUCCIÓN Y LOS SERVICIOS (P. 274) .....	90
FIGURA 5. 2 REPRESENTACIÓN ELEMENTOS DE CONTROL DE LA PRODUCCIÓN. ADAPTACIÓN DE DOMÍNGUEZ MACHUCA J. A. (1995). DIRECCIÓN DE OPERACIONES: ASPECTOS TÁCTICOS Y OPERATIVOS EN LA PRODUCCIÓN Y LOS SERVICIOS (P. 274) .....	90

## Índice de tablas

TABLA 2. 1 CADENCIA DE CADA PIEZA EN EL PROCESO DE INYECCIÓN .....	27
TABLA 2. 2 CARACTERÍSTICAS DE LOS BASTIDORES .....	29
TABLA 2. 3 NÚMERO DE PIEZAS POR CONTENEDOR QUE SE ENVÍAN AL CLIENTE .....	30
TABLA 2. 4 CADENCIAS DEL PROCESO DE MONTAJE .....	30
TABLA 2. 5 NÚMERO DE CONJUNTOS DE PIEZAS POR COCHE .....	32
TABLA 2. 6 CARACTERÍSTICAS DEL CONJUNTO B .....	33
TABLA 3. 1 <i>TAKT TIME</i> PARA CADA CONJUNTO .....	43
TABLA 3. 2 <i>PITCH TIME</i> PARA CADA CONJUNTO .....	44
TABLA 3. 3 COSTE DE CAMBIO DE COLOR DE PINTURA SEGÚN EL NÚMERO DE CONTENEDORES POR COLOR .....	47
TABLA 3. 4 CÁLCULO DEL TIEMPO DE UN CONTENEDOR COMPLETO CON UN CAMBIO DE COLOR .....	52
TABLA 3. 5 TIEMPO NECESARIO DE CADA CONTENEDOR DE PIEZAS EN SALIR DE LA LÍNEA DE PINTURA .....	52
TABLA 3. 6 NÚMERO DE CONTENEDORES EN STOCK ENTRE PINTURA Y MONTAJE SI SE SIGUE SIEMPRE LA MISMA SECUENCIA .....	54
TABLA 3. 7 TIEMPO DE MONTAJE POR CONTENEDOR .....	56
TABLA 3. 8 CONTENEDORES EN STOCK ENTRE INYECCIÓN Y PINTURA .....	58
TABLA 3. 9 DIFERENCIA DEL STOCK ENTRE EL SISTEMA ANTIGUO Y EL NUEVO .....	59
TABLA 4. 1 NÚMERO DE DÍAS TOTALES HÁBILES .....	76
TABLA 4. 2 SALARIOS DEL PERSONAL .....	77
TABLA 4. 3 COSTE DE CADA TRABAJADOR POR HORA, POR SEMANA, Y TOTAL .....	77
TABLA 4. 4 COSTE DE MATERIAL INFORMÁTICO .....	78
TABLA 4. 5 AMORTIZACIÓN DE MATERIAL INFORMÁTICO .....	78
TABLA 4. 6 COSTE MATERIAL CONSUMIBLE .....	79
TABLA 4. 7 COSTES INDIRECTOS .....	79
TABLA 4. 8 COSTE DE DIETAS Y VIAJES .....	79
TABLA 4. 9 HORAS DEDICADAS A CADA FASE .....	80
TABLA 4. 10 CÁLCULO DEL COSTE TOTAL DE LA FASE 1 .....	81
TABLA 4. 11 CÁLCULO DEL COSTE TOTAL DE LA FASE 2 .....	82
TABLA 4. 12 CÁLCULO DEL COSTE TOTAL DE LA FASE 3 .....	83
TABLA 4. 13 CÁLCULO DEL COSTE TOTAL DE LA FASE 4 .....	83
TABLA 4. 14 COSTES POR FASES .....	84
TABLA 4. 15 COSTE TOTAL FINAL DEL .....	85



## Introducción

### Antecedentes

En las últimas décadas, el entorno económico ha sufrido cambios importantes. La globalización, el encarecimiento de los factores y el alto desarrollo tecnológico ha provocado nuevas características en el mercado. La alta competencia, la modificación de las cualidades de los productos según las preferencias del cliente, la rápida obsolescencia, así como los ciclos de vida del producto cortos, han causado nuevas prioridades competitivas y han originado nuevos paradigmas productivos.

La filosofía Lean Manufacturing trata de reducir el despilfarro generado, definiendo éste como todo tipo de actividades realizadas que no generan valor añadido al producto. La eliminación de desperdicios genera, a largo plazo, un proceso de fabricación ágil, eficiente, de calidad y con capacidad de responder a los deseos del cliente, además de llegar a convertirse en una herramienta estratégica.

Este modelo de gestión, basado en el sistema de producción Just in Time (JIT), tuvo su origen en la empresa Toyota, perteneciente al sector automovilístico. Debido a su gran eficacia, se ha extendido a todo tipo de organizaciones, incluyendo las del sector servicios. Este método de fabricación ha generado un gran impacto en todo el mundo a la hora de gestionar las empresas.

En España, aunque se va aumentando el número de organizaciones que comienzan a implementar esta filosofía, aún muchas desconocen este modelo de gestión. Uno de los sectores que pone más empeño en el desarrollo de las técnicas *lean* es el sector automovilístico, que además es una parte fundamental de la economía y de la industria española. Su adaptación a los cambios y el ajuste de los costes de producción y logísticos a lo largo de los años ha dado lugar a que sea uno de los países que más automóviles fabrica del mundo.

### Motivación

Una de las grandes ventajas competitivas hoy en día es la rápida respuesta ante los requerimientos del cliente. Actualmente, en lo que al sector automotriz respecta, el plazo de entrega de un vehículo desde que el particular lo encarga hasta que lo recibe suele durar meses y, aunque en muchos casos no sea la mayor prioridad, es un factor a valorar por los clientes. Por ello, las principales marcas del sector lo tienen en cuenta a la hora de elegir a sus proveedores para asignarles tareas o proyectos, ya que les va a afectar a su cadena de valor.

Sin embargo, la gran variedad de modelos y características existentes en cada pieza de un automóvil dificulta a la empresa considerada para el estudio, proveedora del sector automovilístico, tener máquinas especializadas para cada modelo. Esto provoca que se fabrique mediante lotes, lo que supone mayor creación de stock y mayor *lead time* de cada uno de los productos, que retrasan finalmente la entrega al cliente.

Por otra parte, la producción en dicha empresa fabrica con estructuras tradicionales, de forma que intentan optimizar el tratamiento de las piezas en todos los aspectos operacionales dentro de su departamento, lo que no siempre produce una mejora del flujo global de la pieza en su paso por la planta de producción. Producir muy rápido proporciona resultados departamentales muy buenos; pero no aporta una mejora del flujo si la siguiente operación tiene un tiempo de ciclo mucho mayor, sino que genera stocks intermedios que, además de no tener ninguna ventaja, producen mayor despilfarro.

De esta forma, se ha detectado una necesidad de estudio del flujo global de un conjunto de piezas a lo largo de su planta de producción con el objetivo de reducir los plazos de fabricación.

La compañía hoy en día está en continuo cambio adaptándose a los requisitos del cliente, por ello es imprescindible reconocer la necesidad de mejora, tener una mente abierta a los cambios y no terminar el crecimiento en ningún momento, de forma que siempre exista un estado futuro, con unas metas y desarrollos que alcanzar. Actuar de otra forma, llevará tarde o temprano, a la extinción de la organización.

### **Objetivo**

El objetivo último de este Trabajo Fin de Grado es reducir el tiempo de fabricación de un producto, desde que el cliente lo solicita, hasta que lo recibe. Para poder conseguir dicho objetivo, hay que fijarse otros objetivos más pequeños que podamos ir llevando a cabo, como reducir todo tipo de despilfarro existente. Mientras se vayan cumpliendo los objetivos y las mejoras propuestas, se estará reduciendo el tiempo total de fabricación del producto.

Aunque hay muchos factores que afectan, como la localización de la empresa respecto a sus clientes o la situación demográfica y del país, hay medidas que, de forma simple y sin gran inversión, pueden ayudar significativamente a reducir el *lead time* de un producto.

Para ello, es necesario hacer un estudio de todo el flujo, desde que llega la materia prima hasta que se entrega el producto al cliente, para abordar el problema. Se utilizará un diagrama de flujo que nos permita evaluar la situación



de partida y la que se quiere alcanzar. Así, se podrán identificar las principales fuentes de desperdicio y, por consiguiente, los principales puntos de mejora.

Debemos tener en cuenta que hay que medir todo aquello que se quiera mejorar, o de lo contrario no se conocerá en qué medida se han alcanzado los objetivos marcados.

Para abordar el problema, nos basaremos en todo momento en la filosofía Lean Manufacturing, cuyos objetivos principales son la eliminación de cualquier desperdicio, y nos conducirá en todo momento hacia la mejora continua. Las herramientas que se describen serán de gran utilidad a la hora de abordar el problema, principalmente el *value stream mapping*.

### **Alcance**

Fijándonos en una empresa proveedora de las principales marcas del sector automovilístico, se parte de la situación actual de los procesos de producción por la que transcurren sus productos.

Para ello, mediante la observación, comprensión y análisis de cada uno de los procesos se realiza un estudio de métodos y tiempos y se definen las herramientas que forman parte de la filosofía Lean Manufacturing. A partir de ellas se pone en práctica un diagrama del flujo de valor necesario para identificar todo tipo de despilfarro, así como identificar el flujo de material e información existente. Esto nos permitirá medir el *lead time* global de nuestro producto en la planta, marcando el flujo del producto mientras se identifican las actividades de valor añadido y los puntos críticos, que nos llevarán al planteamiento en un estado futuro, proponiendo y planteando situaciones de desarrollo que se deberán llevar a cabo y sacando conclusiones de gran utilidad.

Se plantearán mejoras fáciles de llevar a cabo que producen un gran progreso en el flujo del producto y que disminuyen de una manera significativa el *lead time*, así como puntos que se deberán identificar para abordar de forma externa a este Trabajo.

Una de las partes fundamentales es comprender la situación de partida desde un punto de vista global, proponer mejoras y extrapolar resultados para el resto de productos que se fabrican en la planta.

La puesta en marcha de las mejoras no entra dentro del alcance del trabajo; sin embargo, se establecerán los puntos principales, el orden y los pasos a seguir para el momento de llevarlo a cabo.

### Estructura

Este Trabajo Fin de Grado se divide en cuatro capítulos principales.

El primero describe brevemente el origen del sistema de producción de Toyota y el nacimiento del Lean Manufacturing. Se explican los pilares de la filosofía, las herramientas necesarias para implementar la filosofía, la importancia de la implicación humana, las herramientas de estandarización y los pilares fundamentales.

El segundo capítulo explica el proceso productivo actual, describiendo el contexto de la empresa automovilística y los procesos productivos actuales. Se realiza un primer estudio de tiempos, además de la descripción de la situación actual de los procesos considerados mediante una herramienta *Lean*: value stream mapping. A partir de ello se identifican los puntos de interés para potenciar las oportunidades de mejora.

En el tercer capítulo se pretende, mediante propuestas *Lean*, suministrar mejoras para el sistema. Se describe el funcionamiento de un sistema *pull* y, según sus principios, se cambia la forma de controlar la producción. Todos los procesos se ayudarán de un sistema de transmisión de la información que permitirá aumentar la eficiencia de los procesos, aumentando el control de stocks y reduciendo la cantidad. Todo ello se visualizará en un *value stream mapping* futuro que proporcione una visión de las mejoras y facilite su seguimiento y mantenimiento. Se describen las metas que se quieren alcanzar en un escenario futuro basándose en un sistema *Lean*. Finalmente, se explica cómo implementar un proyecto de este tipo.

El cuarto capítulo describe un estudio económico de todas las fases del proyecto, teniendo en cuenta todos los recursos utilizados. Se pretende proporcionar una idea del coste de realización de este proyecto.

Como síntesis, se describen las conclusiones obtenidas tras la realización del presente trabajo, así como las líneas futuras. También se puede encontrar un glosario con los términos principales y la bibliografía consultada para el trabajo.

# 1. Lean Manufacturing

## 1.1 Historia del Sistema de Producción de Toyota

A finales del siglo XIX, la compañía parisina Panhard y Levassor (P&L) era la principal empresa automovilística del mundo. Esta firma nunca fabricaba dos coches iguales debido a que su técnica de producción era la fabricación artesanal. Cada vez que se fabricaba un vehículo era como fabricar un nuevo prototipo. Las piezas, a pesar de que seguían un mismo modelo y las ensamblara el mismo trabajador, nunca conseguían ser iguales y, por tanto, no eran intercambiables, lo que provocaba una baja fiabilidad y un bajo nivel de calidad. Además, se contaba con una mano de obra altamente cualificada, donde sus trabajadores conocían perfectamente los principios del diseño mecánico y los materiales con los que trabajaban, lo que suponía un alto coste de desarrollo.

Después de la Primera Guerra Mundial, Henry Ford, debido a la necesidad de hacer frente a los costes y a la calidad, cambió la fabricación artesana en la que lideraba Europa, por la producción en masa. La clave de la cadena de montaje era la pertinente intercambiabilidad de las partes y la sencillez de su ensamble.

Las características de este tipo de producción cambiaron mucho con respecto a la producción artesanal. Henry Ford creó una nueva forma de organización donde se simplificaron las operaciones, se normalizaron los productos, se redujeron los recorridos y se especializó el trabajo. La mano de obra requerida pasó a ser de baja cualificación debido a la simplicidad de las tareas, y las herramientas se diseñaron específicamente para cada operación. La organización se centralizó y se trató de integrar verticalmente a todos los proveedores.

Sin embargo, el método de Henry Ford solo funcionaba para volúmenes muy altos, para justificar líneas de montaje de alta velocidad, productos que se componían exactamente de las mismas partes, y la necesidad de que el mismo modelo se produjera durante muchos años (diecinueve años en el caso del Modelo T).

Al otro lado del pacífico, a principios del siglo XX, comienzan a surgir en Japón sistemas que aumentaban la productividad de la mano de Sakichi Toyoda, quien fue fundador de la Corporación Toyota Motor Company junto a su hijo Kiichiro Toyoda.

Japón, tras la Segunda Guerra Mundial, había sido diezmado. La mayoría de las industrias se habían destruido y los consumidores tenían poco dinero. Por lo que los precios de los factores y del espacio eran elevados. Solo podían contar con ellos mismos para sobrevivir y desarrollarse.

El mercado de automoción en ese momento era similar al mercado globalizado actual. Había competencia exterior, los precios de los factores eran elevados y había una gran diversidad de la demanda. Se buscaba una forma de ser eficientes sin recurrir a economías de escala.

Eiji Toyoda, presidente de Toyota tras la Segunda Guerra Mundial, visitó la planta de Rouge de Ford en Estados Unidos y regresó a Japón con la idea de adaptar los métodos de producción en masa a los estándares japoneses. Le encargó esa tarea a su ingeniero de producción, Taiichi Ohno, con el objetivo de mejorar el proceso de producción e igualar la productividad de Ford. Pero debido a las condiciones en las que estaba Japón, y a los sistemas de fabricación que tenían en ese momento, no podían igualar la productividad a base de producir en masa.

Toyota debía enfrentarse al nuevo mercado, fabricando variedad de vehículos en la misma línea de ensamble. Esto suponía un cambio rápido de utillaje para pasar a la fabricación de otro producto, ajustando máquinas y capacidad para que los distintos productos pudieran pasar uno a continuación del otro, formando así un flujo continuo. La clave de sus operaciones debía ser la flexibilidad. Fue en ese momento cuando surgió el Sistema de Producción de Toyota (TPS), un sistema de gestión de la producción basado en los conceptos del Just In Time, 'lo que el mercado demanda cuando el mercado lo demanda', y Jidoka, 'control autónomo de defectos'.

A partir de 1970, muchas empresas japonesas entraron en pérdidas. Por ello, el gobierno japonés decidió extender el modelo de gestión de Toyota hacia otras compañías.

En 1982, Eiji Toyoda decidió abrirse a compartir su fuente de ventaja competitiva con el resto del mundo. Para ello, aprobó el acuerdo con General Motors (GM) de crear NUMMI, una 'joint venture' de fabricación de automóviles específicamente para enseñar el modo Toyota a GM. Eso implicaba compartir el sistema de producción de Toyota con su competidor principal.

En 1992 se decidió crear el centro de soporte para proveedores de Toyota, con el propósito de enseñar el TPS a compañías de Estados Unidos. Durante esos años este sistema de gestión tuvo un gran eco en occidente. A partir de ese

momento se empezó a hacer referencia a una filosofía llamada Lean Manufacturing.

El entorno económico estaba sufriendo cambios. De esta forma, los productos japoneses, principalmente automóviles y productos electrónicos, invadieron el mercado mundial. Las características del nuevo mercado globalizado iban cambiando. Se requería entregar productos en cortos plazos, con calidad y buen servicio.

El encarecimiento de los factores hizo que aumentara la competencia y a su vez que se compitiera en costes.

Hasta ese momento, para mantener el beneficio, aumentaban el precio. Pero Japón comenzó a cambiar de mentalidad, y decidió mantener el precio, disminuyendo costes.

$$\textit{Beneficio} = \textit{Precio} - \textit{Coste}$$

Ésta es la forma en que se comportan hoy la mayoría de las empresas. Algo que hoy en día parece tan lógico, en aquellos años provocó una completa revolución en la forma de gestionar las empresas.

El TPS, o lo que se denomina fuera de Toyota como Lean Manufacturing, fue la mejor evolución en el aumento de eficiencia de los procesos de producción después del sistema de producción en masa.

## 1.2 Fundamentos del Lean Manufacturing

*Lean Manufacturing* es un modelo de gestión focalizado en la eliminación de todo tipo de desperdicios durante los procesos de fabricación. Esta filosofía no da nada por definitivo, sino que busca continuamente nuevas formas de hacer las cosas de forma más ágil, flexible y económica.

Su objetivo es eliminar los despilfarros, la inestabilidad e inflexibilidad, que se caracterizan por las palabras japonesas '*muri*', '*mura*' y '*muda*'. Son conceptos que forman parte del *kaizen* o filosofía de mejora continua.

'*Mura*' se refiere a cualquier irregularidad no prevista. Se evita a través de los principios del JIT. Algunos ejemplos son las esperas, defectos o movimientos. Cuando el '*mura*' no se controla, aumenta el '*muri*' y, por lo tanto, el '*muda*'.

‘Muri’ hace referencia a todo exceso o sobrecarga no razonable. Se considera ‘*muri*’ a las actividades innecesarias. Provoca principalmente averías y cuellos de botella. Se evita con la mejora y estandarización de los procesos, diseños adecuados de la planta, técnicas de reducción del tiempo de preparación de utillaje (SMED), mantenimiento productivo total (TPM), y 5S, entre otras.

‘Muda’ significa desperdicio; todo aquello que consume recursos sin aportar valor al cliente; toda actividad que se considere inútil o innecesaria.

Se han identificado ocho tipos de muda; siete fueron identificados por Taiichi Ohno y el octavo fue añadido por Jones y Womack en su libro “*Lean Thinking*” (Jones y Womack, 2012).

- ‘Muda’ de sobre-producción
- ‘Muda’ de exceso de inventario o stock
- ‘Muda’ de retrasos, esperas y paros
- ‘Muda’ de transportes y envíos
- ‘Muda’ de desplazamientos y movimientos
- ‘Muda’ de sobre-procesamiento o actividades que no agregan valor
- ‘Muda’ de rechazos, fallos y defectos
- ‘Muda’ de competencias y talento humano. Desperdiciar el talento existente.

El pensamiento *Lean* no es ninguna filosofía radical ni concepto estático, evoluciona mediante el aprendizaje y la estandarización de nuevas técnicas que se adoptan a cualquier entorno industrial o de servicios. Esta metodología utiliza diversos tipos de herramientas dentro de las cuales está el JIT.

Las etapas de implantación de Lean Manufacturing están representadas en la Figura 1. 1.



Figura 1. 1 Etapas Lean Manufacturing

## 1.3 Herramientas de Planificación y Control

*Lean Manufacturing* busca un sistema flexible, con rapidez de respuesta y bajo inventario.

Las herramientas que se utilizan para construir un sistema *Lean* se distinguen en tres tipos: herramientas de diagnóstico, operativas y de seguimiento. A continuación, se describen aquellas que se han empleado en el presente TFG.

### 1.3.1 Herramientas de diagnóstico

#### *Value Stream Mapping (VSM)*

Es una herramienta que se utiliza para analizar el flujo actual y futuro de material a lo largo de toda la planta de producción, o a lo largo de toda la vida de un producto, desde el proveedor hasta el cliente.

Es una herramienta de gran utilidad dentro de la filosofía *Lean*. Se identifican las actividades que no aportan valor añadido al proceso para analizarlas y tratar de eliminarlas posteriormente. En un VSM se pueden apreciar muchos tipos de desperdicio que se estén produciendo. En definitiva, se usa para crear valor y eliminar desperdicios.

Una vez definido y analizado con detalle el VSM actual, se procede a dibujar el VSM futuro. El objetivo es formar un flujo continuo sin lotes ni sobreproducción, produciendo al ritmo que nos demandan las piezas.

Cuando el VSM futuro esté listo, se realiza un plan de acción para llevar a cabo todas las mejoras tomadas.

A lo largo de este trabajo se detalla la realización de un VSM.

### 1.3.2 Herramientas operativas

#### *Kanban*

El *kanban* es un sistema de información basado en tarjetas que controlan la producción y en la que se comunican todas las partes del proceso, desde el cliente hasta el proveedor, pasando por todas las fases de producción de la empresa.

Se basa en el funcionamiento de un supermercado empleando tarjetas de señalización visual como órdenes de trabajo. Éstas se pegan y despegan de los contenedores, o unidades de embalaje, cuando son utilizados, para reponer esos materiales.

Este sistema cumple dos funciones. Por un lado, reduce los stocks, lo que provoca sacar a la vista los problemas y, por tanto, sacar oportunidades de cambio y mejora. Por otro lado, controla la producción de forma que se integran todos los procesos existentes y no se actúa de forma individualizada.

Existen diferentes tipos de *kanban*:

- *Kanban* de fabricación: se desplazan con órdenes de producción.
- “*Kanban* de transporte: transmiten de un centro de trabajo a su predecesor las necesidades de material” (Aráuzo, 2016, p.20).
- “*Kanban* de proveedores: relacionan el centro de recepción de materia prima con el centro de fabricación” (Aráuzo, 2016, p.20).
- “*Kanban* urgente: en caso de escasez de una pieza o elemento” (Aráuzo, 2016, p.20).
- *Kanban* orden de trabajo: “se emite con ocasión de cada orden de trabajo” (Aráuzo, 2016, p.20).
- “*Kanban* señal: para agrupar lotes” (Aráuzo, 2016, p.20).
- “*Kanban* virtual: informático” (Aráuzo, 2016, p.20). Las tarjetas pueden reemplazarse por dispositivos electrónicos.

El *kanban* implica unos requisitos que hay que tener en cuenta.

- Cada elemento tiene una única ubicación. Por tanto, proviene de un solo lugar y tiene un camino claramente definido a lo largo de la ruta de fabricación.
- Cada centro de trabajo debe establecer una zona específica para depositar sus inputs y otra para sus outputs.
- “Cualquier puesto de ensamblaje, ya sea intermedio o final, que utilice distintas piezas o componentes, deberá dividir su zona de inputs con lugares para cada uno de ellos” (Aráuzo, 2016, p.22).
- De la misma forma, “cualquier puesto que suministre piezas para más de un proceso, deberá dividir su zona de outputs con lugares para cada uno de ellos” (Aráuzo, 2016, p.22).
- En cada una de las zonas de ensamblaje se necesitará instalar uno o más buzones que servirán para la recogida de los *kanban*.

También existen unas reglas que hay que seguir.



- “Las piezas defectuosas no deben pasar al siguiente proceso” (Aráuzo, 2016, p.27). Se debe entregar calidad cien por cien en todos los productos. El proceso que descubra una pieza defectuosa deberá comunicarlo a todas las personas implicadas y se deberá buscar una solución para eliminar la causa de raíz.
- “El proceso posterior recogerá del anterior los productos necesarios en las cantidades precisas del lugar y en el momento oportuno” (Aráuzo, 2016, p.27).
- “Se reabastecen solo los productos que fueron retirados” (Aráuzo, 2016, p.27). Cada proceso debe tratar de limitar su inventario produciendo solamente lo que la tarjeta *kanban* indica, así como ir reduciendo la cantidad de tarjetas y por tanto la cantidad de productos en proceso,
- “Las piezas no deben ser producidas o transportadas sin una señal *kanban*” (Aráuzo, 2016, p.27). Esta regla minimizará el inventario del producto en proceso (WIP), al abastecer solamente lo que pide la tarjeta y cuando lo pide. De esta forma, también, surgirán y se solucionarán los problemas que aparecen al reducir el inventario.
- “La señal de *kanban* debe estar colocada en las piezas o en el contenedor” (Aráuzo, 2016, p.28).
- “La cantidad de piezas en el contenedor debe ser igual al número en la señal de *kanban*” (Aráuzo, 2016, p.28).

Si los procesos actuales tienen grandes fluctuaciones, antes de iniciar la implementación del *kanban* es necesario iniciar un proceso de suavización de la producción. Para ello, el personal debe conocer y poner en práctica las herramientas para adecuarse a este sistema. Estas herramientas se explican a continuación.

### *SMED (Single Minute Exchange of Die)*

SMED es una herramienta para reducir el tiempo de cambio de utillaje (preparación o setup de los equipos), pero también puede utilizarse, con pequeñas modificaciones, para mejorar cualquier operación. Es considerado un método de mejora continua. (Aráuzo, 2016, p.29)

El tiempo de preparación es el plazo que pasa desde que sale o termina la última pieza de un lote hasta que se empieza o se obtiene la primera pieza buena del lote siguiente. (Aráuzo, 2016, p.29)

A continuación, se describe el procedimiento para implantar el SMED.

En primer lugar, se debe realizar una *evaluación de la situación actual*, definiendo y cuantificando los objetivos. Aunque SMED significa cambiar en menos de 10 minutos, el objetivo puede variar dependiendo de cada situación.

Una vez cumplida la primera fase, debe realizarse una *selección y formación del equipo* que va a participar en el proyecto. A pesar de que las personas que forman el equipo conocen muy bien el proceso, suele ser necesario y recomendable realizar formación sobre el funcionamiento y mantenimiento de la máquina, ajustes, mediciones y herramientas básicas de calidad, así como nociones sobre el trabajo en equipo entre otras.

Posteriormente, se debe *documentar la situación actual* para facilitar el análisis del cambio. “La forma tradicional es que un especialista identifique y cronometre cada una de las tareas” (Aráuzo, 2016, p.31). Pero una alternativa es la grabación en vídeo. Esta opción tiene muchas ventajas. Entre otras, visualizar cada operación repetidas veces, reunir más opiniones, ser objetivo con los hechos, realizar un análisis de forma más sencilla, dar formación al personal y analizar desviaciones.

Una vez llegados a este punto, se *clasifican las operaciones en internas y externas*. Las operaciones internas son aquellas que se tienen que realizar con la máquina parada (limpiar máquina, posicionar, ...), mientras que las operaciones externas son aquellas que pueden realizarse mientras la máquina está operando (buscar, limpiar utillaje, ...). “En esta fase deben estudiarse y clasificarse todas las operaciones relacionadas con la preparación” (Aráuzo, 2016, p.31). Una vez realizada la identificación, se analizan las operaciones internas con el objetivo de convertir alguna operación interna o parte de ella en externa; de esa forma, el tiempo empleado en esa operación se realizará con la máquina en marcha y se reducirá directamente. Además, se trata de mejorar todas las operaciones. El objetivo es reducir al mínimo el tiempo de ajustes; para ello, se debe “estandarizar la operación de preparación, utilizar sistemas de fijación rápida, adoptar medidas de preparación en paralelo, eliminar ajustes y mecanizar algunos procesos de preparación” (Aráuzo, 2016, p.32).

Para conseguir los objetivos, hay que *transformar las oportunidades de mejora en un plan de acción*. El plan debe tener una persona “responsable de realizar y validar cada acción, la fecha objetivo en que debe estar realizada, recursos y costo estimado de su realización y mejora global a conseguir en el cambio” (Aráuzo, 2016, p.33).

“Una vez aprobado el plan de acción, hay que implantarlo y comprobar que el resultado es el esperado. Según se van implantando las acciones, se debe *actualizar el cambio* para conseguir estandarizar las mejoras y que no se

pierdan los resultados. La causa más frecuente de fracaso en estos proyectos es que la dirección y la línea de mando no le dediquen la atención necesaria” (Aráuzo, 2016, p.33).

Para evitar que se degrade el cambio con el paso del tiempo el operario debe *seguir la nueva instrucción de preparación*. Se debe vigilar que los tiempos de cambio no crezcan sin causa justificada; en el caso de que crezcan, será preciso determinar las causas y tomar acciones correctoras necesarias para subsanarlo.

“La dirección debe evaluar la eficiencia del nuevo cambio” (Aráuzo, 2016, p.34) y, si es necesario, elaborar nuevos planes de acción. Además, debe reconocer a los implicados en la mejora.

### *TPM (Total Productive Maintenance)*

En los años setenta, Nakajima, desarrolló en Japón el TPM. Este concepto consiste en la participación del trabajador en las tareas de prevención, detección y corrección de anomalías.

“El trabajador de producción puede realizar limpieza, lubricación y ajuste de máquinas” (Aráuzo, 2016, p.43). Debe adoptar medidas contra averías, proponer operaciones de mantenimiento, detectar y reparar defectos menores, así como mantener el orden y limpieza en el centro de trabajo (5S).

Algunas de las ventajas que crea el TPM son la disminución de averías, el mayor uso de máquinas, la reducción de defectos, la disminución de costes de mantenimiento, la disminución de accidentes y el aumento de la satisfacción de los trabajadores.

### **5S**

Las 5S es una metodología que se debe comenzar a realizar antes de empezar a implantar las técnicas del Lean Manufacturing, ya que ayuda a llevarlas a cabo. El objetivo de esta metodología es lograr lugares de trabajo más limpios y organizados, inculcando un hábito en los trabajadores.

Las 5S se basan en cinco pilares: Seiri, Seiton ... Las tres primeras son acciones concretas que se pueden llevar a cabo de forma inmediata, mientras que las dos últimas ‘eses’ son tareas de mejora continua que deben llevar a cabo

desde cargos más altos, ya que no son simples tareas de campo que se puedan hacer de forma inmediata.

- Seiri (Clasificación): distinguir lo necesario de lo innecesario. Un buen método para comenzar a implantar este pilar es distinguir lo que se utiliza con mucha frecuencia, lo que es probable que se utilice, y lo que nunca se utiliza.
- Seiton (Orden): organizar los elementos necesarios para que todo el mundo pueda encontrarlos, usarlos y devolverlos al mismo sitio. El objetivo es eliminar el tiempo empleado en búsquedas de material.
- Seiso (Limpieza): eliminar fuentes de suciedad. La falta de limpieza supone algunos riesgos: suelo resbaladizo, virutas o materiales que pueden clavarse, etc. así como averías en máquinas ya que la suciedad tapa los indicadores o pueden reducir su ciclo de vida.
- Seiketsu (Estandarizar): con este pilar se trata de mantener lo conseguido, además de señalar nuevas anomalías. Para conseguir este objetivo se deben asignar responsabilidades a los trabajadores y, si es necesario, vigilar que se cumple mediante auditorías 5S.
- Shitsuke (Mantener la disciplina): se trata de imponer los nuevos procedimientos hasta que se transformen en hábito. Conocer los beneficios de las 5S ayuda a mantener la motivación. La disciplina a veces supone imponer al principio las tareas, pero poco a poco se va convirtiendo en hábito. Dentro de una organización, pocas personas tienen autoridad para imponer actividades sobre otras, por eso, es muy importante el apoyo de la dirección y del jefe de sección.

Los puestos de trabajo que tienen implantada esta metodología ven reducir los desplazamientos inútiles, mejorar la seguridad de las personas, aumentar la motivación de los equipos y desarrollar la disciplina.

Las 5S tienen mucha relación con la prevención de riesgos laborales: un suelo limpio puede evitar caídas, mientras que tener almacenes ordenados evitan apilamientos y sus consecuentes riesgos.

### 1.3.3 Herramientas de seguimiento

Los indicadores son herramientas de seguimiento necesarias para determinar si estamos trabajando de forma adecuada. Lo que no se mide no se puede mejorar. Por ello, es necesario fijar unos buenos indicadores.

Los indicadores reflejan el rendimiento de una organización. Cada persona en su puesto de trabajo tiene influencia sobre ciertos KPI (*Key Performance Indicator*) y objetivos.

## 1.4 Factor humano

El factor humano es una de las claves fundamentales para poder implantar la filosofía *Lean*.

### 1.4.1 Shojinka

“Shojinka significa variación del número de trabajadores en una sección cuando cambia a su vez la demanda (por disminución o por incremento). Tiene un sentido especial, cuando el número de trabajadores debe reducirse por una disminución de la demanda” (Aráuzo, 2016, p.34).

Para facilitar esta técnica hay que conseguir, por un lado, un diseño apropiado de la distribución en planta (layout) combinando células o líneas en forma de U, ya que este tipo de layout permite que el tipo de tareas a realizar por cada trabajador puede aumentarse o reducirse fácilmente. Por otro lado, es preciso contar con personal versátil y bien entrenado, o dicho de otro modo, trabajadores polivalentes.

Debido a las necesidades del mercado, la polivalencia de los trabajadores es un requisito fundamental en muchas empresas. Ésta se fomenta mediante la rotación de tareas y tiene muchas ventajas: aumenta la motivación, disminuyen los accidentes, se promueve el aprendizaje, mejora la relación entre el personal, aumenta el grado de responsabilidad, y los trabajadores no se sienten perjudicados por la asignación de las tareas.

La rotación de puestos o tareas ayudan a identificar al personal experto, que se puede dedicar posteriormente a enseñar.

Para lograr tener trabajadores polivalentes se necesita emplear tiempo y esfuerzo. La capacidad de producción se puede ver afectada desfavorablemente a corto plazo, mientras que a largo plazo se producirá el efecto contrario.

### 1.4.2 Soikufu

Para alcanzar los objetivos del Just In Time es necesario la mejora de los procesos de producción. Se puede abordar desde dos puntos de vista: la mejora de la automatización y la mejora de las operaciones manuales.

Es preferible abordar las mejoras de las operaciones manuales, ya que no se interrumpe el funcionamiento del proceso, el coste es menor que el de la automatización y los cambios son más fácilmente reversibles. Además, “dado que los trabajadores son los que mejor conocen las operaciones manuales, conviene fomentar su participación en los procesos de mejoras” (Aráuzo, 2016, p.42).

“Soikufu es un programa de recogida y aprovechamiento de ideas y sugerencias de los trabajadores” (Aráuzo, 2016, p.42). Se promueven los planes de sugerencias, que son métodos para promover la participación del personal en la mejora continua de su trabajo. Para ello, se colocan buzones en la planta de producción, donde los trabajadores depositan sus ideas y sugerencias sobre la mejora del trabajo. Los expertos asignados evalúan periódicamente las sugerencias y promueven las viables. Posteriormente, se recompensa monetaria y honoríficamente a las personas que proponen las mejores ideas. Debido a estos planes de sugerencias, se establece una relación estrecha ente los responsables de cada área y los trabajadores y se aumenta la motivación de los trabajadores.

Otra forma de aprovechamiento de ideas de los trabajadores es la formación de círculos de calidad. Son grupos de 5 a 12 trabajadores que tratan aspectos sobre calidad, distribución en planta, mantenimiento, costes y seguridad, entre otros, con el objetivo de promover mejoras. Estos grupos son de participación voluntaria. El propio grupo elige los temas de discusión, y se forma a los trabajadores que participan. De esta forma, se fomentan los grupos de estudio, se desarrollan capacidades individuales, mejora el entorno de trabajo, la integración de los trabajadores y se contribuye a la formación.

## 1.5 Herramientas de estandarización y estabilidad de procesos

### 1.5.1 Heijunka

Hace referencia al alisamiento del programa de producción mediante el control del volumen y la variedad de productos fabricados. Busca reducir el impacto de las variaciones de demanda de cada modelo en el sistema. Permite amortiguar la inestabilidad de la demanda comercial produciendo, en pequeños lotes, varios modelos diferentes en la misma línea de producción. De esa forma, se consigue una demanda total más uniforme que la de cada modelo por separado.

Para poder implantar *heijunka* y trabajar *justo a tiempo* con pocos inventarios es necesario trabajar con lotes pequeños, para lo que se precisa eliminar o disminuir previamente los costos y tiempos de preparación (SMED).

### 1.5.2 Kaizen

El Kaizen (KAI: cambio, ZEN: bien) es otra de las herramientas que lucha contra el desperdicio. Se basa en la mejora continua, y uno de sus pilares fundamentales es el trabajo en equipo.

Aunque esta herramienta parece fácil de llevar a cabo en un entorno empresarial, es complicado si no hay un cambio de mentalidad radical o cambio en la organización.

Los diez pilares principales de esta filosofía son los siguientes:

1. Deshacerse de ideas preconcebidas.
2. No buscar excusas, buscar soluciones.
3. No defender la situación actual, ponerla en cuestión.
4. Es mejor hacer bien rápido, que perfecto más tarde.
5. Si algo no va bien, corregirlo inmediatamente.
6. Buscar soluciones que no cuesten nada.
7. Los problemas son la fuente de las ideas.
8. Para encontrar las verdaderas causas, preguntarse 5 veces ¿por qué?
9. Las ideas de diez personas valen más que los conocimientos de una sola.
10. Siempre podemos mejorar.

El kaizen para llevar a cabo sus ideas y mantener la mejora continua utiliza como herramienta el ciclo PDCA: Plan (Planificar), Do (Hacer), Check (Comprobar), Act (Actuar).

Este ciclo, desarrollado por Edwards Deming, es una herramienta que sirve para implantar un sistema de mejora continua constantemente, como se aprecia en la Figura 1. 2.

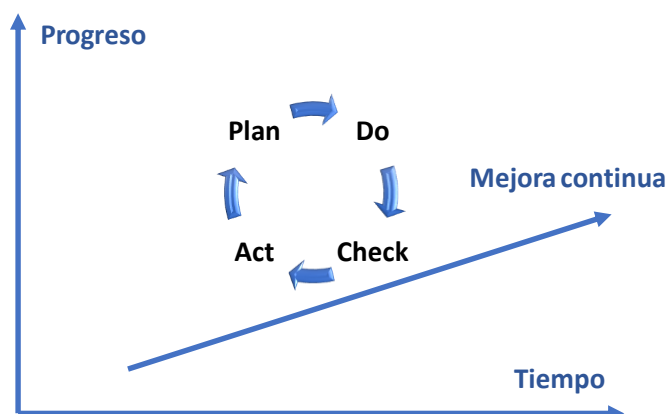


Figura 1. 2 Ciclo PDCA

## 1.6 Pilares fundamentales

Para llevar a cabo el Lean Manufacturing hay dos pilares fundamentales sobre los que esta filosofía se apoya: Just In Time y Jidoka. Sin embargo, todas las filosofías y herramientas que comprenden son necesarias para llegar a alcanzar la perfección, que es la meta de la mejora continua.

### 1.6.1 Just In Time

El Just in Time (JIT) es una filosofía de trabajo que define la forma en que debería optimizarse un sistema de producción. Sus objetivos se resumen en los Cinco Ceros (Archer y Seryes, 1984).



## Cinco ceros

### Cero stocks

Los inventarios son un despilfarro: ocupan espacio; requieren vigilancia y suponen tener inmovilizados recursos monetarios, lo que se convierte en un coste para la empresa; tienen gastos de manipulación; existe riesgo de deterioro. Además, reducen la rentabilidad: su coste reduce los beneficios y aumentan el activo.

$$R = \frac{\text{Beneficio}}{\text{Activos}} = \frac{\text{Ingresos} - \text{Costes}}{\text{Activos}}$$

Cuando los niveles de existencias son altos, se ocultan problemas como: incertidumbre en las entregas, averías, falta de calidad, demanda incierta o cuellos de botella, que se originan debido a una gestión inadecuada. Si se produce cualquiera de estos problemas las operaciones subsiguientes no tienen que detenerse si existe stock suficiente. Mientras que los problemas se oculten detrás de los altos niveles de existencias, estos no serán identificados y eliminados, y seguirán siendo responsables de muchos tipos de ineficacias.

Hay una metáfora que utilizan los japoneses para explicar el espíritu del JIT. Cuando la producción se lleva a cabo por grandes lotes, la elevada cantidad de stocks que se ocasionan, ocultan los problemas, de la misma forma que las mareas altas le ocultan al navegante las rocas peligrosas. Cuando baja la marea, las rocas peligrosas quedan a la vista como se ve en la Figura 1. 3. Si se solucionan los problemas que originan el aumento de inventario, debería reducirse éste sin afectar al servicio. Sin embargo, algunas veces, debido a la resistencia al cambio, la cantidad de stocks almacenados no se reduce después de la mejora. En ese caso, es necesario reducir ese nivel forzándolo.

En las empresas, el agua representa los stocks, y las rocas los diversos problemas que quedan ocultos por estos. El espíritu JIT consiste en hacer aparecer los problemas para resolverlos. Esto se consigue disminuyendo poco a poco los stocks innecesarios de productos en curso y productos terminados.



Figura 1. 3 Representación del nivel de inventario según las ineficacias de los procesos. Adaptación de Domínguez Machuca J. A. (1995). *Dirección de Operaciones: aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios* (p. 203)

### Cero defectos

Los defectos causan costos e irregularidades que acaban originando los stocks. Se pueden generar, entre otras razones, por reproceso y rectificación, errores administrativos, asistencia postventa, achatarramiento, devoluciones a proveedores, pérdida de rendimiento o pérdida de imagen.

Cualquier defecto genera un coste. Para disminuir los costes de defectos, se debe hacer las cosas bien a la primera. Para ello debemos producir con “máquinas de calidad uniforme 100%, tener calidad concertada con los proveedores, programas participativos de mejoras, mantenimiento preventivo y control autónomo de defectos” (Aráuzo, 2016, p.5) entre otros.

### Cero averías

Las averías causan retrasos y paros en la producción. Es otra de las causas que hace que se mantengan los stocks.

Para disminuir las averías los operarios deben estar implicados en las tareas de mantenimiento. Además, se deben tener programas de mantenimiento productivo total, y orden y limpieza en el centro de trabajo.

### Cero plazos

El plazo de entrega es una de las variables competitivas de los productos de una empresa junto al precio y la calidad.

“La reducción de los plazos permite dar un servicio adecuado al cliente y aumentar la flexibilidad para adaptarse a la demanda” (Aráuzo, 2016, p.6).

Para disminuir los plazos hay que disminuir todo tipo de tiempos no necesarios, como tiempos de espera, de preparaciones, de tránsito y de inspección. Los tiempos no necesarios son otra causa de que se produzcan stocks.

### Cero papeles

“El JIT insiste en la búsqueda de la simplicidad” (Aráuzo, 2016, p.7). Intenta eliminar todo lo posible cualquier burocracia. La reducción de esta permite entre otras cosas, disminuir el plazo de toma de decisiones y contar con información más rápida y precisa.

Para disminuir la burocracia hay que evitar duplicidades de datos, así como usar medios informáticos para captar y distribuir la información.

## 1.6.2 Jidoka

Es un término japonés, creado por Takichi Toyoda, que significa ‘automatización con un toque humano’. “Se basa en incorporar al proceso el control de calidad, de forma que la calidad se produzca y no se controle” (Aráuzo, 2016, p.40). Es un método para descubrir los defectos cuando ellos ocurren, y detener automáticamente la producción, impidiendo que se produzcan más piezas defectuosas. Es mucho más eficaz pararse cuando se tiene un problema, que inspeccionar y reparar problemas de calidad después de hecho.

A continuación, se describen elementos útiles para incorporar el control de calidad a los procesos.

Uno de ellos es la parada automática. Para producirla, se instalan dispositivos o sensores que detectan problemas y detienen líneas. Con ellos, se otorga a los trabajadores la autoridad necesaria de parar una línea de producción o activar

un sistema de alerta, en caso de que se produzca un problema, para que acudan en su ayuda y se resuelva el problema de raíz.

Los sistemas *Andon* son sistemas de señalización que provocan la alarma o detención de un equipo para avisar y resolver un problema de calidad o un proceso o actividad que no funciona correctamente. Van acompañados de sistemas de señales visibles y/o audibles que permiten fácilmente identificar la fuente y el tipo de problema mediante códigos de colores. “La palabra *andon* significa cuerda en japonés, y hace referencia a una cuerda que permite al operario activar el sistema de alerta” (Aráuzo, 2016, p.40).

Los sistemas *poka-yoke*, son técnicas de calidad que se aplican con el fin de impedir errores en las operaciones de producción y garantizar el cien por cien de calidad en los productos. *Poka-yoke* es una expresión japonesa que significa ‘a prueba de error’. Las claves para considerar un elemento de inspección como el *poka-yoke* es que sea barato, simple e ingenioso. Deben crearse de forma que el operario pueda reaccionar de forma inmediata a su error, y cuando la causa raíz sea un error humano u olvido.

La idea fue introducida en los años 60 por el ingeniero Shigeo Shingo (Toyota), quien propuso dos alternativas: *poka-yoke* de prohibición y de detección. Los de prohibición imposibilitan el error, ya que no es posible que se produzca ni es posible entregárselo al cliente defectuoso. Los de detección resaltan el error cometido, es decir, cuando el error se comente salta una señal, y según si es de alerta o de control, puede llegar a entregarse o no, defectuoso al cliente. Los únicos *poka-yoke* que proporcionan garantía asegurada son los de control y prevención (o prohibición).

Otro de los elementos del Jidoka es la solución de problemas. Buscar la causa raíz de problemas y eliminarla para que no vuelva a ocurrir. El método más usado para este análisis es preguntarse 5 veces por qué. La solución permanente puede ser sistemas *poka-yoke*.

## 1.7 Implantación de un sistema Lean

Para implantar un sistema *Lean*, de forma general, se deben seguir una serie de fases. Pero antes de comenzar la implantación de cada una de ellas debemos adquirir un fuerte compromiso por parte de la dirección, seleccionar un equipo y definir el alcance del proyecto.

En primer lugar, hay que *extender la educación a toda la organización*, así como empezar a aplicar *Lean* en el trabajo diario. Realizar círculos de calidad, aplicar las 5S y realizar sugerencias.

Posteriormente se debe *mejorar los procesos*. Aplicar el SMED, hacer una distribución de la planta adecuada a los procesos que se realizan, conseguir trabajadores polivalentes, así como poner en marcha el TPM y Jidoka.

A continuación hay que comenzar a nivelar la producción y a realizar *kanban*. Ir reduciendo los inventarios a medida que el sistema va funcionando.

Por último, mejorar la relación con los proveedores. El JIT considera al proveedor como el inicio del sistema productivo. Conviene que estos realicen entregas frecuentes de pequeñas cantidades y de calidad asegurada.

La empresa debe tener un número reducido de proveedores. Así, cada proveedor alcanzará volúmenes de producción más altos, y estos aprovecharán economías de escala. Al tener pocos proveedores deben estar cuidadosamente seleccionados para evitar riesgos. Su situación cerca del cliente facilita las entregas rápidas, frecuentes y pequeñas, así como el contacto. Realizando contratos a largo plazo, se permite al proveedor realizar inversiones con mayor seguridad y se mejoran las relaciones. Para trabajar con la filosofía del JIT se necesita compromiso de entregas seguras y frecuentes.



## 2. Proceso productivo actual

### 2.1 Contexto de la empresa

La industria española del automóvil tiene gran peso tanto en la industria global como en la economía interior. Dentro de este sector muchos de los componentes se externalizan de las empresas principales, realizándolos otras compañías. Esto provoca que haya una gran cantidad de organizaciones que se dediquen a fabricar cualquier pieza o elemento del que se compone un automóvil, especializándose en esa tarea.

El estudio del presente trabajo se centra en una compañía proveedora del sector de la automoción, situada en el centro de Castilla y León, que desde hace tres décadas se dedica al sector automovilístico. A lo largo de su trayectoria ha formado parte de diversas empresas, formando parte, hoy en día, de un grupo que tiene presencia en todo el mundo.

Esta planta ha sabido irse adaptando a las diferentes situaciones del mercado, lo que hace que hoy en día adopte un gran número de proyectos de las principales marcas del sector automovilístico como Volkswagen, Renault, Mercedes Benz y Ford, entre otras.

Los procesos más destacables para la fabricación de piezas de exterior dentro de la planta son la inyección de plásticos, las líneas de pintura, y el montaje de piezas.

El estudio del proceso actual se basa en una familia de productos que forman parte del mismo automóvil y que, por tanto, se envían al mismo cliente. Estos productos solo comprenden una pequeña parte de la producción total de la planta. Es un kit de piezas y componentes ensamblados que forman parte del exterior de un vehículo.

### 2.2 Descripción del sistema productivo

Para los productos objeto de estudio hay gran cantidad de trabajadores, así como departamentos y proveedores involucrados en la producción de estas piezas.

Para poder realizar mejoras en los procesos, en primer lugar, hay que conocer perfectamente cada uno de ellos desde un punto de vista particular y global.

Cada conjunto final está formado por una serie de componentes, además de una pieza inyectada y otra pintada, tal y como se indica en la Figura 2. 1.

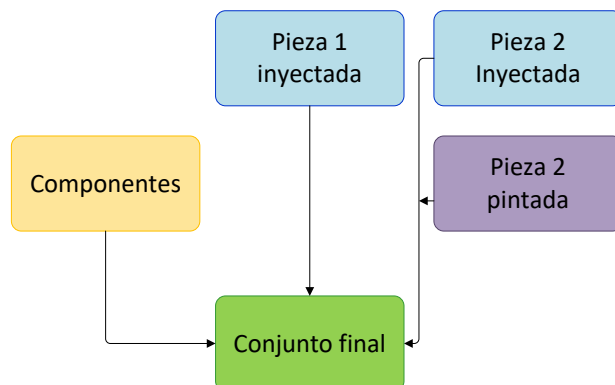


Figura 2. 1 Composición de cada conjunto final

La planta tiene una distribución tradicional por procesos como se ve en la Figura 2. 2. A partir de un estudio realizado de la situación actual, se va a explicar el funcionamiento de cada uno de ellos, así como la planificación actual de la planta.

## Inyección de piezas de plástico

Éste suele ser el primer proceso que se lleva a cabo dentro de la planta de producción. En algunos casos se omite, bien porque la pieza inyectada llegue desde un proveedor externo, o bien porque lo que se utiliza son otro tipo de componentes que no se fabrican mediante inyección.

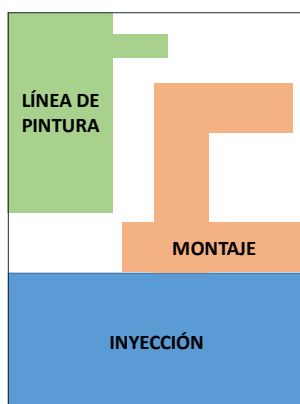


Figura 2. 2 Layout general de planta



Existen distintas máquinas en las que se inyectan las piezas, pero dado que cada pieza suele tener un único molde, no hay tantas máquinas como moldes. Éste es un factor a tener en cuenta ya que, cuando se quiera introducir un molde concreto en una máquina, hay que tener en cuenta los posibles problemas de capacidad.

Una vez que se introduce el molde en la máquina se fabrican lotes grandes. En este proceso, una de las grandes penalizaciones es el tiempo de preparación de molde, que dura 45 minutos aproximadamente. Cuando se extrae la pieza inyectada de la máquina, se le hacen las operaciones necesarias y se introduce en su embalaje determinado. Una vez que éste se llena, el carretillero deposita otro vacío para que se realicen las mismas operaciones. Mientras tanto, se traslada el contenedor lleno a su zona de almacenaje. Actualmente, la zona de almacenaje puede variar si su ubicación habitual está completa.

Se ha hecho un estudio de los tiempos de ciclo de cada pieza en su máquina correspondiente, mediante la técnica de cronometraje obteniendo los resultados de la Tabla 2. 1. En esta tabla, la denominación 'soporte' se utiliza para designar a la pieza inyectada 1 de la Figura 2. 1, mientras que 'pieza' se utiliza para referirse a la pieza inyectada 2 que posteriormente pasará por la línea de pintura.

Tabla 2. 1 Cadencia de cada pieza en el proceso de inyección

	Piezas/hora
Pieza A	100
Soporte A	100
Pieza B	84
Soporte B	130
Pieza C	84
Soporte C	130
Pieza D	98
Soporte D	170
Pieza E	Proveedor
Soporte E	Proveedor
Pieza F	120
Soporte F	120

## Línea de pintura

El proceso de pintura es, normalmente, el proceso posterior al de inyección. Las piezas que deban entregarse pintadas, cuando estén programadas para ello, se introducirán en la línea de pintura.

En la Figura 2. 3 se representa la línea de pintura con su respectiva zona de carga y descarga de piezas.

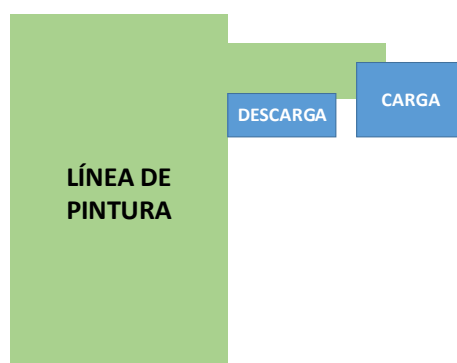


Figura 2. 3 Representación de la línea de pintura

En ésta se pueden diferenciar tres partes. Por un lado, la carga de las piezas a la línea de pintura, en la que se colocan unos bastidores que las sujetan de forma que tengan la posición adecuada para entrar en la línea. Una vez cargadas, las piezas van a pasar por diversas cabinas durante cuatro horas y media, hasta finalmente llegar a la última parte del proceso donde las piezas se descargan y se embalan en su contenedor correspondiente.

Los bastidores son diferentes según el modelo de cada pieza: difieren unos de otros en el número de piezas que van en cada uno, así como en la disposición y el diseño. Dependiendo del bastidor que estemos usando debemos dejar una distancia establecida entre unos y otros. En la Figura 2. 4 se representa un bastidor con una pieza colgada, aunque tiene capacidad para tres piezas.

El número de piezas por bastidor, así como la distancia entre ellos y el tipo utilizado por cada modelo de pieza, está establecido en la Tabla 2. 2.

Se dispone de un total de 17 colores distintos para pintar las piezas. Dependiendo de la demanda del cliente debemos hacer más o menos cambios de color, lo que se traduce en pérdidas de tiempo y en un gasto de dinero en productos de limpieza, ya que el tiempo que se consume con cada cambio de color equivale al tiempo que transcurre cuando se pinta un bastidor.

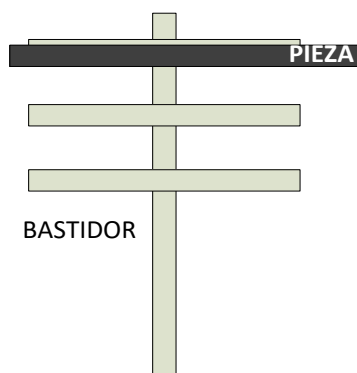


Figura 2. 4 Representación de un bastidor con una pieza colgada

Tabla 2. 2 Características de los bastidores

	Nº piezas/bastidor	Distancia (m) entre bastidores	Tipo de bastidor
PIEZA A	3	2	B1
PIEZA B	3	1,6	B2
PIEZA C	6	2	B2
PIEZA D	3	2	B3
PIEZA E	4	1,6	B3
PIEZA F	3	1,6	B4

## Montaje

Ésta es la última parte del proceso antes del envío al cliente. Se ensamblan todas las piezas y componentes necesarios para formar el conjunto final. Posteriormente, formando parte del mismo proceso, se procede a embalar las piezas en su contenedor específico.

Las unidades que van en los contenedores específicos finales no tienen por qué ser iguales o incluir el mismo número de piezas que los que se usan a lo largo de todo el proceso.

Para cada uno de los conjuntos de piezas que hay que enviar al cliente, se usa un contenedor determinado establecido por el mismo. Cada uno con diferente cantidad de piezas, no pudiendo mezclar en el mismo contenedor diferentes piezas ni colores. Cada contenedor está hecho de un tamaño para meter la pieza adecuada, es decir, no podemos utilizar indistintamente un contenedor u otro. El número de piezas por contenedor que tenemos que entregar al cliente se indica en la Tabla 2. 3.

Cada uno de los procesos de montaje tienen una zona de producción y cadencia determinada, importante a la hora de conocer la capacidad, como se ve en la Tabla 2. 4.

Tabla 2. 3 Número de piezas por contenedor que se envían al cliente

	Nº piezas/contenedor
PIEZA A	12
PIEZA B	32
PIEZA C	32
PIEZA D	16
PIEZA E	28
PIEZA F	20

Tabla 2. 4 Cadencias del proceso de montaje

	Piezas/hora
PIEZA A	14
PIEZA B	30
PIEZA C	25
PIEZA D	29
PIEZA E	41
PIEZA F	26

## Planificación actual

La planificación actual se realiza mediante un sistema *push*, es decir, se programa según la previsión del cliente. El cliente envía la planificación al departamento de expediciones, que se encarga de distribuir la información a todos los departamentos. Por esa razón, cada departamento fabrica lo que considera necesario según ese programa tratando de optimizar los recursos de su zona. En muchas ocasiones, se fabrica sin que haya relación entre unos departamentos y otros. Las piezas son ‘empujadas’ por el que produce.

Según ese sistema, al finalizar cada proceso las piezas son ‘empujadas’ hacia el siguiente. El empuje normalmente surge cuando se fabrica acorde a un programa que predice lo que el siguiente proceso va a necesitar, aunque es

prácticamente imposible cumplirlo. Los programas son cambiantes y la producción rara vez actúa exactamente como el programa dice. Cada proceso, al tener su propio programa, actúa de forma aislada y establece su tamaño de lote produciendo al ritmo que les convenga de forma individual, pero no desde la perspectiva del flujo del valor global.

En la Figura 2. 5 se representa cómo funciona el sistema *push*.

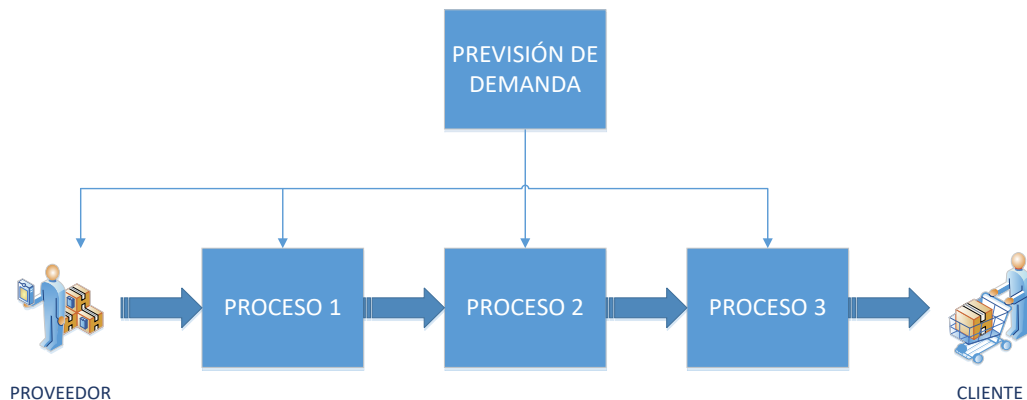


Figura 2. 5 Representación de un sistema *push*

Además, cada planificador pasa la programación a los operarios, teniendo que buscar ellos mismos, en muchas ocasiones, las cantidades necesarias del proceso anterior para poder realizar su trabajo y entregar las piezas a tiempo al cliente. No se sigue el sistema FIFO (*First In, First Out*).

Por otra parte, todos los trabajadores de los procesos se comunican con el carretillero, ya que es quien les realiza todo el movimiento de material pesado. Actualmente, la manera de comunicarse con el carretillero es de palabra, sin tener en cuenta el tiempo productivo que se pierde en esos momentos.

A la hora de planificar, se deben tener en cuenta las cantidades como las capacidades y las cadencias de cada proceso productivo.

En la Tabla 2. 5 se indica el número de piezas de cada conjunto que se ensamblan en un coche. Los casos en los que hay más de una corresponden a los lados derecho e izquierdo del coche. Las piezas que conforman el mismo conjunto, tanto derechas como izquierdas, se inyectan en el mismo molde, se pintan en los mismos bastidores y se montan en la misma mesa de montaje. Los soportes no se inyectan en el mismo molde que las piezas que posteriormente van a la línea de pintura. Sabiendo la demanda diaria de coches podemos saber fácilmente el número de piezas de cada tipo que necesitamos.

Tabla 2. 5 Número de conjuntos de piezas por coche

	Piezas/ coche
Conjunto A	1
Conjunto B	2
Conjunto C	2
Conjunto D	2
Conjunto E	2
Conjunto F	2

Para evaluar nuestro proceso productivo actual y plantear las posibles mejoras del flujo de material e información vamos a utilizar el *value stream mapping*.

### 2.3 Mapa de flujo de valor actual

Existen diferentes formatos para dibujar un diagrama de flujo, como los diagramas *Tortuga*, *Pulpo* o *SIPOC* (*Supplier – Inputs – Process – Outputs – Customer*). Sin embargo, se va a utilizar el *mapeo de la cadena de valor* para llevar a cabo el estudio, debido a que este tipo de diagramas se centra en rutas críticas, mientras que los anteriores comprenden todos y cada uno de los elementos.

Un *flujo de valor* son todas las acciones, tanto de valor añadido como sin valor añadido, que se requieren actualmente para fabricar un producto a través de los procesos. Es el flujo de producción desde el proveedor hasta el cliente.

Para mejorar el flujo de valor, hay que centrarse en los requerimientos del cliente. De otra forma, estaremos mejorando el flujo sin entregar al cliente lo que realmente solicita.

Para realizar un VSM futuro hay que plantear, en primer lugar, el estado actual. Para ello, se irán definiendo, paso a paso, las partes integrantes de un diagrama de flujo de valor.

#### Cliente

En primer lugar, dibujamos al cliente y los datos principales referidos a él. Para explicar este diagrama, lo haremos en torno a una de las piezas del estudio:

conjunto B. De esta forma, analizaremos este proceso y extraeremos conclusiones comunes para el resto de las piezas del estudio.

En la Tabla 2. 6 se resume la información que se ha explicado en apartados anteriores.

Tabla 2. 6 Características del conjunto B

CONJUNTO B	
Demanda diaria	420 piezas
Nº piezas contenedor de envío a cliente	32 piezas
Nº turnos cliente	2 turnos

Por tanto, considerando un mes con 22 días laborables:

$$420 \frac{\text{piezas}}{\text{día}} \cdot 22 \frac{\text{días}}{\text{mes}} = 9.240 \frac{\text{piezas}}{\text{mes}}$$

En el mapa de flujo de valor aparecerá como se indica en la Figura 2. 6.

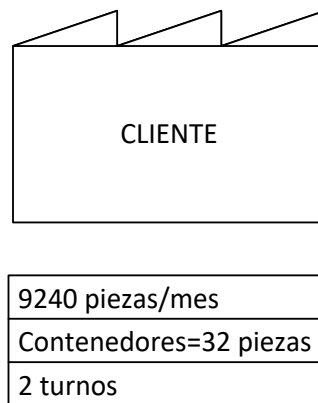


Figura 2. 6 Representación del cliente en el mapa de flujo de valor actual

## Procesos de producción

Los procesos de producción, que por regla general indican flujos continuos, se identifican mediante cajas de procesos.

En la Figura 2. 7 están representados los procesos principales de la planta, aunque en ciertos conjuntos existe algún proceso a mayores. Mediante un icono en la caja de cada proceso se indica el número de operarios asignados para realizar esa tarea.

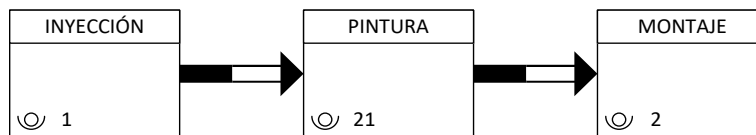


Figura 2. 7 Representación de los procesos en un VSM

Debajo de cada proceso, se escriben los principales datos de ese proceso, como en la Figura 2. 8.

C/T = izq+der=86 s
C/O = 2700 S
15 h
EPE = 3 días
Uptime=98%

Figura 2. 8 Representación de una caja de datos de proceso

En las cajas de datos se suelen poner características del proceso como:

- Tiempo de ciclo (C/T): tiempo que transcurre desde que una pieza sale del proceso hasta que la siguiente pieza sale del mismo proceso, en segundos.
- Tiempo de trabajo disponible en ese proceso.
- Porcentaje de utilización o funcionamiento de las máquinas.
- Medida del tiempo que transcurre desde que se hace un lote hasta que se fabrica el siguiente lote. 'Cada lote cada...' (EPE) es una medida del tamaño de lote en producción.
- Porcentaje de rechazo.

## Inventario

También se mide el inventario. Éste se representa con triángulos, y se indica tanto la cantidad de inventario como el tiempo que la pieza permanece almacenada, como se puede ver en la Figura 2. 9.





Figura 2. 9 Representación del inventario

En nuestro caso, después del proceso de montaje se crea inventario, y posteriormente se cargan al camión los contenedores necesarios. Se dibuja el medio de transporte que traslada las piezas desde la planta hasta el cliente, así como la frecuencia con la que las lleva (ver Figura 2. 10).

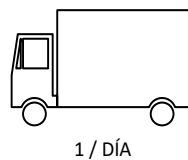


Figura 2. 10 Representación transporte por carretera en un VSM

Las flechas de envío externo, tanto de proveedor a la planta, como desde la empresa hacia el cliente, se representan mediante la flecha representada en la Figura 2. 11.



Figura 2. 11 Representación flecha de envío en un VSM

## Proveedor

También se representa al proveedor, y se indica el flujo de material desde el proveedor hasta nuestra planta. Indicamos el medio de transporte y la frecuencia con la que hace envíos.

## Flujo de información

El flujo de información se representa mediante flechas con la frecuencia. Si la señal es electrónica, es una flecha quebrada, mientras que si la información es manual se representa con una flecha recta. En la Figura 2. 12 se aprecian las diferencias entre cada una de ellas.

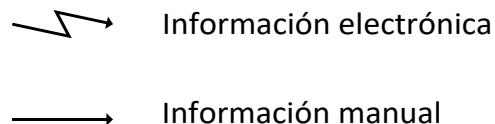


Figura 2. 12 Representación del flujo de información en un VSM

Además, como la producción se realiza mediante un sistema *push*, utilizamos la flecha representada en la Figura 2. 13, que indican que el material está siendo empujado hacia el siguiente proceso.



Figura 2. 13 Flecha de empuje en un VSM

## Control de la producción

El departamento de control de la producción se representa con una caja de proceso también, y en caso de que se use MRP (*Materials Requirements Planning system*) se añade en ese cuadro (ver Figura 2. 14).



Figura 2. 14 Cuadro de control de la producción en VSM

Como se indicó en la descripción del proceso, fabricamos mediante un sistema *push*, ya que se pueden identificar movimientos de materiales o piezas que son 'empujadas' por el que produce, independientemente de las necesidades reales del cliente.

Con un diagrama de flujo de valor es mucho más fácil apreciar el orden del flujo de material e información que en un simple layout.

Cuanto menos tiempo pase una pieza en la planta de producción, menor va a ser el tiempo que transcurre desde que se paga por la materia prima hasta que se recibe lo pagado por el producto terminado que ha sido creado con esa materia prima.

Éstas son algunas de las medidas *Lean* que se reflejan en la línea de tiempo que aparece debajo de cada uno de los procesos e inventarios del diagrama:

- Tiempo de ciclo (Cycle Time C/T).
- Tiempo de valor añadido (VA): tiempo de trabajo que transforma el producto en algo que el cliente está dispuesto a pagar por ello.
- *Lead time* (L/T): tiempo que permanece una pieza en planta, desde que llega la materia prima hasta que se envía al cliente.

Normalmente, el tiempo de valor añadido es menor que el tiempo de ciclo, y a su vez, son menores que el *lead time*. El *lead time* (en unidad de tiempo) para cada triángulo de inventario se calcula como la cantidad de inventario dividida entre la cantidad solicitada por el cliente en esa unidad de tiempo. Después, calculamos el tiempo empleado en operaciones de valor añadido, y lo comparamos con el *lead time* total.

Durante un proceso, consideramos iguales el *lead time* y el tiempo de ciclo. Sin embargo, en muchos procesos, ambos conceptos no son iguales al tiempo que llevan las operaciones de valor añadido. De esta forma, creamos nuestro mapa de flujo de valor actual, representado en la Figura 2. 15. Con este diagrama estudiamos los resultados obtenidos.

El cliente envía a nuestra empresa una señal electrónica de predicción de un mes, y de forma fiable cada dos días. El departamento de producción envía la planificación del cliente a cada uno de sus procesos para que sean programados. Cada uno planifica su zona y, de la misma forma, se va creando un plan de necesidades de material que se envía al proveedor. Debido a la cantidad de granza que se usa en los procesos de inyección, se recibe material cada día.

Analizando el tiempo empleado en operaciones de valor añadido y el tiempo total que pasa un material en la planta de producción, observamos que, para el conjunto B, solamente el 2,3% de las operaciones son de valor añadido.

Aunque el VSM se ha planteado para el conjunto B, podemos extrapolar los resultados a todos los conjuntos del estudio, ya que cada uno de los tiempos varían de forma muy pequeña con respecto a este conjunto. Podemos decir que, en torno a un 2,5% de las operaciones que realizamos son de valor añadido.

Para aumentar este porcentaje, debemos fijarnos metas medibles, así como estudiar posibles oportunidades de mejora, como se va a explicar en los siguientes apartados.

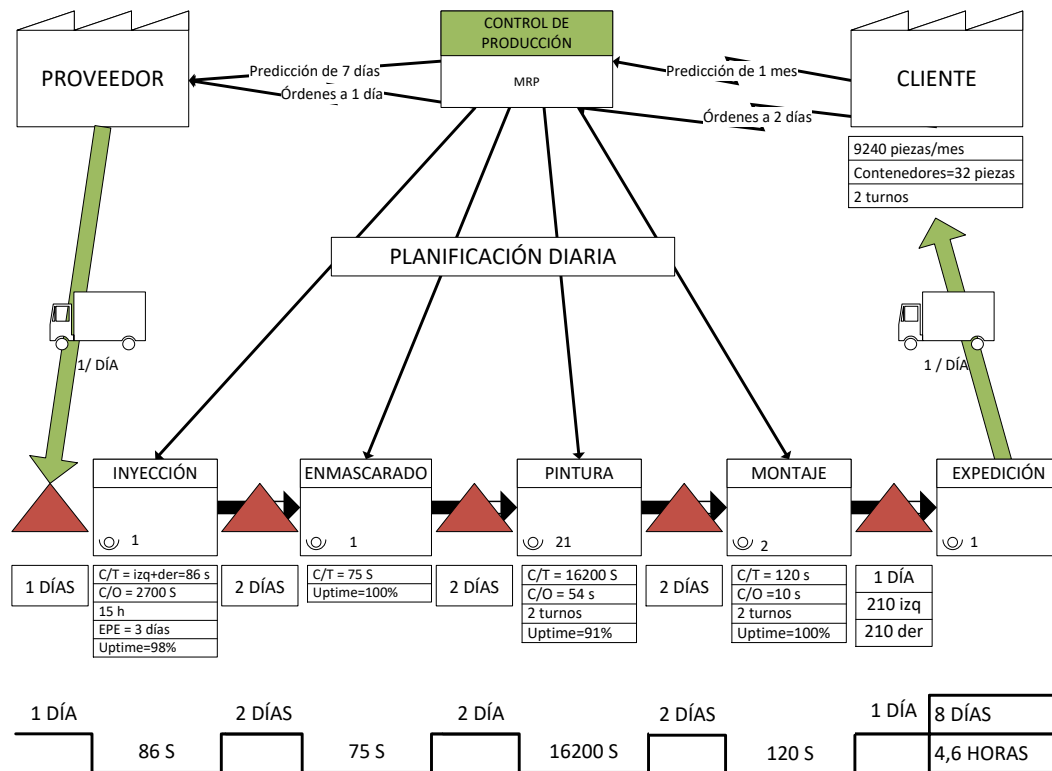


Figura 2. 15 VSM actual

## 3. Mejoras en los procesos

### 3.1 Mejoras en los procesos de producción de acuerdo a un sistema Lean

Actualmente, cada producto se fabrica de forma aislada en cada proceso, siguiendo un sistema de producción *push*. Mientras se fabrique material que no se necesite, se estará produciendo y almacenando desperdicio que, a su vez, debe ser contado y, en general, manipulado. Con la sobreproducción se necesitan más operarios y maquinaria para producir esas piezas que aún no nos están pidiendo. Además, se alarga el *lead time*, lo que perjudica la flexibilidad en reaccionar a la demanda de cliente. Para reducir el *lead time* se necesitan eliminar las causas de todo desperdicio.

El propósito del VSM es encontrar las fuentes de desperdicio y eliminarlas mediante la implementación de un VSM futuro que puede llevarse a cabo a corto plazo. El objetivo es crear un proceso en el que se produzca solamente lo que el siguiente proceso necesita y cuando lo necesita, siguiendo la filosofía *Lean*. Para ello, se intentan unir todos los procesos, desde la materia prima hasta el producto acabado, construyendo una cadena de producción donde los procesos individuales están conectados con el cliente mediante flujo continuo. De esta forma, se generará un *lead time* más corto, con más calidad y menor coste.

En el VSM futuro, cada una de las cajas de procesos indica un flujo continuo. Por tanto, cuanto más flujo se cree, menos cajas dibujadas en el diagrama.

En los procesos principales que tenemos en nuestra planta es muy difícil realizar un flujo, ya sea por el layout global establecido como por las características de cada proceso. Sin embargo, se ha realizado una propuesta de mejora, para el conjunto B, que tiene un proceso intermedio entre inyección y pintura. Éste es el enmascarado de la pieza, que consiste en la colocación de cintas adhesivas en zonas que no se quieren pintar. La cadencia de enmascarar es de 48 piezas a la hora; velocidad muy distinta a la de la línea de pintura. Por ello, es muy difícil crear un flujo de forma que enmascarado y pintura sean un único proceso.

Por lo tanto, lo analizamos junto al proceso de inyección. El molde de los conjuntos B y C es el mismo y tiene cuatro cavidades: B derecho, B izquierdo, C derecho y C izquierdo. La cadencia de inyectar ese molde es de 42 piezas por cavidad y hora; para ello se requieren dos operarios. En la Figura 3. 1 se

representa la máquina de inyección, así como los operarios y los contenedores para cada una de las piezas, en la situación actual.

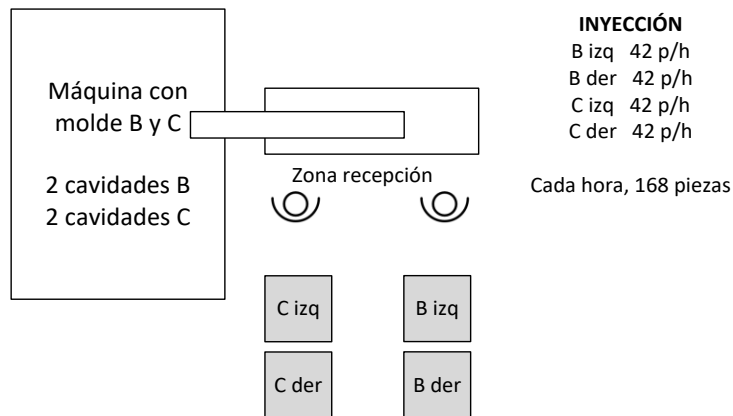


Figura 3. 1 Layout del proceso de inyección del conjunto B y C

El proceso de enmascarado solamente necesita un operario, con los componentes necesarios y los contenedores para ubicar las piezas. El puesto de trabajo del enmascarado de piezas se representa en la Figura 3. 2.

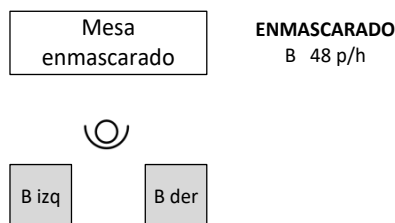


Figura 3. 2 Layout enmascarado

Calculamos el número de piezas que se enmascaran en un turno de trabajo:

$$(8h - 0.5h) \cdot 48 \frac{p}{h} = 360 \text{ piezas}$$

No es suficiente para llegar a las 420 piezas por día que se requieren para el conjunto B (la cantidad de piezas que se necesitan por conjunto al día se ha calculado en la Tabla 3. 1). Por ello, está claro que se necesita más de un trabajador para realizar este proceso.

Introduciendo el enmascarado en el proceso de inyección se necesitan dos operarios, como se ha indicado, atendiendo a la máquina. La única

penalización de enmascarar a continuación de inyectar realizando un flujo continuo, es que la saturación de los operarios de enmascarado disminuye, siendo de un 87,5%. Esto podría parecer un inconveniente a priori pero, incluso con la disminución de la saturación, resulta una mejora respecto de la situación anterior ya que se evitan movimientos innecesarios del carretillero, además de todas las ventajas que resultan de producir en un flujo continuo. Con esta mejora se ha reducido el lead time en 1 día, lo que reduce el número de operaciones sin valor añadido, pasando de tener un 2,3% de valor añadido a un 2,7%.

El problema que surge es que no tenemos formadas a dos personas para enmascarar en el mismo turno, pero esto se soluciona haciendo polivalentes a los trabajadores, como plantea la técnica *shojinka*.

Por lo tanto, una propuesta de mejora para generar flujo continuo es realizar la actividad de enmascarado a continuación del proceso de inyección. Se representa la disposición del puesto de trabajo de esta nueva situación en la Figura 3. 3.

Aunque se pueden enmascarar 48 piezas/hora, como se produce un cuello de botella en la máquina de inyección, el ritmo real será de 42 p/h.

Una vez realizada esta mejora entre procesos, se va a explicar la formación del VSM futuro aplicando medidas *Lean*.

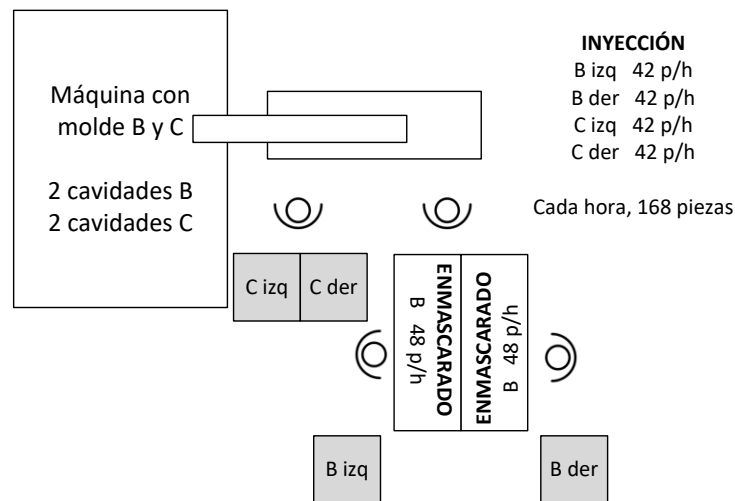


Figura 3. 3 Representación procesos inyección y enmascarado para el conjunto B

## Ciente

El proceso comienza en el cliente, que es quien nos envía predicciones de 90, 60 y 30 días, así como las órdenes diarias. También sabemos que las predicciones a 2 y 3 días suelen ser fiables.

El cliente envía su planificación mediante una señal electrónica al departamento de control de la producción, que es el encargado de realizar la planificación interna.

## Control de la producción

Una vez llegue la planificación al departamento de control de la producción, se encargarán de programar un único proceso mediante un sistema *pull*: el proceso marcapasos. Por tanto, éste estará controlado también por las necesidades del cliente.

Para elegir el proceso marcapasos, hay que intentar que el tiempo de ciclo sea lo más similar al *takt time*, que es la frecuencia con la que se debe fabricar una pieza para satisfacer las necesidades del cliente. Se utiliza para tratar de sincronizar el ritmo de producción con el de ventas, además de dar una idea de cómo se está produciendo y qué es lo que se debería mejorar.

$$Takt\ time = \frac{Tiempo\ disponible\ por\ turno}{Demanda\ del\ cliente\ por\ turno}$$

El *takt time* varía con la demanda real; por tanto, el mayor tiempo de ciclo no debería ser superior a ese ritmo. Si eso ocurriera, el ritmo de demanda sería más rápido que el ritmo de producción que se puede ofrecer.

Una diferencia muy grande entre el tiempo de ciclo y el *takt time* indica que existen problemas de producción. Cuando se compensan los problemas de producción realizando un tiempo de ciclo mucho más corto que el *takt time*, el incentivo de eliminar los problemas desaparece. En esos casos debería haber un plan para que se parezcan lo máximo posible.

Para buscar cuál debería ser nuestro proceso marcapasos, en primer lugar, calculamos el *takt time* de cada conjunto, partiendo de una jornada de trabajo de 8 horas, con un descanso de 30 minutos. En la Tabla 3. 1 se calcula el *takt time* para cada uno de los conjuntos de piezas. Poniendo de ejemplo el conjunto A, se calcula de la siguiente forma:



$$Takt\ time\ Conjunto\ A = \frac{(8h - 0.5h) * 3600s}{210 \frac{piezas}{día} \cdot \frac{1\ día}{2\ turnos}} = 257,14\ s = 4,3\ min$$

Este tiempo no incluye cambios de utillaje, tiempos inactivos, ni piezas de rechazo. Si no podemos reducir esos tiempos de forma inmediata, tendremos que aumentar el tiempo de ciclo para hacer frente a ello.

Tabla 3. 1 *Takt time* para cada conjunto

	Demanda diaria de cliente	Nº turnos	TAKT TIME (S)	TAKT TIME (MIN)
Conjunto A	210	2	257,14	4,3
Conjunto B	420	2	128,57	2,1
Conjunto C	420	2	128,57	2,1
Conjunto D	420	2	128,57	2,1
Conjunto E	420	2	128,57	2,1
Conjunto F	420	2	128,57	2,1

Como la demanda por parte del cliente es por contenedores completos, calculamos el *pitch time*. *Pitch* hace referencia al número de piezas por contenedor de producto acabado, que se va a utilizar como unidad de producción.

$$Takt\ time = 4,3\ minutos$$

$$Piezas\ por\ contenedor = 12$$

$$Pitch = 4,3 \times 12 \frac{piezas}{contenedor} = 51,4\ minutos$$

Cada 51,4 minutos hay que dar una instrucción de producción de un contenedor de piezas del conjunto A al proceso marcapasos y expedir un contenedor de producto acabado.

Realizando la misma operación para el resto de conjuntos obtenemos los resultados de la Tabla 3. 2.

Aunque parece sencillo producir a este ritmo, requiere rápida reacción ante fallos, eliminar las causas de las paradas no planificadas y eliminar tiempos de cambio de utillaje.

Tabla 3. 2 *Pitch time* para cada conjunto

	TAKT TIME (S)	Nº Piezas/ contenedor	PITCH TIME (S)	PITCH TIME (MIN)
Conjunto A	257,14	12	3.085,68	51,4
Conjunto B	128,57	32	4.114,24	68,6
Conjunto C	128,57	32	4.114,24	68,6
Conjunto D	128,57	16	2.057,12	34,3
Conjunto E	128,57	28	3.599,96	60
Conjunto F	128,57	20	2.571,4	42,9

Una vez calculados el *takt time* y *pitch time*, calculamos el tiempo en fabricar un contenedor en los procesos de inyección, pintura y montaje. Utilizando las tablas de cadencias mostradas en el capítulo anterior, y sabiendo que el tiempo para que salga un contenedor del conjunto A de la línea de pintura es 7,77 minutos según los cálculos que se han obtenido de la Tabla 3. 4, realizamos las siguientes operaciones:

### Inyección

$$\text{Tiempo de preparación} = 45 \text{ minutos}$$

$$\text{Tiempo de producción} = 12 \frac{\text{piezas}}{\text{contenedor}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{100 \text{ piezas}} = 52,2 \frac{\text{min}}{\text{contenedor}}$$

### Pintura

$$\text{Tiempo en la línea de pintura} = 270 \text{ min}$$

$$\text{Tiempo desde que se descarga la primera pieza del contenedor hasta la última} \\ = 7,77 \text{ min}$$

### Montaje

$$\text{Tiempo montaje contenedor} = 12 \frac{\text{piezas}}{\text{contenedor}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{14 \text{ piezas}} \\ = 51,4 \frac{\text{min}}{\text{contenedor}}$$

Viendo estos resultados, lo más razonable sería considerar el montaje como el proceso marcapasos, ya que es el más similar al *pitch time*. Sin embargo, si fuera así, tendríamos un supermercado entre los procesos de pintura y montaje. Estos son almacenes controlados con ubicaciones definidas, donde se establece un número máximo de piezas almacenadas por cada referencia. En el supermercado deberíamos tener, de cada color, los contenedores necesarios para hacer frente, como mínimo, a la duración de la línea de pintura. Si consideramos el mejor de los casos, el contenedor se introduce en la línea de pintura en el momento que lo solicita la línea de montaje (sistema *pull*). Para que el sistema funcione deberíamos tener como mínimo en stock seis contenedores:

$$\frac{270 \text{ min}}{51,4 \text{ min/contenedor}} = 5,4 \approx 6$$

Y como sabemos que el número de colores distintos es 17:

$$17 \text{ colores} \cdot 6 \frac{\text{contenedores}}{\text{color}} = 102 \text{ contenedores del conjunto A}$$

Deberíamos tener 102 contenedores del conjunto A para hacer frente a las necesidades del cliente. A efecto práctico, esto es imposible de llevar a cabo.

Por otro lado, considerar el proceso de inyección como marcapasos no tiene sentido debido a su elevado tiempo de cambio de molde, y su rapidez a la hora de inyectar.

De esta forma, lo más factible es que el proceso marcapasos sea la línea de pintura. En concreto, se considerará la carga de las piezas a la línea de pintura como proceso clave que llevará el ritmo de toda la producción.

Una vez elegido el proceso marcapasos, el departamento de control de la producción planificará la línea de pintura según el programa del cliente. La producción en la línea de pintura debe ser nivelada a lo largo del tiempo para no crear problemas al resto de la cadena de valor. Sin embargo, resulta más fácil programar grandes tiradas del mismo color y evitar cambios, que realizar flujo continuo.

Cuanto mayor sea la nivelación de productos en el proceso marcapasos, mayor será la capacidad de respuesta a los requerimientos de cliente con un menor

*lead time*, y una menor manipulación de pieza almacenada, además de poder disminuir la capacidad de los supermercados. Pero para ello se debe reducir el tiempo de cambio de color, así como el coste.

Se ha realizado un estudio del coste que conlleva realizar un cambio de color para estas piezas. El objetivo es poder hacer tantos cambios de colores como sean requeridos con el mínimo coste y tiempo empleado.

Tomamos como referencia el consumo de un año, y realizamos las siguientes operaciones para calcular el precio medio por cambio de color:

$$\% \text{ color} = \frac{\text{cantidad consumida de ese color}}{\sum \text{cantidades consumidas por todos los colores}}$$

$$\% \text{color} \cdot \text{Precio color} = \text{Precio color en función de su uso}$$

$$\text{Precio medio de la pintura} = \sum \text{Precio color en función de su uso}$$

Una vez calculado el precio medio de la pintura, considerando la cantidad de pintura que se emplea en cada cambio de color, así como la cantidad de disolvente, calculamos el coste de preparación de la pintura.

Por otro lado, sabiendo la cantidad de disolvente que se usa para el lavado, así como su coste, hallamos el coste del lavado de los útiles.

Finalmente, sumando las dos cantidades, concluimos que el coste medio por la realización de un cambio de color es de 14,7€.

Es decir, si hiciéramos un cambio de color solamente para un contenedor de piezas A, estaríamos asumiendo un coste de 1,23€/pieza.

$$14,7 \frac{\text{€}}{\text{cambio de color}} \cdot \frac{1 \text{ cambio de color}}{1 \text{ contenedor piezas A}} \cdot \frac{1 \text{ contenedor piezas A}}{12 \text{ piezas A}} = 1,23 \text{ €/pieza}$$

Para hacernos una idea del coste que puede suponer, dependiendo del número de contenedores y del conjunto, se ha realizado una tabla en la que se obtiene el coste del cambio de color por pieza, dependiendo del número de contenedores que se incluyan en ese cambio de color. La Tabla 3. 3 solo es

orientativa ya que se introducirán diferentes modelos de contenedores por cada color, pero, en general, el coste por unidad es menor de 1€.

El tamaño de lote de cada color dependerá, entre otras cosas, del coste unitario que se quiera asumir.

Otro de los estudios que facilitarían la nivelación en la línea de pintura sería tratar de reducir el coste en los cambios de color, así como el tiempo empleado, realizando un SMED.

**Tabla 3. 3 Coste de cambio de color de pintura según el número de contenedores por color**

Nº contenedores pintados	1	2	3	4	5	6
Piezas A	12	24	36	48	60	72
€/piezas A	1,23	0,61	0,41	0,31	0,25	0,20
Piezas B	32	64	96	128	160	192
€/piezas B	0,46	0,23	0,15	0,11	0,09	0,08
Piezas C	32	64	96	128	160	192
€/piezas C	0,46	0,23	0,15	0,11	0,09	0,08
Piezas D	16	32	48	64	80	96
€/piezas D	0,92	0,46	0,31	0,23	0,18	0,15
Piezas E	28	56	84	112	140	168
€/piezas E	0,53	0,26	0,18	0,13	0,11	0,09
Piezas F	20	40	60	80	100	120
€/piezas F	0,74	0,37	0,25	0,18	0,15	0,12

Una vez que la línea de pintura está programada y las piezas estén cargadas, pasarán a lo largo de cabinas hasta que lleguen al final de la línea donde se producirá la descarga de las piezas pintadas.

Cuando se descargan las piezas, se introducen en su embalaje correspondiente y se llevan al siguiente proceso: el de montaje. Esto no funciona como un flujo continuo ya que el ritmo de fabricación es diferente.

En los casos en los que no se pueda crear flujo entre dos procesos, es factible sustituir los supermercados por líneas FIFO. En esa línea de flujo solo se puede almacenar una pequeña cantidad establecida de inventario. Si la línea de inventario se llena, el proceso proveedor deberá parar de producir hasta que su cliente haya consumido cierta cantidad de inventario. En el VSM se representa como en la Figura 3. 4.

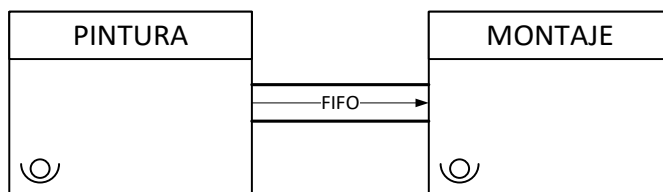


Figura 3. 4 Línea FIFO entre los procesos de pintura y montaje

Para ello, tenemos que determinar la cantidad de contenedores máximo que se debe admitir en la línea FIFO ente pintura y montaje.

Estos procesos de fabricación se realizan a la vez, en dos turnos al día. Por lo tanto, debido a la duración del paso de las piezas por la línea de pintura (270 minutos), se deben dejar contenedores de pieza pintada en la línea FIFO para evitar que los operarios de montaje se queden parados esperando a que salgan las piezas de la línea de pintura, cuando comience el primer turno del día. Si en vez de producir en los mismos turnos, hubiera un desfase entre los comienzos de cada proceso, la forma de calcularlo sería la misma, relacionando la cantidad de contenedores con el tiempo.

A la hora de calcular el stock, no es lo mismo que la secuencia en la línea de pintura esté totalmente nivelada a que no lo esté por intentar reducir el número de cambios de color.

Si la línea está totalmente nivelada, se calcula el número de contenedores en stock necesarios y no se requiere actualizar los cálculos. Sin embargo, en el momento en que no esté totalmente nivelada habrá que rehacer los cálculos según lo que tarde en salir cada modelo con respecto al anterior. La nivelación de la línea de pintura queda fuera del alcance de este trabajo; sin embargo, sí se va a calcular el número de contenedores necesarios en stock, según la secuencia, para controlar el inventario y reducir la sobreproducción, uno de los principales objetivos para reducir el *lead time*.

Con la situación actual real, debido a la variedad en la demanda, la diferencia en el número de piezas de cada modelo por contenedor y los costes y tiempos del cambio de color, no es posible nivelar para que cada contenedor salga siempre en el mismo tiempo.

Como se puede apreciar en la Figura 3. 5, los contenedores de una pieza determinada salen de la línea de pintura de forma más o menos constante, y como mínimo se necesitan 7 contenedores en stock para montar piezas hasta que salga el primer contenedor de la línea de pintura.

Tanto en la Figura 3. 5 como en la Figura 3. 6 se realizan los mismos cambios de color en la línea de pintura.

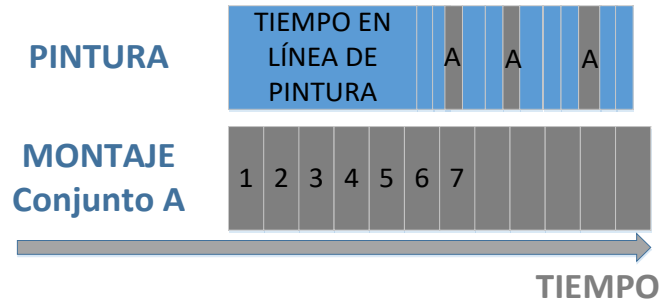


Figura 3. 5 Línea de pintura aparentemente nivelada

En la Figura 3. 6 hay menor nivelación, necesitándose como mínimo 11 contenedores almacenados.



Figura 3. 6 Línea de pintura no nivelada

Según la secuencia que tengamos cada día, variará el número de contenedores en stock que se necesita tener en stock. Para calcular el número de contenedores en stock para la producción del día siguiente, calculamos cuánto tarda en pasar por la línea de pintura un contenedor de cada modelo, desde que se mete la primera pieza hasta que sale la última. Este tiempo será de 270 minutos a mayores del tiempo variable desde que pasa la primera pieza por un punto hasta que pasa la última pieza de ese contenedor por el mismo punto. Hay que considerar datos como el número de piezas necesarias a pintar por cada contenedor, número de piezas por bastidor, espacio entre bastidores y rechazo.

Conviene resaltar que el rechazo no se debería tener en cuenta ya que habría que eliminarlo. Pero si comenzamos a realizar la implementación del trabajo sin considerar dicho rechazo, no se conseguirá entregar al cliente sus peticiones. Por lo tanto, deberá considerarse, mientras se hace un estudio de las causas que lo provocan, para conseguir reducirlo al máximo.

El porcentaje del rechazo para cada modelo puede variar. Si en algún momento este porcentaje aumenta, se deberá actualizar. Para cada pieza se ha considerado el mayor porcentaje de rechazo obtenidos hasta el momento.

$$\begin{aligned} \text{Número de piezas por rechazo} &= \% \text{rechazo} \cdot \frac{N^{\circ} \text{ piezas}}{\text{contenedor cliente}} \\ &= 32.72\% \text{ de } 12 = 3.93 \end{aligned}$$

Como el número de piezas debe ser un número entero, redondeamos al superior para asegurarnos de fabricar las piezas necesarias.

$$\begin{aligned} \text{Piezas necesarias a pintar} \\ &= \frac{N^{\circ} \text{ piezas}}{\text{contenedor cliente}} + N^{\circ} \text{ de piezas por rechazo} = 12 + 4 \\ &= 16 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Número de bastidores necesarios} &= \frac{\text{Piezas necesarias a pintar}}{\text{Número de piezas por bastidor}} = \frac{16}{3} \\ &= 5.33 \end{aligned}$$

Esto nos indica que necesitamos 6 bastidores.

Por otro lado, la línea de pintura está dividida en soportes en los que se colocan los bastidores. La distancia entre estos soportes siempre es la misma. El cálculo de la distancia entre bastidores lo hacemos en función del número de soportes que haya entre ellos (ver Figura 3. 7).

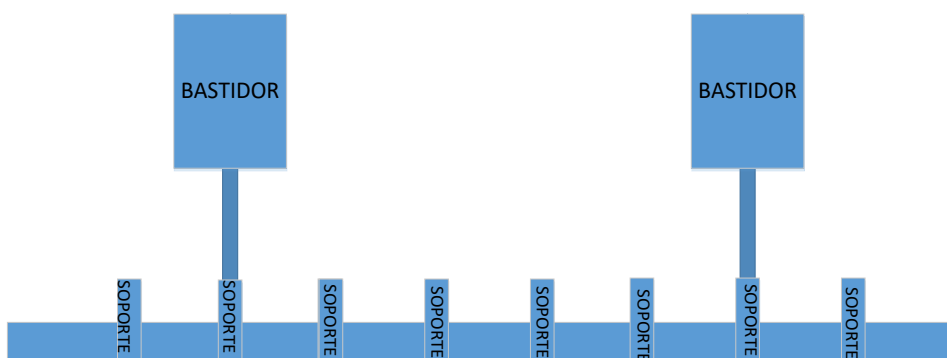


Figura 3. 7 Representación de la distancia entre dos bastidores



$$\begin{aligned} \text{Tiempo entre bastidores (min)} &= \frac{(N^{\circ}\text{soportes entre bastidores} + 1)}{\text{velocidad de la línea} \left(\frac{n^{\circ}\text{soportes}}{\text{minuto}}\right)} \\ &= \frac{(4 + 1)}{\frac{270}{60}} = 1.11 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tiempo total bastidores (min)} & \\ &= \text{Tiempo entre bastidores} \cdot N^{\circ} \text{ de bastidores necesarios} \\ &= 1,11 \cdot 6 = 6.66 \end{aligned}$$

$$\text{Tiempo de preparación cambio de color} = \text{Tiempo entre bastidores}$$

$$\begin{aligned} \text{Tiempo de un contenedor con un cambio de color delante de éste} & \\ &= \text{Tiempo total bastidores} \\ &+ \text{Tiempo preparación cambio de color} = 6.66 + 1.11 \\ &= 7.77 \text{ min} \end{aligned}$$

Debemos tener en cuenta que estamos calculando el tiempo que hay desde que sale la última pieza de un contenedor hasta que sale la última pieza del siguiente, pero no el tiempo que tarda un contenedor a lo largo de todas las fases de la línea de pintura, ya que éste es, de forma general, cuatro horas y media.

En la Tabla 3. 4 se detalla el cálculo del tiempo necesario de un contenedor de la pieza A con un cambio de color delante de éste, a mayores de los 270 minutos.

Realizando las mismas operaciones para todos los modelos, obtenemos los datos de la Tabla 3. 5.

Trabajamos con contenedores como unidad de producción, ya que el cliente nos solicita contenedores completos.

Para calcular el número de contenedores que necesitamos tener almacenados en la línea FIFO entre pintura y montaje, necesitamos tener datos como el número de piezas que se demanda al día, número de piezas que se pueden montar en una hora, número de piezas por contenedor que se envía al cliente y tiempo de un contenedor en la línea de pintura.

Tabla 3. 4 Cálculo del tiempo de un contenedor completo con un cambio de color

	PIEZA A
Nº Piezas necesarias /contenedor cliente	12
Rechazo	32,72%
Nº de piezas que hay que crear por rechazo	6
Nº piezas/ bastidor	3
Piezas necesarias para pintar	18
Nº de bastidores necesarios	6
Nº soportes entre bastidores	4
Tiempo entre bastidores (min)	1,11
Tiempo total bastidores (min)	6,66
Tiempo preparación cambio color (min)	1,11
Tiempo cambio color + contenedor (min)	<b>7,77</b>

Tabla 3. 5 Tiempo necesario de cada contenedor de piezas en salir de la línea de pintura

	Tiempo de cambio de color + tiempo contenedor (minutos)
PIEZA A	7,77
PIEZA B	22,25
PIEZA C	15,54
PIEZA D	14,43
PIEZA E	14,24
PIEZA F	22,61

$$\frac{\text{Tiempo montaje}}{\text{contenedor}} = \frac{\frac{N^{\circ}\text{piezas}}{\text{contenedor}} \cdot \frac{60 \text{ minutos}}{1 \text{ hora}}}{\frac{N^{\circ} \text{ piezas}}{\text{hora}}}$$

$$N^{\circ}\text{contenedores a pintar} = \frac{\text{Demanda cliente}}{N^{\circ}\text{piezas/contenedor}}$$

Se ha creado una fórmula que permite calcular el número de contenedores que se necesita tener en stock cada día en función de la secuencia.

Para ello, debemos tener claro el funcionamiento. En primer lugar, se pintan las piezas de aquellos contenedores que se van a montar en el mismo día, dejando en último lugar los que se van a dejar de stock para el día siguiente. Además, mientras transcurre el montaje, hay que evitar que el trabajador pare. Por eso, el último contenedor que salga de la línea de pintura de los que se van a montar ese día debe salir antes de que el operario de montaje acabe de montar el penúltimo contenedor. También debemos considerar que el tiempo en montar todos los contenedores en stock debe ser mayor al tiempo que está cualquier contenedor en la línea de pintura (270 minutos), además del tiempo que tarda en salir el primer contenedor de la línea. Si pasamos estas evidencias a una fórmula, nos queda lo siguiente:

$$t_m(n + k - 1) \geq TLP + t_p k$$

$$t_m \cdot n \geq TLP + t_p$$

Siendo:

*TLP: tiempo total en la línea de pintura = 270 minutos*

*t<sub>p</sub>: tiempo que transcurre entre dos contenedores del mismo modelo en la línea de pintura*

*k: número de contenedores que hay que pintar y montar el mismo día*

*t<sub>m</sub>: tiempo de montaje de un contenedor*

*n: número de contenedores en stock (ya están pintados pero se deben montar)*

Despejando el número de contenedores en stock, planteamos la siguiente expresión:

*Nº de contenedores en stock entre pintura y montaje*

$$= \max \left\{ n \in \mathbf{N} \quad \text{tal que} \quad \left. \begin{array}{l} n = \frac{TLP + t_p \cdot k}{t_m} - (k - 1) \\ n = \frac{TLP + t_p}{t_m} \end{array} \right\}$$

Así calculamos el número de contenedores en stock que debemos dejar para el día siguiente sabiendo lo que vamos a fabricar y, también, que todo se pinta

en el mismo orden durante toda la jornada. De esta forma, el operario de montaje no se quedará sin piezas en ningún momento.

En la Tabla 3. 6 calculamos el número de contenedores en stock que tiene que haber si se introducen contenedores de cada modelo, uno a continuación de otro, con un orden constante, A-B-C-D-E-F-A-B-C...

**Tabla 3. 6 Número de contenedores en stock entre pintura y montaje si se sigue siempre la misma secuencia**

	PIEZA A	PIEZA B	PIEZA C	PIEZA D	PIEZA E	PIEZA F	
Nº piezas /día (demanda cliente)	210	420	420	420	420	420	
Nº piezas/ hora (Montaje)	14	30	25,8	29	41	26	
Nº piezas/ contenedor cliente	12	32	32	16	28	20	
Tiempo montaje/ contenedor (minutos)	51,4	64	74,4	33,1	41	46,2	
Tiempo cambio de color + contenedor (minutos)	7,77	11,57	8,88	7,77	8,01	13,3	57,3
Contenedores a pintar de cada pieza según la demanda de cliente	18	14	14	28	16	22	
<b>Nº de contenedores en stock entre pintura y montaje</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>18</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	

Observamos que la fórmula que hemos hallado anteriormente es válida siempre y cuando la secuencia sea la misma. Este hecho es poco real, ya que la demanda es cambiante y el cambio de colores no puede ser ilimitado. Por ello, debemos variar la fórmula en función de la secuencia, teniendo en cuenta que el tiempo que transcurre entre dos contenedores del mismo modelo en la línea de pintura no es siempre el mismo, y que eso hace que necesitemos tener mayor o menor stock en la línea FIFO.

De esta manera, variando ligeramente la fórmula anterior, obtendremos otra que nos permita calcular el número de contenedores en stock, según el tiempo

que tarda en salir cada contenedor, que se irá actualizando para cada uno de ellos. Obviamente, esta fórmula coincidirá con la anterior cuando se siga la misma secuencia.

La razón por la que se necesita una fórmula que se actualice para cada contenedor es porque la fórmula inicial solamente hace referencia a los contenedores iniciales y finales, dando a entender que entre medias no vamos a necesitar stock ya que la secuencia siempre es la misma. Pero esto no es así, y aunque lo ideal es que la secuencia esté nivelada, puede ocurrir que muchos de los contenedores pintados salgan al final, y necesitemos stock intermedio.

Las diferencias se pueden apreciar en la Figura 3. 8.

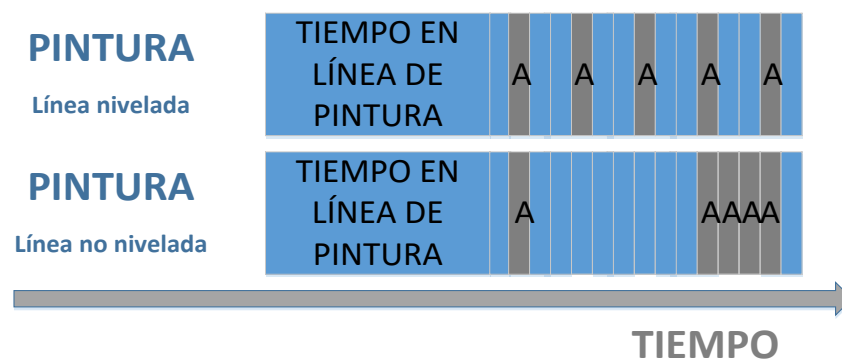


Figura 3. 8 Diferencias entre una línea nivelada y otra desnivelada

*Nº de contenedores en stock entre pintura y montaje*

$$= \max \left\{ n \in \mathbf{N} / t_m(n + s - 1) \geq TLP + \sum_{i=1}^s t_i \text{ siendo } 1 \leq s \leq k \right\}$$

Siendo

*s:* número de contenedores que se han pintado

*t<sub>i</sub>:* tiempo que tarda en salir el contenedor *i* desde que ha salido el anterior contenedor del mismo modelo

*n:* número de contenedores en stock (ya están pintados pero se deben montar)

Para saber cuánto es el tiempo de montaje de cada contenedor, ya se mostró en la Tabla 2. 3 y Tabla 2. 4 las cadencias de montaje y el número de piezas

por contenedor. De esta forma, calculamos el tiempo que tardamos en montar un contenedor de cada modelo, ya reflejado en la Tabla 3. 7.

Tabla 3. 7 Tiempo de montaje por contenedor

	Tiempo montaje/ contenedor (minutos)
PIEZA A	51,4
PIEZA B	64
PIEZA C	74,4
PIEZA D	33,1
PIEZA E	41
PIEZA F	46,2

## Inyección

Mientras que el flujo hacia el cliente se hace mediante una línea FIFO, el proceso hacia el proveedor actúa de forma diferente.

La producción de inyección se controla uniendo los procesos desde el cliente, mediante supermercados basados en sistemas *pull*. Es decir, se instalan sistemas *pull* donde no se pueda hacer un flujo continuo y sea necesario producir mediante lotes. A pesar de que tengamos que operar con lotes, no se debe programar cada uno de los procesos de forma independiente.

En inyección tenemos una gran ineficiencia, por el tiempo que se invierte en cambiar moldes; por ello, los lotes actualmente son muy grandes.

Cuando se necesita reponer una referencia concreta, se genera una señal que activa los sistemas de fabricación o información para reponer el supermercado.

Las razones más frecuentes del uso de supermercados son: la rapidez de algunos procesos que, a la vez, tienen tiempos de preparación muy grandes, la gran distancia entre la planta de producción y los proveedores, que hace que no sea posible enviar las piezas individualmente, así como para los procesos que tienen demasiado *lead time* o son muy poco fiables como para abastecer al siguiente proceso mediante flujo continuo.

El objetivo de poner un sistema *pull* entre dos procesos es tener medios para dar salida a las piezas de forma precisa. Los supermercados deberían situarse cerca de los 'procesos proveedor', para ayudar a mantener el sentido visual de uso y requerimientos. Antes de crear supermercados, hay que asegurarse de haber creado todos los flujos continuos posibles y, donde ya no quede más remedio, crearlos.

Para reducir el tiempo empleado en los cambios de moldes se ha llevado a cabo la técnica SMED. En primer lugar, se ha realizado una grabación en vídeo, de 45 minutos de duración, a partir de la cual se ha documentado la situación actual y se ha realizado un diagrama espagueti, representado en la Figura 3. 9, de los trayectos realizados por el cambiador de molde. Gracias a ese diagrama, se han observado movimientos innecesarios, que podrían omitirse o reducirse, cambiando la disposición de los moldes, reduciendo así el tiempo total de dicho vídeo a 35 minutos. Además, se ha visto que estandarizando el centrado del molde en máquina se podría reducir 118 segundos el tiempo total, y estandarizando los cáncamos se reducirían 3.2 minutos. Llevando a cabo estas modificaciones, el tiempo de cambio de molde se reduce un 33%.

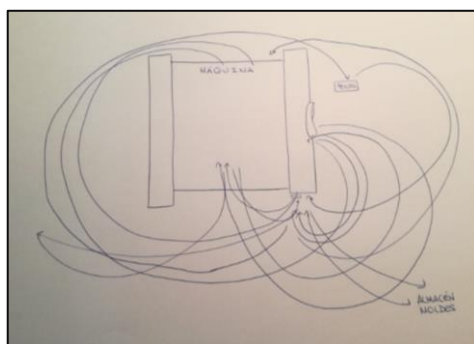


Figura 3. 9 Diagrama espagueti

Mientras se sigue intentando sacar todo tipo de mejoras, tenemos que fabricar en lotes, creando un supermercado entre inyección y pintura.

Se trata de ir aumentando la frecuencia de inyección mientras se reducen los tiempos en cambios de utillaje. Hay que desarrollar la habilidad de fabricar cada día, después cada turno, cada hora, cada contenedor, ..., hasta conseguir hacer un flujo continuo. De esta, forma habrá una mayor capacidad de respuesta hacia el cliente.

Cuando lleguemos a fabricar con una frecuencia de al menos un lote por día podremos comenzar a fabricar en flujo junto a otros procesos, eliminando así los supermercados. La Tabla 3. 8 representa tanto el número de contenedores en stock que habría que dejar almacenados si podemos inyectar cada molde en una máquina, como el tiempo de antelación con el que debería comenzar el proceso de inyección respecto al de pintura si no se quiere dejar piezas en stock, sin considerar el tiempo empleado en el cambio de molde.

Tabla 3. 8 Contenedores en stock entre inyección y pintura

	NÚMERO DE CONTENEDORES EN STOCK	EMPEZAR ANTES DE PINTURA (MINUTOS)
PIEZA A	1	8
PIEZA B	2	92
PIEZA C	2	92
PIEZA D	2	40
PIEZA F	2	40

## Proveedor

En muchos casos el proveedor hace envíos con lotes muy grandes. Esto está bien cuando se trata de productos de uso frecuente, como puede ser el material de inyección, pero en productos de menor consumo una buena opción es organizar un 'Milk Run', es decir, hacer que un mismo camión pase por varios proveedores de forma que se optimice el uso del camión, así como las distancias, al mismo tiempo que se reduce la frecuencia de entrega y podemos minimizar los stocks. De esta manera, es posible que los proveedores nos envíen pedidos más pequeños, suficientes para hacer frente a la producción diaria sin necesidad de almacenar grandes cantidades.

Esta forma de organizar los pedidos, aunque puede parecer que no nos afecte en gran medida, consigue, en muchos casos, reducir el *lead time* días.

## Pieza pintada para almacén

Se ha desarrollado un sistema que funciona de forma automática para el control de piezas pintadas para almacén.

Como se ha explicado, las piezas que salen de la línea de pintura pasan a la línea de montaje mediante una línea FIFO, pero hay un porcentaje de rechazo que se fabrica a mayores. Al fabricar con ese margen, tenemos la posibilidad de tener o no piezas rechazadas.

Actualmente, esas piezas, cuando se acaba de montar el contenedor determinado, se introducen en el almacén sin ningún tipo de control. Por lo tanto, se puede suponer que no se cumple el FIFO y que no hay establecido ningún orden de utilización.



Con este nuevo sistema, se garantiza la reducción de stocks, así como la reducción de la sobreproducción.

A continuación, se explica, con un ejemplo, las ventajas del nuevo proceso. Supongamos que se parte de un almacén vacío y que se necesitan entregar lotes de 12 piezas, que tienen un porcentaje de rechazo en la línea de pintura del 32,72%. Suponemos que hay un mismo número de piezas defectuosas en cada caso, para poder apreciar la diferencia en el nivel de stock. Veamos en la Tabla 3. 9 la diferencia de aplicar un proceso u otro para el caso del ejemplo.

**Tabla 3. 9 Diferencia del stock entre el sistema antiguo y el nuevo**

		Piezas necesarias	% rechazo	Piezas fabricadas	Piezas defectuosas supuestas para el ejemplo	Piezas sobrantes	Piezas almacenadas totales
Proceso antiguo	Lote 1	12	32,72%	18	2	4	4
	Lote 2	12		18	3	3	4+3 = 7
Proceso nuevo	Lote 1	12		18	2	4	4
	Lote 2	12-4 = 8		12	3	(12-3)-8=1	1

El número de pieza fabricadas se calcula de la siguiente forma:

$$\frac{N^{\circ} \text{piezas necesarias}}{(1 - \text{rechazo})}$$

Como se ve en el ejemplo, utilizando el método antiguo, con el segundo lote ya tendríamos 7 unidades en stock, mientras que realizándolo con el nuevo solamente tendríamos 1 unidad.

Para realizarlo, se va a explicar el procedimiento a llevar a cabo desde el puesto de montaje.

El operario de montaje, cuando termina de montar todas las piezas que conforman un contenedor, antes de cerrarlo y ponerle la etiqueta correspondiente, comprueba si le han sobrado piezas pintadas sin montar y, si es el caso, las dará de alta para almacenar.

El puesto de trabajo contará con una pantalla, a la que se le introduce la información. En la Figura 3. 10 se representa el paso de información al sistema, en caso de que no haya que almacenar ninguna pieza pintada.



Figura 3. 10 Pantalla para declarar que no hay que almacenar piezas sobrantes

Mientras que en la Figura 3. 11 se da el caso de que haya que almacenar piezas. El programa sacará automáticamente el número de piezas que deberían ir al almacén si todo ha ido como lo señalado. Si ha habido algún rechazo o algún otro problema, se deben ir identificando, de forma que el programa las descuenta del total de piezas fabricadas y salga por pantalla el número de piezas que se deberán almacenar. Si este número no es el mismo que el calculado por el programa, se deberá variar con las flechas y, a continuación, aceptar. Al responsable del departamento le llegará una alerta, informándole que ha habido algún rechazo no identificado.



Figura 3. 11 Pantalla para declarar piezas a almacenar

Una vez enviada esta información, el programa actualizará el fichero del programador de la producción de la línea de pintura, indicándole cuantas piezas tiene que meter a la línea la próxima vez que quiera pintar un contenedor de ese modelo y color. Este dato se queda guardado, y cuando se introduzca ese contenedor a pintar, el programa indicará la cantidad exacta de piezas que tiene que introducir en la línea de pintura. De esta forma, el número de piezas pintadas almacenadas afectará posteriormente al tiempo que necesita estar un contenedor en la línea, ya que, al pintarse menos piezas el tiempo será igual o menor. El número de piezas que se necesitan pintar para montar un contenedor completo variará.

*Nº de piezas necesarias*

*= Nº de piezas por contenedor de cliente reales*

*– Nº de piezas en almacén*

Este sistema no solo servirá cuando se vayan a almacenar piezas, sino que cuando se haya detectado un cierre de contenedor, sacará por pantalla el siguiente contenedor que se deberá montar indicando, en primer lugar, el número de piezas de ese color que hay almacenadas, obligando a que éstas se consuman en primer lugar para garantizar el sistema FIFO; contrastando el contenedor que indica el programa con la etiqueta de trazabilidad de la pieza.

## Sistemas automatizados

Se ha propuesto un sistema de transmisión de la información de forma automatizada que aumente la efectividad del trabajo, que proporcione mayor información sobre los procesos, así como información útil para realizar estudios y mejoras.

El operario de montaje va a recibir ayudas por parte de un sistema automatizado que le va a hacer mejorar la productividad. Este sistema sirve para la reposición de materiales y aviso al carretillero de las necesidades.

Los puestos de montaje de los distintos conjuntos se optimizarán, de forma que el operario no emplee tiempo comunicándose con el carretillero. Para ello, se ha diseñado un sistema en el que la información se envía de forma automática y no será necesario preocuparse por los componentes que se estén acabando en cada puesto.

Cada puesto de montaje utiliza un tipo de material concreto, aunque algunos son comunes a varios puestos. Hay diferentes tipos de embalaje de cada

material, con diferentes cantidades en cada uno de ellos, pero los sistemas usados serán los mismos en cada puesto.

Uno de los materiales que se usan son los refuerzos, fabricados en el proceso de inyección. Para ello, se colocará una báscula en la ubicación del contenedor de refuerzos que mida continuamente el peso de cada uno. A medida que se vayan usando estos refuerzos, el peso irá disminuyendo. El sistema es común para todos los conjuntos; sin embargo, dependiendo del número de piezas por contenedor y el peso en cada uno de ellos, se establecerá una cantidad distinta dando suficiente tiempo al operario para su reposición. En el caso de los conjuntos B y C, donde se sabe que el carretillero tarda aproximadamente 8 minutos en abastecer el puesto con nuevos refuerzos, y que los operarios van a por refuerzos de seis en seis, la señal se enviará automáticamente al carretillero cuando la báscula mantenga un peso igual al del contenedor, es decir, cuando ya no queden piezas. De esa forma, el carretillero dispone de 12 minutos en el caso de las piezas A y 14 minutos en el caso de las piezas B para reponer el contenedor solicitado.

Por otro lado, hay elementos pequeños, como son las grapas, que llegan en cajas de cartón con muchas unidades. Estos elementos se van traspasando a cajetines de menores cantidades para facilitar su uso. Cada caja de grapas tiene 5.000 piezas, y con ellas los operarios rellenan unos cajetines. Cuando la caja se termina, el operario la recoge y la tira, y el sensor dejará de detectar la caja. De esta forma, se envía la señal al carretillero, que todavía tiene tiempo para llevar una caja nueva, puesto que aún quedan grapas en los cajetines.

Por ello, es muy importante que se mantenga el orden en los centros de trabajo (*seiton*); en caso contrario, al carretillero puede llegarle una señal de necesidad de material errónea.

Existen otro tipo de materiales que ya llevan asociados un *poka-yoke* de detección y es fácil añadir un contador. Uno de los materiales de este tipo son los tornillos. Ellos comprueban que todas las piezas lleven los 4 tornillos. Ahora el sistema va a ir contando el número de tornillos utilizados. Cuando ese contador llegue a 6.964 se enviará automáticamente un mensaje al carretillero advirtiéndole de la necesidad de abastecimiento de una caja de tornillos, la cual contiene 7.000 unidades. Este componente se usa tanto para el conjunto B como el C.

La cola es uno de los elementos que se usan en todos los conjuntos. Solo hace falta instalar un sistema en el depósito de la cola, de forma que cada vez que se abra contabilice que hemos gastado un bote de cola. De esta forma, el sistema que sabe que cada caja lleva 9 botes, cuando metamos el último habrá contado 9, y enviará la petición poniendo el contador a cero.

Otros elementos vienen suministrados en rollos, como las espumas. Para ello, instalamos un sistema que, mediante una barrera fotoeléctrica, mide si hay algún objeto a una distancia determinada; es decir, cuando el sensor detecte un objeto a más de 10 cm de distancia (distancia a la que está el rollo de espuma de la barrera) significará que el rollo ha bajado de nivel, y que quedarán pocas espumas. Ese será el indicador con el que se enviará otra señal automática al carretillero para que abastezca este componente.

En el proceso de inyección también se usará el sistema automatizado de información desde inyección al carretillero. En este caso, para llevar o recoger contenedores en función de las piezas que saque la máquina. Cuando salgan piezas malas se identificarán, y por otro lado contará las buenas, es decir, las que van en el contenedor. Cuando se esté llegando al número de piezas máximas por contenedor (que dependerá en cada caso del embalaje de cada pieza), el programa enviará una señal al carretillero para que lleve otro contenedor vacío, si es que se va a seguir fabricando la misma pieza, y recoger el lleno para llevarlo a su zona de almacenamiento.

## Sistema de visores

Mediante este sistema llega todo tipo de información al puesto de trabajo y los operarios pueden comunicarse con el carretillero. Por tanto, es un método efectivo de ayuda al trabajador. De esta forma, va a estar todo mucho más automatizado y permitirá saber la trazabilidad de cada pieza en cada momento, así como la identificación de posibles piezas rechazadas para poder analizar las causas de los fallos con mayor facilidad, ya que es uno de los fundamentos del JIT: encontrar las causas de los despilfarros y eliminarlos de raíz.

El paso de información de los planificadores de la producción a los operarios que cargan las piezas a la línea de pintura se basa en una pantalla. Por esta pantalla, les llega la información del número de bastidores del modelo que hay que cargar, así como el número de piezas totales que necesitan cargar, las referencias y el número de partes de la línea que tienen que dejar entre bastidores (espacio entre bastidores).

La Figura 3. 12 representa la llegada de información al puesto de carga.

El operario solamente se tiene que preocupar de cargar las piezas, ya que al carretillero le llegará una señal automática de la hora exacta a la que se va a empezar a cargar el siguiente contenedor, para que lleve el nuevo contenedor y retire el vacío. La llegada de información al carretillero está representada en la Figura 3. 13.

Hora de carga	Código	Denominación	Número de bastidores	Nº de soportes	Nº piezas	Estado
08.26	94710	Pieza C	6	4	36	Próxima
08.12	48215	Pieza F	8	5	24	Próxima
07.59	63254	Pieza A	12	4	36	Cargando
07.47	74811	Pieza B	12	3	36	✓
07.31	85213	Pieza A	6	4	18	✓
07.00	14270	Pieza D	24	4	72	✓

Figura 3. 12 Información para operarios de carga de piezas a la línea de pintura

Dependiendo de la pieza que se introduzca hay una u otra distancia entre bastidores, así como más o menos piezas por bastidor. El programa tendrá almacenados todos esos datos de forma que calcule automáticamente el tiempo que tardan en cargar las piezas y envíe la información adecuada al carretillero en el momento oportuno.

Éste dejará en la zona de carga el contenedor lleno, que previamente ha retirado de su lugar de almacenaje de piezas inyectadas, y recogerá los contenedores vacíos que le han quedado, llevándolos a almacenar.

Entre el proceso de carga y descarga hay una relación directa. La línea siempre funciona a la misma velocidad y, por tanto, según a la hora que se hayan cargado las piezas, se sabe exactamente en qué momento se van a comenzar a descargar. En función de la hora a la que se cargan las piezas, se envía automáticamente un mensaje al carretillero indicando el número de contenedores necesarios que debe llevar a la zona de descarga de piezas.

Hora envío	Zona almacén	Código	Denominación	Puesto	Estado
08.02	B151	48215	Pieza F	Carga P	Siguiente
07.49	R24	63254	Pieza A	Carga P	✓
07.37	C15	74811	Pieza B	Carga P	✓
07.21	V0	85213	Pieza A	Carga P	✓
06.50	TY23	14270	Pieza D	Carga P	✓

Figura 3. 13 Visor carretillero A

Al igual que en el proceso de carga, el programa calcula el tiempo necesario para avisar al carretillero con suficiente antelación para que tenga preparado el embalaje en el momento y lugar exacto.

La Figura 3. 14 representa la llegada de información al carretillero encargado de la descarga.

The screenshot shows a mobile application interface titled 'PANTALLA CARRETILLERO B' with an 'OK' button. Below the title is a section labeled 'INFORMACIÓN' containing a table with the following data:

Hora envío	Zona almacén	Código	Denominación	Puesto	Estado
12.32	A41	48215	Pieza F	Descarga P	Esperando
12.19	T3	63254	Pieza A	Descarga P	Esperando
12.07	C05	74811	Pieza B	Descarga P	Esperando
11.51	L07	85213	Pieza A	Descarga P	Siguiente
11.20	T1	14270	Pieza D	Descarga P	✓

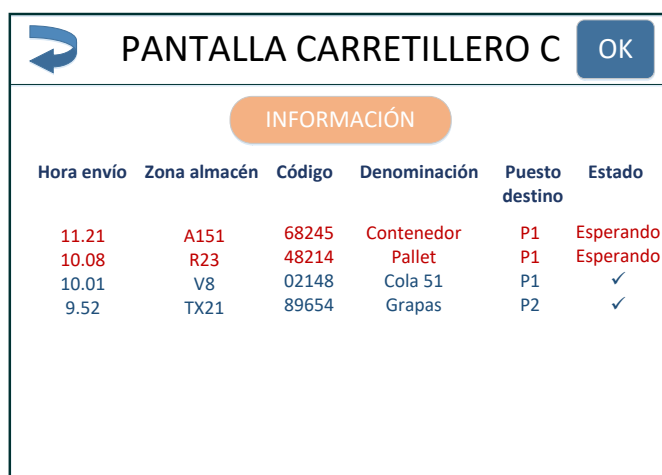
Figura 3. 14 Visor carretillero B

La información de los cambios de color la recibe directamente la persona encargada de realizarlos y los operarios de carga, quienes la necesitan para dejar libre el espacio necesario para el cambio de color.

Una vez que las piezas se han descargado, se llevan al proceso de montaje. Durante el montaje de las piezas van a llegar las necesidades al carretillero que se crean por el consumo de material, de la forma que se ha especificado anteriormente.

Cada vez que el carretillero retira algún tipo de material, componente o embalaje del almacén se envía una señal a la persona encargada del suministro. Es decir, cuando se retira una materia prima del almacén, deberíamos avisar a nuestro proveedor para que nos suministre otra. Pero no todos los proveedores usan el mismo sistema ni requieren la información de la misma forma ni con la misma frecuencia; esto hace que la información, en vez de llegar directamente al proveedor, pase a la persona encargada del aprovisionamiento, quien enviará una señal de necesidades al proveedor cuando lo considere necesario. Así, el aprovisionador le hará pedidos en función de lo consumido realmente, y no según lo que se debería haber consumido, lo que ahorrará tiempo y problemas.

Al carretillero le pueden llegar peticiones de necesidades de todo tipo, desde embalaje hasta recoger producto terminado o traslado de contenedores con piezas, como se indica en la Figura 3. 15. La señal de llevar nuevo embalaje, le llega en forma de códigos, indicando lugar en el almacén y cantidades.



The screenshot shows a mobile application interface titled 'PANTALLA CARRETILLERO C' with an 'OK' button. Below the title is a section labeled 'INFORMACIÓN' containing a table with the following data:

Hora envío	Zona almacén	Código	Denominación	Puesto destino	Estado
11.21	A151	68245	Contenedor	P1	Esperando
10.08	R23	48214	Pallet	P1	Esperando
10.01	V8	02148	Cola 51	P1	✓
9.52	TX21	89654	Grapas	P2	✓

Figura 3. 15 Pedidos en la pantalla del carretillero C

Una vez que el carretillero accede a esos materiales, lo selecciona de forma táctil en su pantalla, lee el código de barras y el sistema le dice si corresponde con el pedido que le han hecho. Si es así, se envía la señal al proveedor.

Se actúa de forma similar cuando el carretillero necesite coger determinados materiales del supermercado de piezas que hay entre inyección y pintura. El carretillero cogerá el número de piezas necesarias para llevar a la línea de pintura. La retirada de esas piezas llegará al programa del planificador del proceso de inyección, que dará la instrucción de meter el molde en la máquina cuando se haya llegado a una cantidad de piezas retiradas. Si el planificador, por capacidad o alguna otra razón, tiene que meter el molde en la máquina sin haber consumido el número de piezas requeridas para meterlo, fabricará solamente el número de piezas que se han consumido, evitando así realizar sobreproducción.

Con este sistema también se podrá controlar a lo largo del día los movimientos de cada carretillero, la frecuencia con la que accede a cada almacén y a cada puesto de trabajo y se podrán hacer estudios de mejora sobre la eficiencia de estos, trazando un diagrama espagueti.

Aunque la mayoría de las señales que se envíen sean de forma automática, el operario de cada centro de trabajo tendrá la opción de hacer una llamada urgente al carretillero (funcionamiento del tipo *kanban* urgente). Tendrá la opción de avisarle de una falta de material urgente, enviándole el código, para



que éste no tenga que ir al centro de trabajo y volver a desplazarse. A él le aparecerá la señal en rojo (el método *kanban* lleva asociado las señales visuales), y esta necesidad se pondrá en primer lugar, teniendo que acudir al centro del trabajo desde el que es avisado, o comunicándose con éste de la forma más rápida posible. Cuando le llega mensaje urgente se antepone al siguiente que tenía que realizar. Se representa un pedido de este estilo en la Figura 3. 16.

PANTALLA CARRETILLERO D					
INFORMACIÓN					
Hora envío	Zona almacén	Código	Denominación	Puesto	Estado
12.08	B151	12168	Tornillos	P1	Esperando
11.54	R24	87452	Refuerzos	P1	SIGUIENTE
<b>12.30</b>	<b>C15</b>	<b>14856</b>	<b>ESPUMAS</b>	<b>P1</b>	<b>URGENTE</b>
11.32	V0	32748	Cola	P1	✓
11.15	TY23	10248	Grapas	P2	✓

Figura 3. 16 Representación pedido urgente por el puesto P1

Para que este sistema sea eficaz se debe, además, definir una única ubicación para cada referencia.

## 3.2 Future Value Stream

Según las mejoras del proceso productivo planteado, dibujaríamos el mapa de estado futuro como se representa en la Figura 3. 17.

El cliente enviará predicciones al departamento del control de la producción, y órdenes diarias de fiabilidad 100%, mediante señales electrónicas, como se indica en la Figura 3. 18.

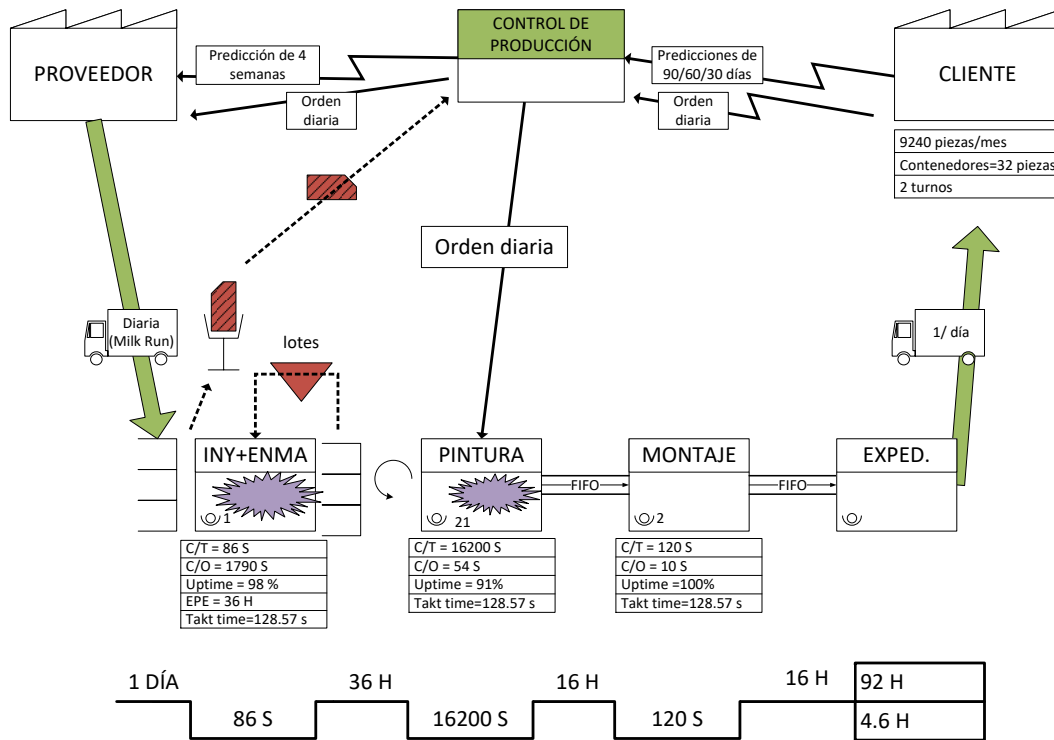


Figura 3. 17 VSM futuro

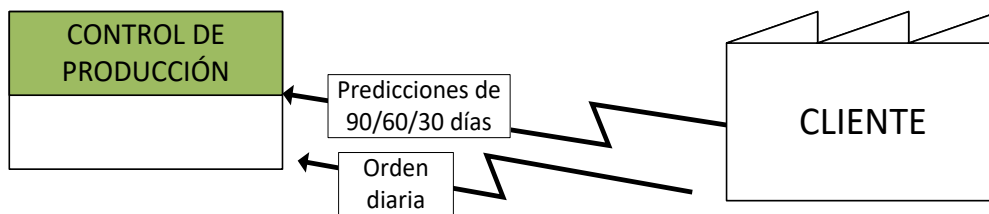


Figura 3. 18 Representación del flujo de información desde el cliente

El planificador de la producción programa el proceso de pintura, ya que es el proceso marcapasos. Según la programación que realice, que tratará de ser lo más nivelada posible, se calculará el número de contenedores máximo que tiene que haber en la línea FIFO cada día, tal y como se ha explicado anteriormente (ver Figura 3. 19).

Mientras tanto, en la línea de pintura se están estudiando mejoras de reducción del lead time total en la línea de pintura, como de reducción de coste y tiempo de cambio de color, mediante círculos de calidad.

Una vez las piezas llegan al puesto de montaje, se montarán y pasarán a la otra línea FIFO que solamente admite la cantidad total diaria requerida por el cliente (ver Figura 3. 20).

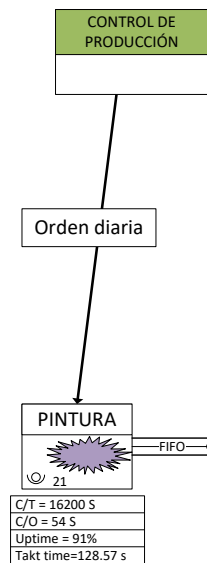


Figura 3. 19 Representación del paso de información de cliente al proceso marcapasos

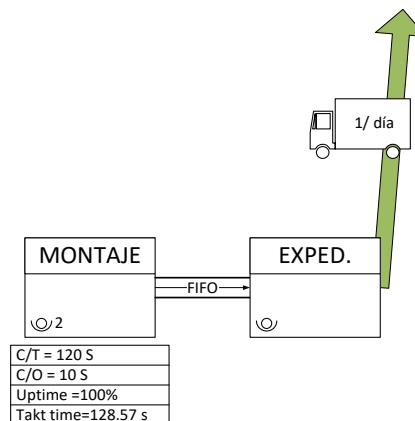


Figura 3. 20 Representación del flujo aguas abajo

Si miramos aguas arriba del proceso marcapasos, nos encontramos un supermercado con las piezas inyectadas. Se ha conseguido reducir de 72 horas de stock a 36, debido a la disminución del tiempo de cambio de molde y al flujo continuo que se ha creado para los procesos de inyección y enmascarado. El estudio de reducción de tiempo de cambio de molde se sigue realizando, con el objetivo de realizar un cambio de molde en menos de 10 minutos. Según se vaya reduciendo este tiempo, se disminuirá el tamaño del supermercado al mismo tiempo que aumentará la frecuencia de inyección (ver Figura 3. 21).

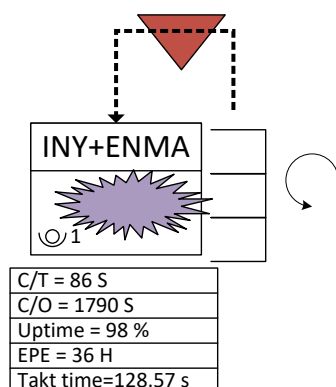


Figura 3. 21 Representación proceso de inyección

Por otro lado, el proceso de inyección también se abastecerá de otro supermercado de material procedente de proveedores. La cantidad retirada se irá registrando, hasta que llegue a un máximo, que será la tarjeta *kanban* con la que llegue la información a los controladores de producción y ellos se encarguen de enviar las necesidades al proveedor. El proveedor, nos enviará el material diariamente, teniendo en cuenta, como se ha dicho anteriormente, que se realizará un Milk Run cuando sea necesario para conseguir recibir pedidos diarios de menor cantidad.

Con las mejoras que se han realizado hasta el momento, vemos que se ha reducido el *lead time* el 50% del tiempo. En vez de responder a un requerimiento del cliente en 8 días, se va a responder en menos de 4. Si se continúa realizando mejoras, además de conseguir que se mantengan las realizadas, será muy fácil reducir continuamente el *lead time*, creando así una ventaja competitiva.

Implementando y realizando mejoras continuamente, detectando la causa de los problemas desde la raíz, reduciremos el *lead time* y tendremos mayor capacidad de reacción ante los requerimientos del cliente.

### 3.3 Pasos para llevar a cabo la propuesta

La efectividad de esta herramienta no da lugar a dudas, ya que ha sido implantada con éxito en muchas empresas. Sin embargo, al ponerla en marcha surgen dudas en relación a cómo priorizar cada paso en la implantación.

Antes de comenzar, nos debemos asegurar de que todo el personal implicado conozca el nuevo sistema. Cada uno debe conocer su fuente de información, conocer el sistema automatizado, saber la ruta de los materiales, conocer la

importancia de producir en lotes pequeños, mantener buena relación entre procesos (incluidos proveedores), y mejorar continuamente el sistema para reducir el WIP. Hay que convencerse de que los principios *Lean* son los adecuados para implementar en el entorno en el que estamos.

Para medir la mejora, hay que basarse en los indicadores y definir la eficiencia global de los equipos. Pero también es necesario realizar un plan de acción. El VSM solamente es una herramienta. Si no se logra llevar a cabo el VSM futuro, es prácticamente inútil haberlo realizado.

El plan para lograr el VSM futuro debe contener, en primer lugar, el VSM futuro, que hay que dividir en varios pasos, para lograr una implementación más sencilla. Para una fácil visualización se rodearán en el VSM futuro, como se indica en la Figura 3. 22.

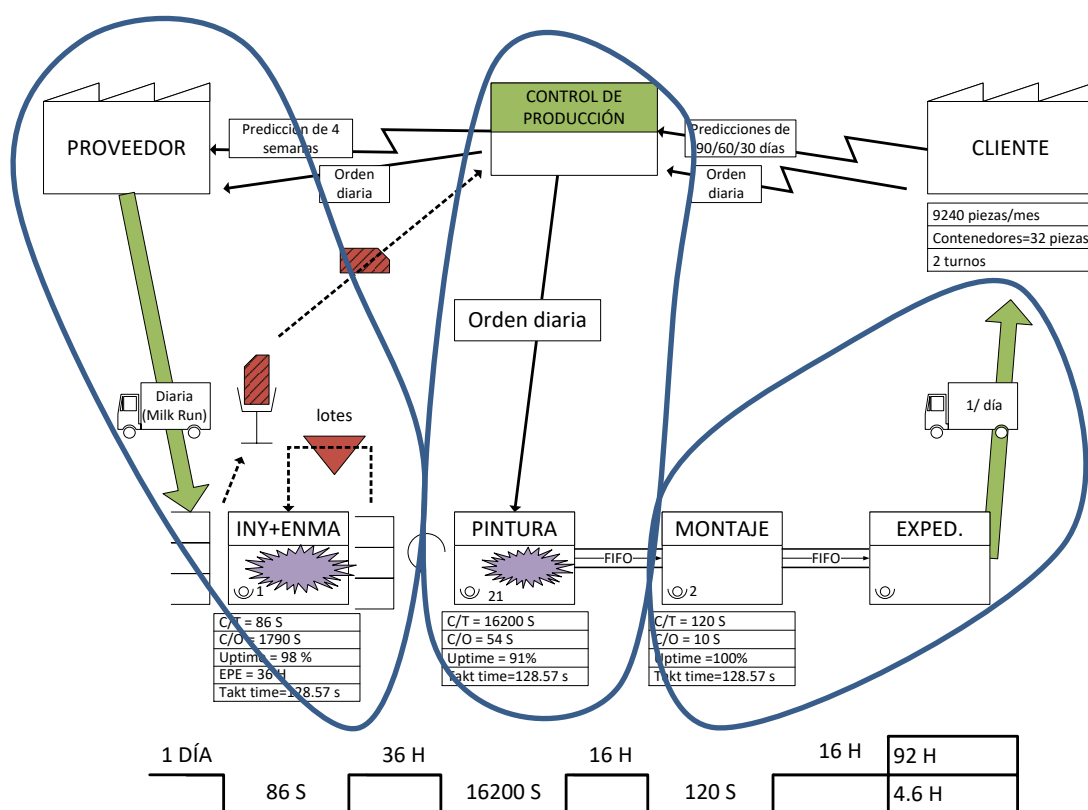


Figura 3. 22 Pasos en los que se divide el VSM futuro para la implementación

Una vez hecho, hay que establecer el orden en el que se quiere implementar. Una estrategia efectiva suele ser comenzar con el proceso marcapasos e ir aguas arriba. Es probable que se vayan haciendo modificaciones mientras se está implementando, realizando diversos bucles, hasta obtener el resultado que se quiere.

Dentro de cada bucle, una buena estrategia es seguir los puntos establecidos por un VSM *Lean*. A modo resumen, son los siguientes.

- a. Desarrollar un flujo continuo que opere de acuerdo al *takt time*. De esta forma se eliminarán desperdicios, sobreproducción y se reducirá el *lead time*.
- b. Establecer un sistema *pull* para controlar la producción. En caso contrario, aunque se haya cumplido el paso anterior, se volverán a generar lotes.
- c. Realizar nivelación
- d. Realizar kaizen para eliminar desperdicios de forma continua, reduciendo el nivel de inventario y de los supermercados, y ampliando el rango de flujo continuo.

Aunque no se distinguen cada uno de los pasos cuando se empieza a llevar a cabo, es ventajoso tener el esquema en la cabeza para darse cuenta de que los objetivos se están implementando unos sobre otros.

Para llevar a cabo todo esto, se necesitarán varias fases de trabajo. Una vez que se tenga claro el orden de implementación, la persona responsable de llevarlo a cabo debe anotarlo en un *Value Stream Plan (VSP)*.

Para comenzar la implementación, es ventajoso crear un *pull* inicial. Lanzar lotes muy grandes tiene muchos problemas: no se produce al ritmo del *takt time*, el volumen de trabajo es discontinuo y se sobrecarga a los operarios o máquinas, la situación es más difícil de controlar y seguir, aumenta el *lead time* y se dificulta la respuesta a los requerimientos de cliente. Por lo tanto, si se nivela el ritmo de producción se crea un flujo predecible, que permite resaltar los problemas que surgen y obliga a tomar una acción correctiva rápida. Para comenzar, es recomendable lanzar una instrucción de producción de poca duración (entre 5 y 60 minutos) en el proceso marcapasos y, simultáneamente, sacar la misma cantidad de producto acabado.

Además, el plan para llevar a cabo el VSM futuro debe contener detalles de cada proceso en los que se pondrán objetivos y metas para llevar a cabo.

Otro de los requisitos es que contenga un VSP anual. El VSM futuro muestra hacia dónde queremos dirigirnos. Para llevarlo a cabo se debe realizar un plan anual que muestre qué es lo que se debe hacer y cuándo, mientras se proponen metas medibles y se realizan los controles oportunos. También, se debe nombrar a personas encargadas de la revisión de éstas actividades. Se suelen comenzar a implementar procesos que conozcan muy bien las personas implicadas, o bien elegir aquellos cuya probabilidad de éxito sea alta o que vayan a generar más dinero o menores pérdidas. Una de las claves para llevar a cabo el VSP es incorporarlo en el proceso de trabajo habitual. De esta forma, se facilita el trabajo y la comunicación, además de hacer que todo el personal

conozca esta herramienta. El encargado del VSP deberá identificar, mensual o trimestralmente, cada objetivo marcado y evaluarlo. A la hora de reportar, hay que fijarse, en primer lugar, en aquellos objetivos no cumplidos.

Por otra parte, la mejora del *value stream* es principalmente responsabilidad de dirección. Es quien tiene una perspectiva de todo el flujo global, así como de enfocar el flujo *Lean* y dirigir su implementación. Es quien puede ver más allá de los límites departamentales y funcionales.

A cualquier nivel, debe haber un espíritu de impulso de creación del mapa de flujo de valor *Lean* y se debe ser capaz, desde el punto de vista de la gestión, de trabajar al ritmo del *takt time*, si es lo que se les está pidiendo a los operarios.

El director del flujo de valor debe liderar a las personas que operan el proceso, tanto en fabricación como en todas las funciones empresariales, y asumir responsabilidades.

Tiene que existir un conjunto de especialistas en *Lean Manufacturing* que entrenen a los managers encargados a identificar el desperdicio y a introducir las prácticas apropiadas necesarias.

La dirección debe asegurarse de que el grupo trata los problemas en la planta, liderando los cambios, dando un enfoque 'práctico' para resolver problemas y prestando atención a las necesidades de la organización y del cliente. También debe asegurarse de que el grupo *Lean* ayuda a todas las funciones de la empresa y no sólo a la fabricación.

Las medidas deben proporcionar información significativa para la gestión de una operación *Lean*, y no debe ser contraproducente para las metas.





## 4. Estudio económico

### 4.1 Introducción

En este apartado se realiza una valoración económica del desarrollo del presente Trabajo Fin de Grado. Para ello, se distinguen las fases en las que se realiza el proyecto, así como los materiales y las personas implicadas en él. A continuación, se realizará una descripción detallada de cada una de las partes.

### 4.2 Fases del modelo planteado

Se distinguen las siguientes fases:

- *Fase 1: analizar la situación inicial existente.* Para ello se emplea tiempo en los distintos puestos de trabajo de la planta de producción, comprendiendo las operaciones a realizar en cada uno de ellos, así como el flujo del material. A partir de esos datos principales, se elabora un estudio de tiempos de cada una de las piezas en cada puesto de trabajo por el que transcurren. Se determinan también todas las características de tiempos y bastidores de la línea de pintura. En general, es la fase de recopilación de todo tipo de información.
- *Fase 2: plantear el nuevo modelo y estudiar la posibilidad de mejora.* Una vez que se tiene la situación actual, se detectan oportunidades de mejora y se plantean cada una de ellas basándose en la filosofía *Lean*, mediante la utilización de un VSM. El informático analiza la viabilidad del sistema planteado.
- *Fase 3: gestionar el aprendizaje.* Cursos de formación a todas las personas afectadas. Esta fase incluye formación interna a todos los trabajadores afectados de primera mano. Es muy importante formar a los trabajadores que van a ser parte del sistema, ya que de lo contrario el sistema fallará y no tendrá éxito.
- *Fase 4: realización de la memoria.* En esta etapa, el ingeniero redacta todo el trabajo; el directivo recibe información por parte del ingeniero y aprueba la viabilidad del proyecto.

## 4.3 Estudio económico

En este apartado se realiza la valoración económica a partir de todas las fases descritas anteriormente. Se tendrán en cuenta los costes asociados al personal, recursos informáticos, materiales, así como costes indirectos.

Se analizan cada una de esas partes de forma individual, para saber la influencia de cada una de ellas en el proyecto.

### 4.3.1 Horas efectivas anuales y tasas horarias

En primer lugar, se determina la tasa por hora y semana de cada trabajador, para poder determinar el coste asociado al personal implicado en este trabajo.

Para ello, se determina el número de días empleados en la realización de un Trabajo Fin de grado de esta envergadura, descritos en la Tabla 4. 1.

Para el desarrollo del proyecto se han tenido en cuenta las personas descritas a continuación, con sus respectivos sueldos.

Se necesita una persona encargada de la toma de datos inicial, así como el estudio de los tiempos y el planteamiento de los distintos sistemas. Por otro lado, hay que formar a los trabajadores sobre Lean Manufacturing y, más concretamente, sobre la forma en que se va a llevar a cabo el proceso, haciéndoles conocer el flujo de materiales y la razón de cada movimiento y promoviendo, también, la participación de los operarios.

Tabla 4. 1 Número de días totales hábiles

Concepto	
Meses	6
Días / mes	30
Días fin de semana/ mes	8
Días hábiles / mes	22,0
Días de fiesta / periodo	6,0
Días de vacaciones	11
<b>Número total de días hábiles</b>	<b>115</b>

Para poner en marcha el plan, se necesita el apoyo de la dirección, así como un informático para desarrollar todas las tareas de software necesarias para la

implantación. Tanto la dirección como la persona encargada del proyecto, van a necesitar apoyo por parte de un experto en *Lean*.

Teniendo en cuenta cada uno de los sueldos, junto con las horas empleadas, calculamos el coste de personal, como se ve en la Tabla 4. 2.

Tabla 4. 2 Salarios del personal

	Salario	Seguridad Social (35%)	Coste total anual
<b>Ingeniero</b>	28.125,2	9.843,8	37.969,0
<b>Operarios</b>	22.741,4	7.959,5	30.700,9
<b>Dirección</b>	73.542,1	25.739,7	99.281,8
<b>Informático</b>	28.125,2	9.843,8	37.969,0

Una vez calculado el coste del personal, se calcula el coste de cada trabajador por hora, y por semana como se indica en la Tabla 4. 3.

Tabla 4. 3 Coste de cada trabajador por hora, por semana, y total

	Coste total anual	Coste total (€/hora)	Coste total (€/semana)
<b>Ingeniero</b>	37.969,0	20,6	825,4
<b>14 Operarios</b>	30.700,9	16,7	667,4
<b>Directivo</b>	99.281,8	54,0	2.158,3
<b>Informático</b>	37.969,0	20,6	825,4
<b>TOTAL</b>		<b>111,9</b>	<b>4476,5</b>

### 4.3.2 Amortizaciones de equipo informático

Aquí se recogen los costes relacionados con la informática: software y hardware. Se considera una amortización lineal de 5 años de los equipos informáticos utilizados para la realización del TFG, con una cuota lineal. La amortización durante el período de este proyecto es la proporcional a 6 meses de duración. Los costes de hardware y software aparecen en la Tabla 4. 4 mientras que la cantidad a amortizar se puede ver en la

Tabla 4. 5.

La cantidad total a amortizar de los equipos informáticos, tanto software como hardware, durante los 6 meses de duración del proyecto es de 146.1€.

Tabla 4. 4 Coste de material informático

<b>HARDWARE</b>	<b>Precio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Coste total</b>
Portátil - Acer Aspire E5-575G-50R4	591 €	1	591 €
Ratón inalámbrico - Logitech G502	15,99 €	1	16 €
Impresora multifunción láser HP	105 €	1	105 €
Cámara de fotos digital - Canon Ixus 180	158,00 €	1	158 €
<b>SOFTWARE</b>	<b>Precio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Coste total</b>
Licencia Windows 10 Professional	50,82 €	1	51 €
Licencia Paquete Office 2016	100 €	1	100 €
Licencia AutoCAD	440 €	1	440 €
<b>TOTAL A AMORTIZAR</b>			<b>1.460,81</b>

Tabla 4. 5 Amortización de material informático

<b>AMORTIZACIÓN 5 años</b>	<b>€</b>
ANUAL	292,2
MENSUAL	24,3
<b>DURACIÓN TFG (6 MESES)</b>	<b>146,1</b>

### 4.3.3 Coste de material consumible

El coste medio del material consumible por persona y hora de trabajo se detalla en la Tabla 4. 6. Se determina el coste medio total por persona, y a partir de ahí se especifica el coste medio por persona y hora. El coste total son 117,2 € mientras que el coste por persona y hora, que nos servirá a continuación para el cálculo de costes por fases, es 0,13 €.

### 4.3.4 Costes indirectos

En este apartado se consideran gastos generales indirectos como alquiler del local donde se desarrolla el proyecto, calefacción, agua, electricidad, teléfono e internet entre otros. Además, se considera otro concepto en el que se incluyen gastos que puedan surgir y que no hayamos tenido en cuenta. Como se indica en la Tabla 4. 7, los costes totales para 6 meses son de 4.506 €.

Tabla 4. 6 Coste material consumible

CONCEPTO	COSTE €
Papel impresora	63
Suministro impresora	250
Útiles de papelería	170
Otros	103
<b>TOTAL</b>	<b>586</b>
<b>Coste total (€/persona)</b>	<b>117,2</b>
<b>€/persona hora</b>	<b>0,13</b>

Tabla 4. 7 Costes indirectos

CONCEPTO	COSTE / MES (€)	COSTE / 6 MESES (€)
Alquiler local	402	2.412
Teléfono e internet	44	264
Electricidad, agua, calefacción	160	960
Otros	145	870
<b>TOTAL</b>	<b>751</b>	<b>4.506</b>

#### 4.3.5 Costes de dietas y viajes

Debido a la búsqueda de información acerca de la situación actual, en la empresa, así como el estudio de viabilidad de las propuestas, y la puesta en marcha, se necesitan realizar una serie de desplazamientos. El coste medio calculado por persona y hora es de 0.15€ (ver Tabla 4. 8).

Tabla 4. 8 Coste de dietas y viajes

CONCEPTO	COSTE (€)
Dietas	210
Kilometraje	231
Gastos viaje	125
Otros	134
Coste total	700
Coste / persona	140
<b>Coste / hora · persona</b>	<b>0,15</b>

### 4.3.6 Horas de personal dedicadas a cada fase del proyecto

Mediante un estudio de tiempos y de proyectos de características similares realizados se determina la dedicación del personal en cada una de las fases (ver Tabla 4. 9).

Tabla 4. 9 Horas dedicadas a cada fase

	Fase 1 (h)	Fase 2 (h)	Fase 3 (h)	Fase 4 (h)
Ingeniero	87	69	8	95
Operarios			112	
Dirección	9			7
Informático		150		
Total horas/ fase	96	219	120	102
Total horas	537			
<b>% fase respecto al total</b>	<b>17,88%</b>	<b>40,78%</b>	<b>22,35%</b>	<b>18,99%</b>

El tiempo total necesario para la realización del trabajo se calcula con la suma del tiempo necesario en cada una de las fases, 537 horas. El porcentaje de tiempo de cada una de las fases con respecto al tiempo total empleado se puede ver representado en la Figura 4. 1.

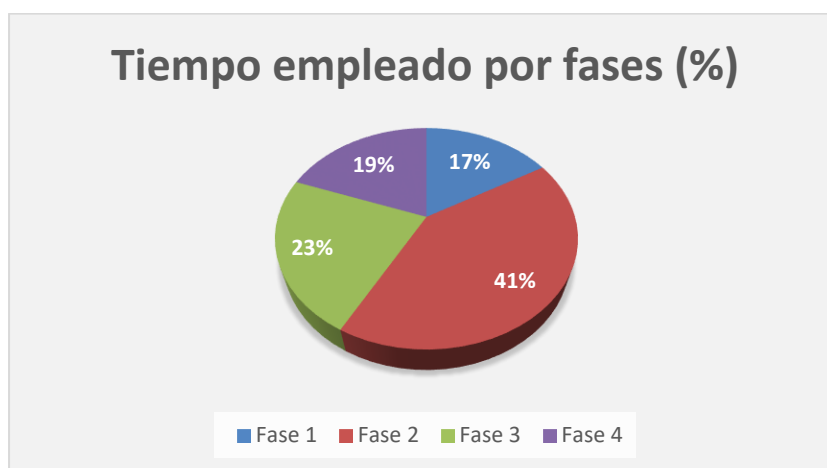


Figura 4. 1 Representación del tiempo empleado por cada fase

Como se puede observar, la fase en la que se emplea más tiempo es la del planteamiento del nuevo modelo y estudio de posibilidades de mejora. En segundo lugar, la fase de formación; no por el número de horas de formación, sino por el número de personas que reciben dicha formación. Pero este

porcentaje es muy similar al de la recogida de información de la situación actual y al de redacción de la memoria.

## 4.4 Coste asignado a cada fase del proyecto

Para ello se tiene en cuenta la dedicación de cada persona en cada etapa, así como las tasas horarias y amortizaciones.

Se va a ir diferenciando por partes cada fase, explicando los costes asociados a cada una de ellas.

### 4.4.1 Fase 1: analizar la situación existente

En la primera fase interviene el ingeniero, encargado de observar la situación inicial, teniendo en cuenta el número de viajes que realiza hacia la planta de producción para conocer la misma. En la Tabla 4. 10 se representa el desglose de los costes totales de la primera fase.

Tabla 4. 10 Cálculo del coste total de la fase 1

		Horas	Coste (€/h)	Coste (€)
<b>Personal</b>	Ingeniero	87	20,6	1795,3
<b>Material</b>		87	0,13	11,1
<b>Viajes</b>		47	0,15	7,2
		<b>Cantidad €</b>	<b>Porcentaje (%)</b>	<b>Coste (€)</b>
Amortización	Equipo informático	146,1	17,88%	26,1
Costes indirectos	Servicios	4506	17,88%	805,5
<b>Coste total fase 1</b>				<b>2.645,2</b>

### 4.4.2 Fase 2: plantear el nuevo modelo. Estudiar las posibilidades de mejora.

En la segunda fase también interviene el ingeniero, ya que realiza todo tipo de estudios sobre la situación inicial y plantea las posibles mejoras para aumentar la eficiencia de los procesos. El informático, por su parte, estudia la viabilidad

del modelo planteado, y comienza a adecuar los sistemas informáticos a ese modelo. En la Tabla 4. 11 se indican los costes de la segunda fase.

Tabla 4. 11 Cálculo del coste total de la fase 2

		Horas	Coste (€/h)	Coste (€)
<b>Personal</b>	Ingeniero	69	20,6	1.423,8
	Informático	150	20,6	3.095,3
<b>Material</b>		219	0,13	27,9
<b>Viajes</b>		57	0,15	8,7
		Cantidad €	Porcentaje (%)	Coste (€)
Amortización	Equipo informático	146,1	40,78%	59,6
Costes indirectos	Servicios	4.506	40,78%	1.837,6
<b>Coste total fase 2</b>				<b>6.452,9</b>

#### 4.4.3 Fase 3: gestionar el aprendizaje

En esta fase, las personas principales son todos aquellos trabajadores que van a recibir formación sobre el nuevo modelo que se va a implantar. Habrá formación interna sobre todo lo relacionado con el nuevo sistema de producción. Aunque el número de horas empleadas en formación no es excesivo, el número de personas a formar es bastante amplio, por ello, el coste asociado a la formación es considerable. Dicho coste aparece representado en la Tabla 4. 12.

#### 4.4.4 Fase 4: realización de la memoria

Finalmente, el ingeniero realiza toda la documentación necesaria para poder llevar a cabo el proyecto. Es muy importante la implicación de la dirección en esta fase para dar su apoyo y aprobar la viabilidad. En la Tabla 4. 13 aparecen los costes asociados a la última fase.



Tabla 4. 12 Cálculo del coste total de la fase 3

		Horas	Coste (€/h)	Coste (€)
<b>Personal</b>	Ingeniero	8	20,6	165,1
	Operarios	112	16,7	1.868,7
<b>Material</b>		120	0,13	15,3
<b>Viajes</b>		8	0,15	1,2
		Cantidad	Porcentaje (%)	Coste (€)
Amortización	Equipo informático	146,1	22,35%	32,6
Costes indirectos	Servicios	4506	22,35%	1006,9
<b>Coste total fase 3</b>				<b>3089,9</b>

Tabla 4. 13 Cálculo del coste total de la fase 4

		Horas	Coste (€/h)	Coste (€)
<b>Personal</b>	Ingeniero	95	20,6	1.960,4
	Directivo	7	54,0	377,7
<b>Material</b>		102	0,13	13,0
<b>Viajes</b>		3	0,15	0,5
		Cantidad	Porcentaje (%)	Coste (€)
Amortización	Equipo informático	146,1	40,78%	59,6
Costes indirectos	Servicios	4506	40,78%	1.837,6
<b>Coste total fase 4</b>				<b>4.248,7</b>

## 4.5 Resultados finales

En este apartado analizaremos los resultados obtenidos hasta el momento. A partir de los costes totales obtenidos en la Tabla 4. 14, se representa el porcentaje de costes de las fases en la Figura 4. 2.

Al igual que en tiempo empleado, la segunda fase es la de mayor coste económico. Es lógico, debido a las horas empleadas en la resolución del sistema *push* y en la búsqueda de nuevas formas de producción con el objetivo de reducción del despilfarro.

Tabla 4. 14 Costes por fases

Fases	Horas	Costes
Fase 1	87	2.645,2
Fase 2	219	6.452,9
Fase 3	120	3.089,9
Fase 4	102	4.248,7
<b>TOTAL</b>		<b>16.436,7</b>

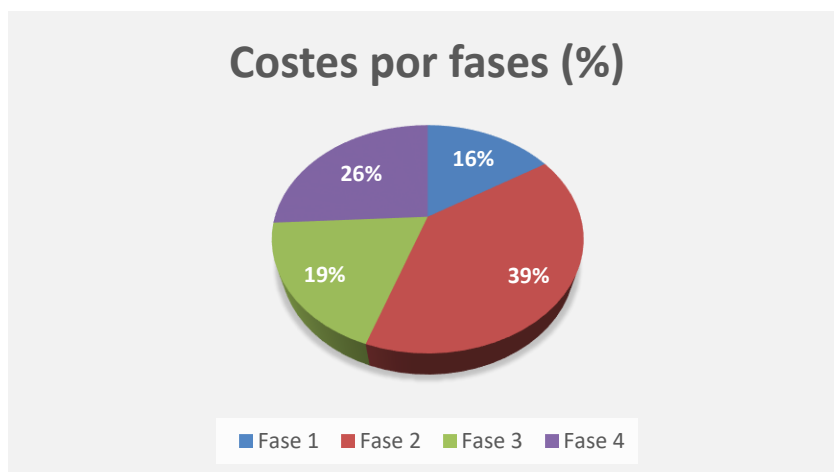


Figura 4. 2 Representación del coste asociado a cada fase

Por otro lado, analizamos el coste y tiempo empleado a nivel de personal, que se puede ver representado en la Figura 4. 3 y Figura 4. 4. Como era de esperar, aproximadamente la mitad del tiempo lo emplea el ingeniero, ya que es el que realiza todo el análisis. Además, la mitad de los costes también están asociados a él, tanto por el material utilizado, como por los desplazamientos y gastos de viaje llevados a cabo durante el proyecto. Así mismo, el siguiente grupo de mayor tiempo empleado y costes asociados son los operarios. Posteriormente, el informático emplea un 28% del tiempo total del proyecto en estudiar la viabilidad de la parte informática y ponerlo a prueba, con su correspondiente 29% de costes. La dirección es la parte que toma menores costes debido al poco tiempo empleado en el proyecto; sin embargo, y aunque su presencia sea escasa, es fundamental para poder llevarlo a cabo.

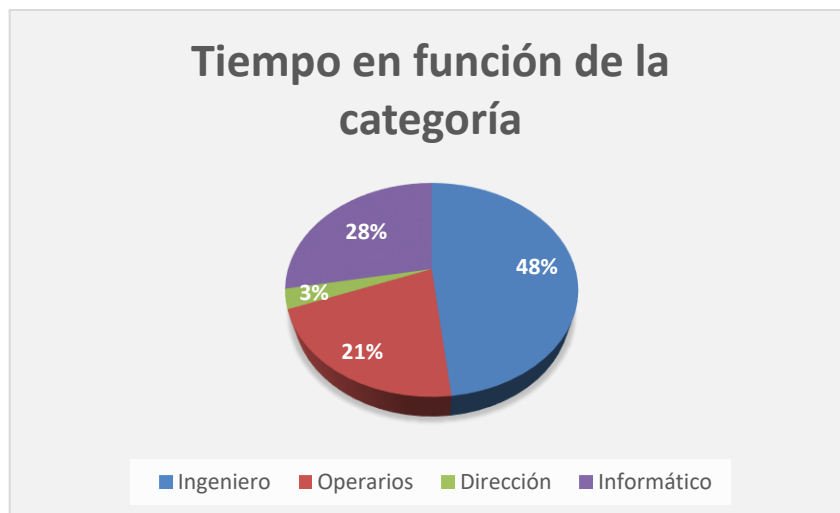


Figura 4. 3 Tiempo empleado por categoría

Finalmente, para calcular el valor final del TFG, se aplica un 30% de beneficio para la organización, y un 21% de impuestos (IVA), concluyendo en un coste total para este trabajo, de 24.819,5€, como se puede ver en la Tabla 4. 15.

Tabla 4. 15 Coste total final del TFG

Concepto	€
Coste total	16.436,7
Beneficios (30%)	4.931,0
IVA (21%)	3.451,7
<b>TOTAL COSTE TFG</b>	<b>24.819,5</b>

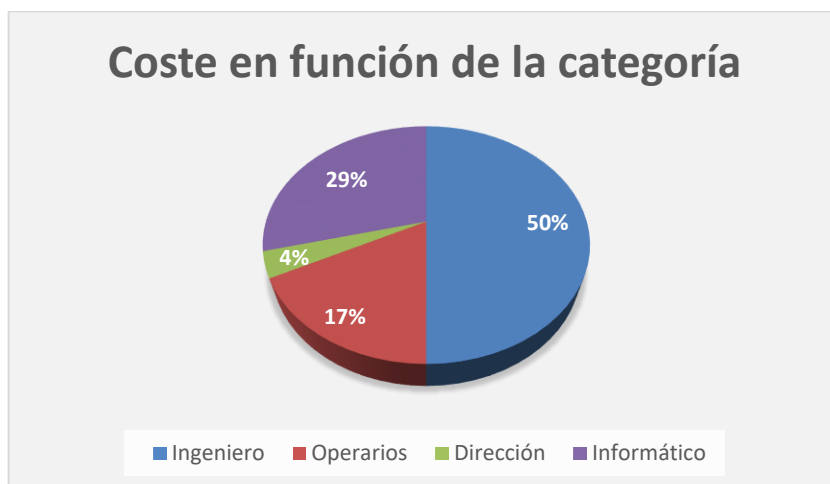


Figura 4. 4 Costes por categoría



## Conclusiones

Este apartado sirve como síntesis para evaluar si se han cumplido los objetivos descritos en la introducción.

Es importante, actualmente, que las empresas sirvan a sus clientes lo que estos desean, en el momento y la cantidad que lo solicitan, con productos de máxima calidad y a un precio competitivo. Los productos cada vez están sujetos a tiempos de vida más cortos, frecuentes cambios de diseño, producción en pequeños lotes y restricciones para mantener bajos los niveles de inventario en el proceso. Por este motivo, el sistema productivo debe adaptarse y producir lo que se necesita, en el momento y cantidad requerido, con la máxima calidad posible y optimizando el uso de recursos, utilizando un sistema flexible, de calidad asegurada, eliminando cualquier despilfarro y utilizando el mínimo inventario posible. Por consiguiente, es imprescindible realizar cambios continuamente en los procesos productivos que conduzcan a la mejora.

Hemos partido de la situación del flujo actual de un conjunto de productos que se fabrican en una planta industrial mediante procesos como la inyección de piezas, pintura y montaje de las mismas, para entregárselas posteriormente a nuestro cliente: una de las principales marcas del sector automovilístico.

Para ello, basándonos en la filosofía y herramientas *Lean*, se ha realizado un estudio de la situación actual de cada producto en cada proceso, plasmándolo en un mapa de flujo actual.

A partir de las medidas *Lean* descritas, se ha planteado un nuevo modelo de fabricación mediante la implantación de un sistema pull, y un sistema *kanban*, con la necesidad de controlar los stocks para la reducción del despilfarro y la eliminación de la sobreproducción.

Reducir la sobreproducción es una necesidad crítica en los momentos que se quiere llevar a cabo un mayor número de proyectos con el mismo número de recursos y donde, por la falta de espacio y capacidad disponible, resulta totalmente ineficiente producir con antelación productos que aún no se necesitan mientras se dejan de entregar productos solicitados por el cliente.

Durante el desarrollo del VSM se ha conseguido analizar cada una de las operaciones distinguiendo las que aportan valor añadido de las que no lo hacen, reduciendo estas últimas.

Este estudio también se ha centrado en la importancia de la gestión de las personas, así como de la necesaria implicación y apoyo de la dirección para llevar a la práctica todos los estudios que se realicen.

### **Mejoras alcanzadas**

En primer lugar, se ha conseguido realizar el flujo continuo entre los procesos de inyección de piezas y enmascarado, consiguiendo eliminar el stock intermedio y los movimientos asociados del carretillero.

Otra de las mejoras en todos los aspectos es la realización de un sistema *pull*. La programación de un único proceso aumenta en gran cantidad la eficacia de cada uno de ellos, eliminando burocracia, búsqueda de óptimos locales por departamentos y controlando en mayor medida la producción.

Una de las partes claves del trabajo, es el desarrollo de una fórmula para calcular el stock necesario en la línea FIFO entre la línea de pintura y el proceso de montaje. Ésta permitirá, una vez que la línea de pintura esté nivelada, reducir al máximo el stock, además de tener un control total de la producción y almacenaje de piezas total.

La creación de supermercados y el sistema automático de transmisión de la información y de llegada de información a los controladores de la producción y aprovisionadores, hace que se reduzcan las tareas administrativas, pudiendo optimizar y controlar en mayor medida otras tareas.

El sistema de ayuda al operario produce un aumento de efectividad ya que se disminuye el tiempo de ciclo. Además, tiene la ventaja de que pueden ser reutilizados para otros procesos debido a la posibilidad de calibrar sus medidas.

Por otro lado, se ha conseguido reducir el tamaño de los lotes formados en inyección mediante la reducción del tiempo empelado en el cambio de molde.

El sistema de información del número de piezas pintadas almacenadas es otro de los sistemas importantes desarrollados en este proyecto, ya que reduce el inventario de forma directa sin necesidad de tener esas existencias adicionales que se tenían hasta ahora.

### **Resultados, grado de consecución y metodología**

Finalmente, como resultados obtenidos se aprecia una reducción del *lead time*, comenzando de más del 50%, pasando de 8 días iniciales a menos de 4 días. Observando este resultado podemos admitir que el objetivo de este Trabajo se ha cumplido; sin embargo, no hay que olvidar que si las mejoras propuestas no se mantienen y el estado futuro actual no se actualiza, no se conseguirá el estado de mejora continua y se perderá la ventaja competitiva.

El diagrama de flujo utilizado hace comprender de forma sencilla el funcionamiento del flujo, de forma más fácil y sencilla que si se representa con un simple layout. Gracias a este VSM se ha conseguido identificar los puntos

de mejora y se ha conseguido el objetivo principal del proyecto, que es reducir el tiempo de entrega al cliente.

Lo más útil de esta metodología es su simplicidad, así como la estandarización de las formas utilizadas en el diagrama. Mediante su uso se puede apreciar de forma rápida el sentido del flujo, así como de la transferencia de información, el cuello de botella, la actividad que más tiempo requiere y la más rápida. Un análisis de este tipo puede ayudar en gran medida a identificar los puntos de mejora.

Todo ello ha permitido reducir el *lead time*, a la vez que se han propuesto mejoras que se pueden extrapolar fácilmente a otro tipo de productos y procesos siguiendo la metodología utilizada y teniendo claro en todo momento el objetivo al que se quiere llegar.

### Líneas futuras

Después del análisis del Trabajo, observamos que uno de los estudios más importantes que hay que hacer, y que mayores resultados puede dar, es la nivelación en la línea de pintura. Aunque no se ha considerado en el alcance del trabajo, es importante tenerlo en cuenta ya que puede contribuir a la consecución del objetivo.

La forma habitual de nivelar la producción es a través del casillero *heijunka*, mediante nivelación de carga (recursos) dentro del cual está el método de persecución de objetivos propuesto por Toyota, o mediante satisfacción de restricciones cuyo problema más típico es el de secuenciación de vehículos. También existen algoritmos de ayuda a la planificación como el Algoritmo Húngaro o el Algoritmo de Kauffman, entre otros. Cualquiera de estos métodos ayudará, de una u otra forma, a la nivelación de la línea de pintura.

Por otro lado, hay muchas formas de abordar el problema de la planificación de la producción. En este trabajo hemos usado un sistema *pull* programando el proceso marcapasos y push, usando una línea FIFO, sin embargo, también se podría abordar desde el punto de vista de la Tecnología de la Producción Optimizada (OPT), en la cual se equilibra la producción mediante el análisis de los recursos cuello de botella (CB). Para llevarlo a cabo se debe realizar una *programación DBR* (Drum, Buffer, Rop), basada en el funcionamiento de un tambor, un amortiguador y una cuerda. En primer lugar, se realiza la Teoría de las Restricciones (TOC) en la cual se siguen unos pasos para abordar la planificación: identificar las limitaciones, decidir cómo explotarlas, subordinar todo a las decisiones de la explotación de limitaciones, superar la falta de capacidad de la restricción y, en caso de que se rompa la limitación, se vuelve al primer paso.

Para llevar a cabo la OPT, hay que seguir ciertas reglas. Según éstas, lo ideal sería colocar los centros de trabajo en orden creciente de capacidad, pero como esto generalmente no se puede cumplir debido a otros factores, la solución es realizar una programación DBR. Para explicarlo, se suele relacionar el sistema de producción con una marcha de boy scouts, donde la altura de cada uno de ellos representa la capacidad de producción. En la Figura 5. 1 se representa la situación ideal colocando los centros de trabajo según su capacidad.

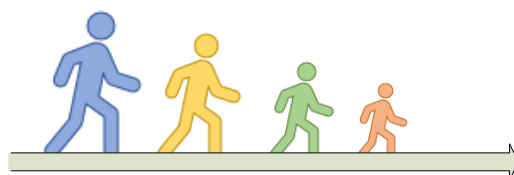


Figura 5. 1 Representación de los centros de trabajo según su capacidad. Adaptación de Domínguez Machuca J. A. (1995). *Dirección de Operaciones: aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios* (p. 274)

El tambor, representa el ritmo de trabajo que marca el CB, es decir, la programación que se hace de ese recurso. La cuerda representa la entrada de materia prima en la planta, que debe sincronizarse con el ritmo del CB. El amortiguador es una pequeña cantidad de WIP delante del CB, para protegerle de las consecuencias de posibles fallos que surjan en los centros de trabajo que anteceden al CB. Los centros de producción con los distintos elementos que controlan la producción están representados en la Figura 5. 2.

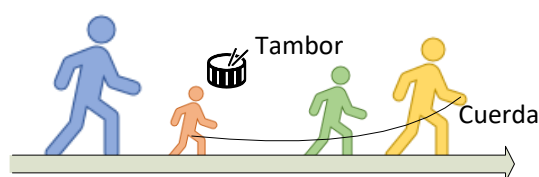


Figura 5. 2 Representación elementos de control de la producción. Adaptación de Domínguez Machuca J. A. (1995). *Dirección de Operaciones: aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios* (p. 274)

De esta forma, programando los distintos elementos se realiza un sistema de fabricación basado en las limitaciones del sistema, que forma parte también de la adecuación del sistema de producción al Just in Time.

El método para la programación DBR consiste en programar en primer lugar el CB, que representa el tambor. Para ello, se debe realizar el problema de programación de una sola máquina y proteger la entrega al cliente mediante



un buffer de envíos. Posteriormente se programan los recursos que van a continuación del CB, y después, los recursos que anteceden al CB, asegurándose de su entrega para el total funcionamiento del CB. Para ello se va a crear un buffer del CB. Por último, se programan los centros de trabajo que fabrican componentes que se unen a los ya fabricados por el CB, el cual tendrá también su correspondiente buffer de ensamble.

En resumen, esta forma de llevar a cabo la planificación basa toda su planificación en el centro de trabajo de menor capacidad, evitando así que éste tenga que parar por posibles defectos o averías que produzcan otros centros de trabajo.

Si nos fijamos, el sistema implantado en el Trabajo tiene mucha similitud con el planteamiento de la Teoría de las Restricciones. En los procesos comprendidos entre la descarga de piezas en la línea de pintura y el cliente, el cuello de botella es el proceso de montaje y requiere un buffer antes de éste para evitar parar al trabajador, lo que representa la línea FIFO en nuestro sistema. A su vez, todos los componentes que lleguen a ese proceso tienen un buffer de entrada, con el objetivo de no parar en ningún momento al operario encargado de montar piezas para que no se retrase el pedido.

Sin embargo, planteando este sistema desde que entra la materia prima para el proceso de inyección hasta que se expide la pieza completa al cliente desde el punto de vista de la Teoría de las Restricciones, el cuello de botella sería la línea de pintura, ya que es el proceso de mayor duración por pieza.

A su vez, sería conveniente evolucionar el proceso hacia un flujo síncrono *one-piece-flow*, cuyo objetivo es el paso de una sola pieza por cada operación en lugar de fabricar por lotes. Para llegar a producir de esa forma, hay que reducir todo el tiempo de preparación de máquinas u operaciones, así como maximizar la eficiencia de los equipos de trabajo.



## Glosario

**Layout o distribución en planta:** disposición esquemática de máquinas, departamentos, almacenes, áreas de fabricación o cualquier elemento que forme parte de una instalación productiva.

**JIT (Just In Time):** es uno de los dos pilares del TPS. Un sistema para producir y entregar los artículos correctos al momento correcto y en cantidades correctas. Este sistema asegura un flujo de una sola pieza al combinar conceptos como Takt, Flujo, jalar y trabajo estandarizado. (Muñoz, 2016, p.87)

**Jidoka:** “palabra japonesa que en el entorno del TPS se viene traduciendo como “automatización con un toque humano”. Es decir, un automatismo con capacidad para reaccionar, generalmente parando la instalación ante la aparición de un defecto” (Muñoz, 2016, p.86).

**Poka-Yoke:** “dispositivo o procedimiento de corrección de errores que impide que un defecto pase al siguiente proceso u operación” (Muñoz, 2016, p.111).

**VSM (Value Stream Mapping):** “representación visual de cómo fluye materia e información de los proveedores, a través de la manufactura y llega al consumidor. Incluye cálculos de tiempos de ciclo totales y tiempo de valor agregado” (Muñoz, 2016, p.99).

**SMED (Single Minute Exange of Die):** método de trabajo de sencilla aplicación basado en la observación, estudio, racionalización de aquellas operaciones que es necesario realizar en una línea de producción flexible, para permitir pasar de la fabricación de un tipo de producto “A” a otro producto “B”. (Muñoz, 2016, p.128).

**TPM (Total Productive Maintenance):** la maximización de la efectividad del equipo a través de formación de pequeños equipos y actividades autónomas al involucrar a todos en todos los departamentos y de todos los niveles. Incluye actividades como sistema de mantenimiento, educación básica en orden y limpieza, habilidades de solución de problemas y actividades para lograr cero paros y lugar de trabajo libre de accidente. (Muñoz, 2016, p.97).



## Bibliografía

### Referencias bibliográficas

- Aráuzo Aráuzo, J.A. (2016). “Tema 8. Lean Manufacturing”. Apuntes de la asignatura Dirección de Operaciones. Departamento de organización de Empresas y C.I.M., Universidad de Valladolid, España.
- Aráuzo Aráuzo, J.A. (2015). “Tema 9. Producción sincronizada”. Apuntes de la asignatura Dirección de Operaciones. Departamento de organización de Empresas y C.I.M., Universidad de Valladolid, España.
- Castán Farrero, J.M. & Aguer Hortal, M. (1990). *El método de producción just-in-time y su control mediante el kanban*. Madrid, España, Centro de Estudios Universitarios Ramón Areces.
- Domínguez-Machuca, J.A. (1995), *Dirección de operaciones: aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios*, Madrid, España, McGraw-Hill Interamericana.
- Fortuny-Santos, J., Cuatrecasas-Arbós, L. & Cuatrecasas-Castellsaques, O. (2008). Metodología de implantación de la gestión *lean* en plantas industriales. *Universia Business Review*, 5(20), 28-41.
- García-Sánchez, A, Ortega-Mier, M. & Ponce-Cueto, E. (2008, septiembre). Características de los automóviles en las plantas de los fabricantes localizados en España. En *II International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management* (pp. 1173-1182).
- Goldratt, E. & Jeff, C. (1984). *La meta: un proceso de mejora continua*. Ediciones Castillo.
- Gómez Botero, P.A. (2010). Lean Manufacturing: flexibilidad, agilidad y productividad. *Gestión & Sociedad*, 3(2), 75-88.
- Hernández Matías, J.C. & Vizán Idoipe, A. (2013). Lean manufacturing. Conceptos, técnicas e implementación. Escuela de Organización Industrial. Madrid.
- Jones, D.T., & Womack, J.P. (2012). *Lean Thinking: Cómo utilizar el pensamiento Lean para eliminar los despilfarros y crear valor en la empresa*, Barcelona, España, Gestión 2000.
- Liker, J.K. (2006). *Las claves del éxito de Toyota: 14 principios de gestión del mejor fabricante del mundo*. Grupo Platena (GBS).
- Magallón Pérez, P. (2014). Implementación de técnicas de mejora continua en una línea de montaje de parachoques del modelo Ford Mondeo (trabajo fin de grado). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

- Monden, Y. (2007). El Just in Time hoy en Toyota. Deusto S.A. Ediciones, Bilbao.
- Muñoz Ellner, S.M. (2016). Diccionario Lean Manufacturing (proyecto fin de máster). Universidad de Valladolid, Valladolid, España.
- Ortega, O. J. P. (2013). Sistemas de producción tipo kanban: Descripción, componentes, diseño del sistema, y bibliografía relacionada. *Panorama*, 2(6).
- Riquelme Torres, R.A. (2011). Una herramienta expresiva para implementación de tableros kanban virtuales. Universidad de Chile, Chile.
- Rodríguez Gutiérrez, A. (2016). Desarrollo de herramientas *lean* mediante simulación con Witness (trabajo fin de máster). Universidad de Valladolid, Valladolid, España.
- Rother, M., & Shook, J. (1999). *Learning to See: value stream mapping to add value and eliminate muda*. Massachusetts, USA. The Lean Enterprise Institute.
- Santos, J., Wysk, R.A., & Torres, J.M. (2015). *Mejorando la producción con lean thinking*. Madrid, España, Pirámide.
- Tomati, F. (2009). ¿Just in Time vs Lean Manufacturing? HLT Network. Argentina.
- Visbal Pérez, E.T (2015). Herramientas tecnológicas aplicables al Kanban para la optimización de los procesos en la empresa. *Visión Gerencial*.

## Referencias web

- Cabrera Calva, R.C. (s.f.). *Kanban – Tarjetas de Instrucción*. Recuperado el 29 de diciembre de 2016: [http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/32373654/KANBAN\\_Paso\\_a\\_Paso\\_y\\_Principales\\_Variantes.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAJ56TQJRTWSMTNPEA&Expires=1483032219&Signature=kUIPEDL01eyBb30vWmSEBoHI2ls%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DKanban\\_Paso\\_a\\_Paso\\_y\\_Principales\\_Variant.pdf](http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/32373654/KANBAN_Paso_a_Paso_y_Principales_Variantes.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAJ56TQJRTWSMTNPEA&Expires=1483032219&Signature=kUIPEDL01eyBb30vWmSEBoHI2ls%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DKanban_Paso_a_Paso_y_Principales_Variant.pdf)
- García-Sabater, J.J. & Maheut, J. [UPV] (2016, enero 28). Mapa de la Cadena de Valor (VSM) ¿para qué sirve? Recuperado de [https://www.youtube.com/watch?v=KTq\\_lkg0b80#t=6.823166](https://www.youtube.com/watch?v=KTq_lkg0b80#t=6.823166)

- García-Sabater, J.J., Marín-García, J.A. & Valero Herrero, M. [UPV] (2013, octubre 11). Mapa de la cadena de valor. Flujo de información en el VSM. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=vKtC4KvPg8Y>