

Desarrollo de Mapas de Cadena de Valor para la reparación de piezas en  
motores aeronáuticos.

Memoria del Trabajo Final de  
Máster Universitario en Gestión  
Aeronáutica  
realizado por  
Tomás Ureña Santiago  
y dirigido/supervisado por  
José Manuel Pérez de la Cruz  
Sabadell \_\_\_\_\_ de octubre de 2020

El/La abajo firmante, José Manuel Pérez de la Cruz

Profesor/a de los estudios de Máster Universitario en Gestión  
Aeronáutica de la UAB,

**CERTIFICA:**

Que el trabajo al que corresponde la presente memoria ha sido  
realizado bajo su dirección por

Y para que conste firma la presente.

Firmado: \_\_\_\_\_

Sabadell, \_\_\_\_\_ de octubre de 2020

## **Resumen**

En este trabajo se desarrolla una metodología para la realización de Mapas de Cadenas de Valor y se analiza un caso de estudio mediante éstos para identificar los principales elementos que lastran un proceso productivo destinado a la reparación de piezas de motor aeronáutico. Posteriormente, y una vez identificados cuales son esos problemas y las consecuencias de estos sobre la propia empresa, se desarrolla un Mapa de Cadena de Valor futuro que emplea herramientas del Lean Manufacturing que permite subsanar los fallos de la Cadena de Valor original así como se dota de un plan de implementación para llegar a tal estado.

## **Resum**

En aquest treball es desenvolupa una metodologia per a la realització de Mapes de Cadenes de Valor i s'analitza un cas d'estudi mitjançant aquests per identificar els principals elements que llasten un procés productiu destinat a la reparació de peces de motor aeronàutic. Posteriorment, i un cop identificats quals són aquests problemes i les conseqüències d'aquests sobre la pròpia empresa, es desenvolupa un Mapa de Cadena de Valor futur que emprà eines del Lean Manufacturing que permet esmenar els errors de la Cadena de Valor original així com es dota d'un pla d'implementació per arribar a aquest estat.

## **Summary**

In this thesis, a methodology for Value Stream Mapping is developed and a case study is analyzed in order to identify the main elements that are maiming the productive process of aero engine parts repair. Then, and once those problems and their consequences upon the company are identified, a future Value Stream Map with Lean Manufacturing techniques and concepts is developed in order to correct the original issues of the current productive process. Also an implementation plan in order to reach that future state.

## Índice

1	Capítulo 1: Introducción, el Lean y sus herramientas .....	5
1.1	Definición de Lean Manufacturing .....	5
1.2	Desperdicios: Lo que no aporta valor añadido y el TPS .....	6
1.2.1	Herramientas Lean: JIT .....	7
1.2.2	Herramientas Lean: Heijunka.....	7
1.2.3	Herramientas Lean: Jidohka.....	8
1.3	Control de Calidad Total (TQM).....	8
1.3.1	La calidad a través del operario.....	9
1.3.2	Extendiendo la calidad a toda la compañía. ....	10
1.4	Mantenimiento Productivo Total.....	10
1.5	Mejora Continua: Kaizen .....	12
1.5.1	Innovación Occidental vs Kaizen Japonés .....	12
1.5.2	KPIs Kaizen vs KPIs Occidentales .....	13
1.6	Lean en el lugar de trabajo: metodología 5S.....	13
1.7	VSM para detección del valor.....	14
1.8	Hoshin Kanri .....	15
1.9	Lean en la actualidad.....	16
1.10	Futuro del Lean .....	17
2	Capítulo 2: Objetivos .....	18
3	Capítulo 3: Metodología.....	20
3.1	Realización del VSM actual.....	20
3.1.1	Analizando el producto y su cliente .....	20
3.1.2	Analizando los procesos.....	21
3.1.3	Flujo de material y flujo de información.....	22
3.1.4	Calculando el lead time .....	23
3.2	Mejorando el VSM: Herramientas .....	26
3.2.1	Takt Time .....	26
3.2.2	Supermercados .....	27
3.2.3	Líneas FIFO.....	28
3.2.4	Nivelación de la producción.....	28
3.3	Realización del VSM futuro.....	30
3.3.1	¿Qué Takt time tiene la cadena de valor?.....	30

3.3.2	¿Se debe incluir un sistema de supermercados al final? ¿O se fabrica directamente a envío?.....	31
3.3.3	¿Qué parte de la cadena es de flujo continuo? .....	32
3.3.4	¿Dónde se pueden colocar supermercados? .....	33
3.3.5	¿A qué proceso se le asigna la función de marcapasos? .....	36
3.3.6	¿Cuál debe ser la nivelación introducida en el marcapasos?.....	36
3.3.7	¿Qué se ha de hacer para alcanzar el VSM futuro?.....	38
4	Capítulo 4: Un caso de estudio.....	41
4.1	El taller y su producto .....	41
4.1.1	El cliente y sus necesidades.....	42
4.1.2	Los procesos.....	42
4.1.3	Cómo se transmite la información y el material.....	45
4.2	Objetivos del VSM Futuro .....	48
4.2.1	Eliminar sobreproducción. ....	48
4.2.2	Cambiar el flujo y paso de sistemas de empuje a sistemas de tiro .....	49
4.2.3	Amortiguar la variabilidad .....	50
4.3	Desarrollo del VSM Futuro .....	51
4.3.1	¿Qué Takt Time tiene la cadena de valor? .....	51
4.3.2	¿Supermercados al final de la cadena o producción directa a envío? .....	52
4.3.3	¿Qué procesos permiten la introducción de flujo continuo? .....	53
4.3.4	¿Dónde y que sistemas de tiro se deben introducir en la cadena de valor? .....	55
4.3.5	¿Qué proceso debe ser el proceso marcapasos? .....	59
4.3.6	¿Qué nivelación se introduce en el proceso marcapasos? .....	59
4.3.7	¿Cómo se deben liberar las instrucciones a planta? .....	61
4.3.8	¿Qué mejoras deben aplicarse para conseguir el mapa de valor futuro?.....	62
4.4	Comparativa entre el VSM actual y el VSM futuro .....	65
4.5	Plan de implementación del VSM futuro en planta .....	66
4.5.1	Áreas de implementación .....	66
4.5.2	Fases de implementación .....	67
5	Conclusiones.....	70
6	Bibliografía .....	74
7	Apéndice I: Catálogo de símbolos del VSM.....	77

# 1 Capítulo 1: Introducción, el Lean y sus herramientas

## 1.1 Definición de Lean Manufacturing

El término Lean Manufacturing fue por primera vez mencionado por el investigador James P Womack en su libro “The machine that changed the world” (Womack, Jones y Roos, 1990). En este libro se desarrolla un estudio comparativo entre las industrias automovilísticas occidentales y la industria japonesa, siendo su principal exponente Toyota. Las comparaciones entre ambas filosofías industriales sacaron a relucir la superioridad del sistema de producción japonés:

- Era posible producir el doble de coches, con la mitad de trabajadores y una ratio de fallos por vehículo tres veces menor.
- Era posible desarrollar un nuevo producto con la mitad de personal en un horizonte temporal tres veces menor.
- Era posible consolidar al mismo cliente de por vida y asociarlo a la marca.

Esta filosofía ha permitido que los fabricantes japoneses hayan pasado de poseer una cuota pequeña en los mercados occidentales a ser un serio competidor para los consolidados fabricantes occidentales (en 2019 Toyota se posicionó como el tercer fabricante en cuota de mercado en el mercado estadounidense (*USA - Flash report, Sales volume, 2019 - MarkLines Automotive Industry Portal*, sin fecha) ).

Es en este contexto donde nació y se popularizó el concepto de Lean Manufacturing cuya traducción al castellano sería “Fabricación Esbelta” (Hernández y Vizán, 2013) el cual supuso una revolución en los sistemas de desarrollo industrial al igual que Henry Ford había hecho 100 años atrás sobre los sistemas de producción artesanales.

El objetivo principal del Lean Manufacturing es el de la optimización de recursos mediante el uso de distintas herramientas para la supresión de lo que se denominan “desperdicios”. Se define como desperdicio (o “muda” en japonés (Ohno, 1988)) todo aquello no aporta valor añadido a ojos del cliente final y solo encarece el coste de producción.

Pero el Lean Manufacturing va más allá de una serie de herramientas para la optimización de recursos en la búsqueda de solo mantener aquello que aporta valor añadido. La filosofía Lean debe permear en todas las capas de la empresa: desde la alta gerencia, hasta el trabajador de la línea (Imai, 1986). Todo el personal de la empresa debe colaborar en procesos de mejora continua en todo aquello que aporta valor

añadido. Derivando éste, en un sistema de producción dinámico y versátil que se acomode a los cambios en la demanda derivados de los sistemas capitalistas.

## 1.2 Desperdicios: Lo que no aporta valor añadido y el TPS

La definición de lo que se conoce en Lean Manufacturing como “desperdicio” viene dada por Taiichi Ohno, principal influencia en el Sistema de Producción de Toyota. En su libro (Ohno, 1988) donde describe el TPS, Ohno identifica 7 tipos de desperdicio distintos. Siendo éstos, elementos que conforman parte del proceso y requieren de recursos bien sean temporales u económicos los cuales no aportan valor al producto final.

Las categorías dadas por Ohno para clasificar estos desperdicios son:

- De sobreproducción: la sobreproducción implica fabricar más de lo que se demanda por parte del cliente. Este desperdicio no aporta valor al requerir de esfuerzo económico por parte de la empresa, pero no percibir valor por parte del cliente al no comprarlo, además de generar costes adicionales como pueden ser los de tener el activo almacenado.
- De espera: desperdicio asociado al tiempo laboral no utilizado en realizar labores productivas porque se está esperando a la finalización de otro proceso.
- De sobreprocesamiento: desperdicio asociado al empleo de tiempo y dinero en realizar procesos que no tienen valor para el cliente final (p. ej. La aplicación de embellecedores en zonas que están ocultas)
- De movimiento: asociado al movimiento de piezas y operarios que no aportan valor añadido. El movimiento no es un proceso que transforme el producto.
- De transporte: mismo caso que el anterior, pero más asociado al transporte de piezas entre distintas instalaciones.
- De inventario: el desperdicio asociado al mantenimiento de piezas, producto sin transformar o stock de producto ya fabricado es un desperdicio al carecer de liquidez. Este desperdicio se tiende a minimizar mediante la implementación de un sistema Just In Time.
- De defectos: desperdicio asociado a las desviaciones que posee el producto final respecto a lo esperado por el cliente. Este desperdicio genera costes adicionales y no solo los empleados en la corrección de tal defecto si no la pérdida de un cliente o el rediseño del producto.

Es necesario recalcar que en estudios posteriores se ha llegado a identificar un octavo desperdicio: El desperdicio de talento (Womack y Jones, 2010) ligado a la infrutilización de las capacidades intelectuales de los empleados.

Centrados en la eliminación de estas mudas, Ohno y sus compañeros desarrollaron tres herramientas que conforman el Toyota Production System (TPS).

### 1.2.1 Herramientas Lean: JIT

De las herramientas que se van a describir en este capítulo, esta es la que un mayor impacto tiene en la supresión de desperdicios ya que va dedicada a la eliminación de inventario y sobreproducción.

JIT (Ohno, 1988) es aquel sistema productivo en el cual se asegura que las piezas lleguen de manera correcta, en la cantidad demandada y en el tiempo en el que son necesarias mientras se mantiene un flujo continuo en la cadena de producción.

Este sistema supone una revolución respecto a sistemas post-fordianos ya que el flujo de información cambia de sentido. El proceso posterior solicita las piezas/recursos al proceso anterior y no al revés (el proceso anterior va produciendo y el posterior extrayendo según sus necesidades). Para ello se usa lo que se conoce como *Kanban*, una etiqueta donde viene qué se necesita, cuánto se necesita y para cuándo se necesita.

Este sistema minimiza el transporte al sólo llevar lo necesario para lo que se demanda y minimiza el inventario y la sobreproducción ya que solo se fabrica lo que se demanda. Sin embargo, es un sistema que requiere de un alto nivel de coordinación entre procesos y rapidez de respuesta frente a sucesos inesperados (el detenimiento de la línea por una avería en alguna máquina) al no poseer inventario que permita cubrir esos periodos de inactividad.

### 1.2.2 Herramientas Lean: Heijunka

Además del Kanban, el Heijunka o nivelación de la producción es otro de los elementos molares del JIT y el TPS.

El Heijunka es una técnica que se desarrolló en Toyota para afrontar cambios repentinos en la demanda, al ser un sistema ligado puramente a la demanda y carecer de inventario para cubrir los picos, era necesario desarrollar un sistema que permitiese un suavizado de la demanda y pudiese afrontar mezclas de productos dentro de la misma cadena.



Mediante el uso del Heijunka se planifica la producción en base a tiempo por unidad y no por cantidad de piezas demandadas. De esta manera, por ejemplo, cada semana se especifican las necesidades de todos los clientes para la cadena y se programa esta cadena para cumplir con esas necesidades aumentando o reduciendo el tiempo por producto (tiempo takt).

Además, es necesario introducir el mix de producto introduciendo modificaciones a las herramientas a usar en la cadena: en vez de trabajar por lotes se trabaja por unidad producida. La cadena siempre funciona al mismo ritmo durante la semana dando igual el turno.

### 1.2.3 Herramientas Lean: Jidohka

La tercera técnica desarrollada por Ohno y los ingenieros de Toyota es la automatización o Jidohka, consistente en la detección de defectos o irregularidades por parte de la máquina/operario durante el proceso de fabricación y no en un control de calidad posterior.

Cuando se introdujo este concepto en Toyota, no había capacidad aún para la maquinaria de diferenciar una pieza correcta de una defectuosa. Es por ello que el propio operario tenía que estar continuamente haciendo de control de calidad del proceso anterior y poseer la capacidad de parar la línea de producción completamente hasta que se solventase la incidencia.

Esto aporta dos beneficios: permite un mayor desarrollo intelectual del operario de línea el cual se ve implicado en la totalidad del proceso productivo al tener que encontrar la causa raíz del fallo y ahorra costes de corrección de defectos a posteriori.

Una vez encontrada la causa raíz mediante el método de los 5 porqués (Serrat y Serrat, 2017) es necesario documentarlo y proponer una solución para que la desviación no se vuelva a producir.

### 1.3 Control de Calidad Total (TQM)

Uno de los principales catalizadores en el desarrollo industrial japonés tras la 2ª Guerra Mundial fueron los métodos de Control de Calidad Estadístico desarrollados por Deming y Juran (Landesberg, 1999). Estas herramientas fueron difundidas en suelo japonés por la Asociación Japonesa de Científicos e Ingenieros (AJCI) de la cual formaba parte Kaoru Ishikawa.

Kaoru Ishikawa es conocido por desarrollar el diagrama de Ishikawa o de “espina de pescado” para la identificación de la causa raíz de cualquier proceso fallido (o incluso se puede aplicar para identificar la causa raíz de por qué algo ha salido bien). Mediante este diagrama, se pueden aislar los distintos factores que afectan a un proceso y analizar de manera científica que efecto generan estos factores para que se dé un resultado determinado en el proceso.

Pero mucho más importante es su trabajo de adaptar y mejorar las técnicas propuestas por Deming y Juran al entorno Japonés (Ishikawa y Lu, 1985) desarrollando un sistema de calidad que formase parte de la totalidad de la empresa y no solo correspondiente a un único departamento de ésta y trasladando la calidad desde un punto de vista externo a la calidad percibida por el cliente.

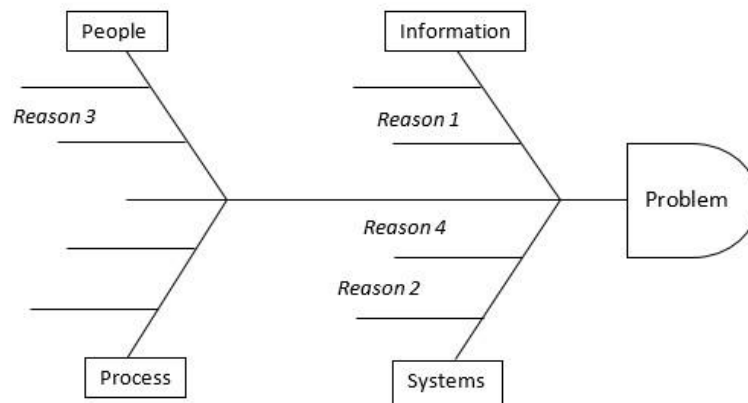


Ilustración 1 Diagrama de Ishikawa. Fuente: [leanxscore.com](http://leanxscore.com)

### 1.3.1 La calidad a través del operario

El modelo de calidad occidental y japonés tiene como principal diferencia en el sujeto que se encarga de desarrollarlo. Mientras que en occidente esta tarea corresponde a un departamento en específico, en la industria japonesa es el trabajador el encargado de asegurar la calidad de su proceso.

Los trabajadores se suelen agrupar en grupos pequeños denominados Círculos de Calidad los cuales originalmente fueron impulsados por Ishikawa y sus compañeros de la AJCI para el estudio de las técnicas desarrolladas por Juran y Deming. Y es aquí donde se aprecia la principal diferencia: el trabajador pasa a ser un sujeto consciente y no una mera herramienta: el trabajador está en un proceso de formación continua, desarrolla herramientas propias y entiende el Porqué de los procesos (Watson, 2004). Al

trabajador se le alienta a proponer mejoras de cara a incrementar la calidad del producto y la seguridad de su puesto de trabajo.

Esto además aporta el beneficio de generar posibilidades de comunicación entre distintos procesos. Al ser el trabajador el responsable de asegurar la calidad al proceso posterior, el trabajador consultará continuamente a su proceso cliente y será consultado por su proceso previo eliminando barreras comunicativas y generando un entorno colaborativo.

### 1.3.2 Extendiendo la calidad a toda la compañía.

La otra gran contribución del Dr. Ishikawa y por lo que su sistema se conoce como Control Total de Calidad es el de la extensión de la filosofía de la planta a todos los departamentos de la empresa.

Esto implica que la gestión pasa a ser transversal, eliminando las barreras entre departamentos. Todos los departamentos, desde Diseño e Ingeniería hasta Marketing participan del proceso productivo actuando de departamentos cliente unos de otros siguiendo el llamado ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act) desarrollado por Deming (Moen y Norman, 2006).

Si Ohno cambió el sentido en la producción (el cliente “tiraba” del producto en la cantidad que quería y cuando lo necesitase), Ishikawa cambió el sentido en el que la empresa pasó a definir calidad a través de lo que el cliente quiere en un proceso que además imbuye todos los departamentos de la empresa.

## 1.4 Mantenimiento Productivo Total

Debido a la ausencia de inventario en las plantas con sistemas JIT, es necesario prevenir los efectos que la detención de un equipo puede tener sobre la línea. Al no contar con stock, es muy probable que la línea completa se vea detenida en su totalidad y ningún tipo de producto pueda llegar al cliente.

Es por ello que durante la década de los 70, el Instituto Japonés del Mantenimiento de Planta) desarrolló un nuevo sistema de mantenimiento de equipos: Total Productive Maintenance (TPM).

El TPM se tiene cuatro bases fundamentales (Bhadury, 2000):

- Cero paradas por mal funcionamiento (el mantenimiento y la corrección de defectos debe hacerse de manera preventiva para evitar el mantenimiento no programado)
- Participación en el mantenimiento de equipos por parte del personal de la línea encargado del proceso. En este caso, el personal recibirá formación para poder corregir defectos de baja dificultad siendo necesario un departamento de mantenimiento específico para las averías más serias.
- Tener en cuenta variables de fiabilidad y mantenibilidad en el diseño de utillajes.
- Búsqueda del máximo aprovechamiento de la capacidad en los equipos, maximizando su uso en la línea de producción y minimizando el coste total de los equipos a lo largo de su ciclo de vida.

Si bien suelen ser necesarias grandes inversiones en modernos equipos automatizados de cara a la mejora de la productividad de la planta, mediante una estrategia de TPM es posible incrementar esa productividad y reducir costes a un precio mucho menor (Liker, 2005). Además, al igual que con el control de calidad total expuesto anteriormente, se dotan de más herramientas al operario de línea para ser personal resolutivo y aprovechar aún más su capacidad intelectual.



*Ilustración 2 Pilares del TPM. Fuente: [SCS Consultores](#)*

## 1.5 Mejora Continua: Kaizen

Un concepto que imbuje las técnicas y procesos descritos anteriormente es el de Kaizen o tal y como está definido por Imai Masaaki (Imai, 1986): la mejora continua con todo el personal involucrado, desde la alta gerencia hasta el último trabajador.

### 1.5.1 Innovación Occidental vs Kaizen Japonés

En la mayor parte de empresas occidentales, considerables partidas presupuestarias van dedicadas al desarrollo e inversión en modernos y revolucionarios sistemas para poder ser competitivos en el mercado. Si bien estos cambios son positivos, suponen altos costes de implementación y tienden a degradarse y generar periodos de baja productividad al tener que acostumbrarse el personal a su uso.

Kaizen sin embargo es un sistema que requiere de una inversión escasa, pero requiere de un esfuerzo continuo en la mejora de estándares. Los beneficios de Kaizen son graduales y no revolucionarios saltos derivados de las nuevas tecnologías.

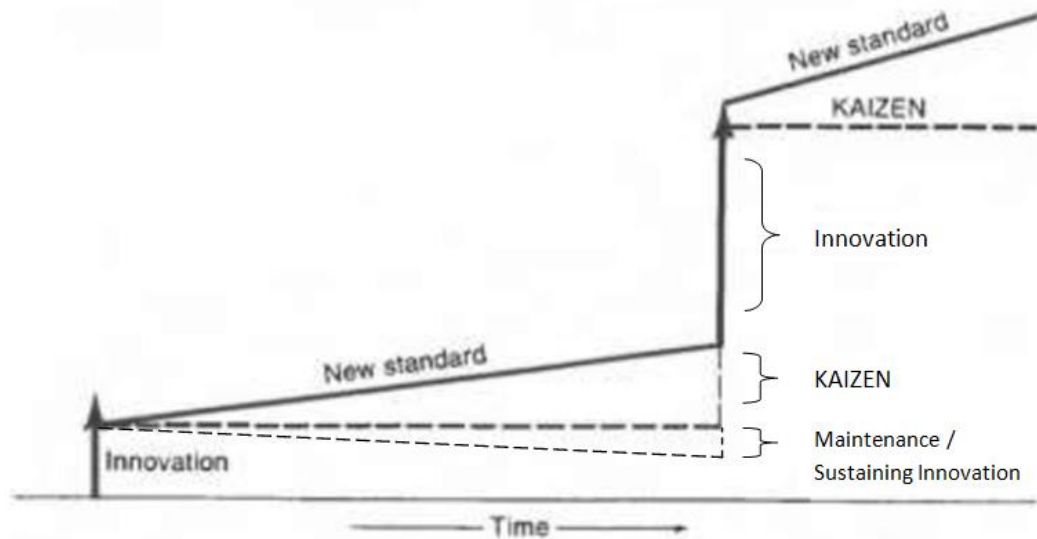


Ilustración 3 Kaizen vs Innovación Fuente: [routetokaizen](http://routetokaizen.com)

Es necesario que todos y cada uno de los involucrados en el proceso productivo sean conscientes de la capacidad que poseen de añadir pequeñas mejoras al proceso hasta que se produzca el siguiente salto revolucionario. Según Imai, los gerentes japoneses dedican la mitad de su esfuerzo en mejorar los procesos de la compañía.

El ejemplo de aplicación de Kaizen en la planta se ve en los Círculos de Calidad promovidos por el Dr. Ishikawa y que ya son un estándar. Estos Círculos, compuestos por el propio personal de la línea están enteramente dedicados al desarrollo

de mejoras para incrementar la seguridad en su puesto de trabajo y la reducción de defectos, cada vez que una mejora es propuesta, esta queda asentada en un nuevo estándar que debe ser empleado hasta la siguiente modificación.

### 1.5.2 KPIs Kaizen vs KPIs Occidentales

Una vez se empieza a usar esta filosofía, los indicadores a utilizar también cambian: se pasa de medir indicadores relacionados con los resultados a indicadores orientados a los procesos en sí.

Es necesario tener en cuenta que para obtener buenos resultados en el largo plazo y de manera continua, será necesario mejorar el sistema productivo. Un ejemplo claro de esta orientación a procesos es el énfasis que las empresas japonesas ponen en los buzones de sugerencias. En Toyota se conceden premios de manera anual a empleados y círculos de calidad por aquellas propuestas de mejora continua que estos han realizado durante el año.

La gerencia japonesa además de evaluar el número de piezas y la productividad, evalúa factores como el compromiso con la empresa, propuestas de mejora, disciplina y limpieza en el área de trabajo, comportamiento frente al cambio...etc. Todo esto son criterios puramente ligados al proceso productivo y permiten ligar la labor que realiza el trabajador con los resultados obtenidos a final de mes.

### 1.6 Lean en el lugar de trabajo: metodología 5S

Las 5S es una herramienta desarrollada por Shigeo Shingo en el TPS para la eliminación de desperdicios y la mejora de la productividad en el mismo lugar de trabajo (no a una escala de planta). Es un sistema que tiende a ser de los primeros en implementarse cuando se quiere pasar a un sistema de producción Lean, por su facilidad de aplicación y por su versatilidad al poder implementarse en entornos de trabajo muy distintos (Chakravorty, 2009), (Lindo Salado Echeverría *et al.*, 2015)

5S proviene de las palabras en japonés usadas para denominar las 5 etapas de implementación de la metodología (Shingo, 2018):

- Seiri: Clasificar. En esta etapa se separa lo inútil de aquello que aporta valor al trabajo de uno mismo. Un ejemplo es la clasificación de herramientas según su uso.

- **Seiton:** Ordenar. En esta etapa se jerarquiza lo útil y se dispone y organiza de la manera más cómoda y fácil para nuestro trabajo. Siguiendo el ejemplo anterior, sería colocar las herramientas más usadas lo más cercano posible al lugar de trabajo. También se tienden a introducir elementos visuales como carteles para una gestión de la información eficiente.
- **Seiso:** Limpiar. Con el lugar de trabajo libre de desperdicios, se vuelve más fácil identificar aquello que no aporta valor y es necesario identificar y suprimir la fuente de tal desperdicio.
- **Seiketsu:** Estandarizar. Se desarrollan metodologías de trabajo que permitan crear un mismo estándar para la misma tarea de cara a reducir la variabilidad en el producto. Se facilitan instrucciones visuales que enseñan a realizar la misma operación de la misma manera y se incide en la necesidad de mantener el orden y la limpieza.
- **Shitsuke:** Control. Se establecen medidas para que se trabaje acorde a los estándares desarrollados y, más importante, se desarrollan políticas de mejora continua (Kaizen) para la actualización y mejora de tales estándares.

A estas 5 etapas originales se les han añadido 4 etapas más que toman un cariz más transversal y que abarcan desde la persona en si misma hasta toda la organización:

- **Shikari:** Perseverancia. Una vez implantando el 5S es necesario que los trabajadores mantengan el espíritu de este. Es necesario generar una cultura de “hacer las cosas bien” esto es, seguir los estándares y evitar atajos.
- **Shitsukoku:** Compromiso. No solo es necesario que un trabajador haga las cosas bien, es necesario que este buen hacer nazca del convencimiento de que hacerlo bien es necesario y bueno.
- **Seishoo:** Coordinar. Establecer objetivos comunes entre los distintos departamentos que permitan que toda la empresa trabaje en la misma dirección.
- **Seido:** Estandarización, no ya desde el sentido de la etapa número 4 que era en las tareas individuales del trabajador, si no a nivel organizacional mediante el desarrollo de normas interdepartamentales, protocolos etc.

### 1.7 VSM para detección del valor

El VSM o Mapa de Flujo de Valor es una herramienta gráfica que permite evaluar todas las acciones necesarias para la fabricación de un producto (o la realización de un

servicio) lo que se conoce como flujo de valor. También permite identificar el flujo de material y el flujo de información a lo largo del flujo de valor.

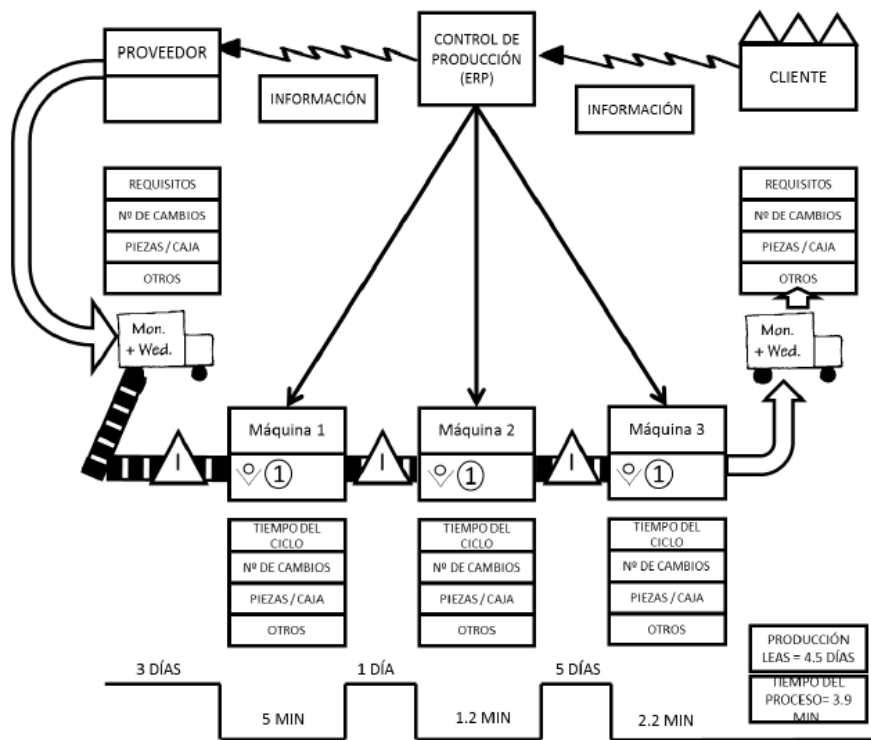


Ilustración 4 Un VSM modelo. Fuente: [leanmanufacturing10.com](http://leanmanufacturing10.com)

Entre los principales beneficios del uso de esta herramienta es el de la rápida identificación de cuellos de botella y desperdicios, permite una vista a un nivel global de todo el proceso productivo y permite realizar planes de mejora directamente sobre el papel: estableciendo hacia donde se quiere ir con las modificaciones a la cadena de valor necesarias.

### 1.8 Hoshin Kanri

Otra metodología empresarial conocida como Hoshin Kanri y desarrollada por Yoji Akao (Akao, 1991) mediante la cual se liga los objetivos estratégicos con hitos a bajo nivel mediante el despliegue de políticas de arriba abajo.

Mediante el Hoshin Kanri los objetivos se traducen en acciones específicas que engloban toda la compañía, desde un director departamental hasta el operario que trabaja en la cadena de suministro. Es necesario cuando se establece un hito estratégico establecer el cómo se puede conseguir ese hito, ese como pasa a convertirse en ese momento en un hito para la jerarquía inferior que pasara a preguntarse cómo se puede conseguir ese hito. Este proceso debe repetirse hasta que la última persona dentro de la



jerarquía empresarial tenga claro que es lo que tiene que hacer para conseguir el hito expuesto por sus superiores.

Es importante señalar que no puede haber un objetivo o Hoshin sin un “cómo” asociado que permita poner en un sistema medible si ese hito puede ser alcanzado. Lo mollar del Hoshin Kanri es el despliegue, el cómo se hace llegar esos objetivos establecidos por la alta gerencia a procesos medibles en administraciones inferiores.

Es necesario establecer junto con el despliegue de la política anual, un sistema de control de ese mismo despliegue. Es por ello imprescindible relacionar las acciones que se pueden tomar (el “cómo”) con el resultado que estas obtienen (el hito).

### 1.9 Lean en la actualidad

Si bien los múltiples beneficios que otorgan las prácticas Lean a las empresas son de sobras conocidos y hay conocidos casos de éxito de implementación el Lean fuera de entornos industriales (Ballard y Tommelein, 2012), la mayor parte de empresas occidentales en la actualidad aún no han implementado métodos Lean (Begam, Swamynathan y Sekkizhar, 2014).

Entre los motivos principales por los cuales las empresas no han podido implantar el Lean en sus procesos productivos se pueden encontrar (R. Jadhav, S. Mantha y B. Rane, 2014):

- Falta de recursos: muchas empresas no tienen la capacidad financiera suficiente para poder remodelar su proceso productivo. Las herramientas Lean si bien no son costosas, suponen una inversión de tiempo para conseguir desplegarlas y que estas se asienten en el proceso de transformación.
- Falta de compromiso: la implementación de técnicas Lean requieren de un compromiso por parte de toda la estructura de la empresa. Es necesario que la alta gerencia se comprometa a utilizar herramientas Lean en sus propios procesos y no solo verlo como una manera de abaratar costes. Es también recurrente que el personal base tampoco se comprometa, bien porque como se mejora en eficiencia se puede reducir en personal o bien por mera aversión al cambio en la manera de hacer las cosas.

En España, la situación es similar a la del resto de países de nuestro entorno, la Escuela de Organización Industrial (Hernández y Vizán, 2013) encuestó a un grupo de

directivos y responsables de producción en empresas industriales españolas de los cuales se extraen aquí las conclusiones más relevantes.

- El uso de técnicas Lean está extendido en la casi totalidad de sectores industriales españoles, las herramientas más instauradas son las 5S y el SMED por su facilidad de implantación y bajo coste.
- El soporte de estas técnicas por parte de la alta gerencia es escaso, sobre todo por el elevado nivel de compromiso que requiere.
- El Lean está más extendido en empresas extranjeras con sede en España.
- Los encuestados consideran que las técnicas Lean aumentan la productividad y reducen los costes y que sobre todo su implementación ha tenido un impacto positivo.

### 1.10 Futuro del Lean

La digitalización de la economía permitirá aún más que el Lean sea la solución para muchas empresas en entornos altamente competitivos. Ahora es posible para cualquier empresa conocer de manera muy poco costosa el perfil de su cliente, lo que motiva sus compras y lo que aporta valor dentro del producto que la empresa ofrece. El uso de herramientas como el Big Data permite a las empresas sectorizar sus clientes objetivo y ofrecerles un producto adaptado a sus preferencias.

El uso de impresoras 3D permite una mayor personalización del producto final, ya no es necesario el uso de costosos sistemas de cambio de herramienta rápido. Es posible ya hacer productos totalmente customizados para el cliente y solo con lo que el cliente valora. Además, el uso de esta tecnología permite prototipados mucho más rápidos y baratos lo que acelera el proceso de desarrollo de un nuevo producto.

(Duncan y Ritter, 2014) señalan que conforme los CEOs occidentales vayan conociendo más y más las ventajas que supone el Lean para sus empresas y vayan profundizando en el conocimiento de sus técnicas irán intentando sacar más partido de éstas. El Lean aún no ha alcanzado su máximo potencial dentro de empresas como Toyota o Packard Bell (empresa occidental conocida por haber sido de las primeras en dominar el Lean) y será mediante el mejoramiento continuo del propio Lean y la ayuda de las nuevas tecnologías como se alcanzará este máximo.

## 2 Capítulo 2: Objetivos

Es necesario desglosar los objetivos que se pretenden con el presente Trabajo de Fin de Máster. Estos objetivos serán el hilo conductor de los capítulos posteriores y permitirán al tribunal evaluador qué intenciones posee este documento, es necesario señalar que el presente documento no es ni mucho menos, un análisis exhaustivo de las distintas herramientas mostradas en el capítulo anterior.

Los objetivos perseguidos con este documento son:

- Describir la metodología desarrollada en (Rother y Shook, 2003) a aplicar en el desarrollo de Mapas de Valor.
- Desarrollar Mapas de Valor correspondientes a un caso de estudio siguiendo la metodología, un Mapa de Valor que haga aflorar la problemática que posee los sistemas de producción post-fordianos.
- Desarrollar un Mapa de Valor futuro que permita la supresión o reducción de inventarios mediante herramientas del Lean Manufacturing y la implantación de un flujo continuo entre procesos.
- Describir un plan de implementación para poder obtener el Mapa de Valor futuro.

Además de esto es importante señalar que el presente documento enfatizará conceptos que permiten una mejor comprensión del sistema JIT y por qué es superior frente a procesos productivos post-fordianos. Estos conceptos quedarán explícitos a lo largo de capítulos posteriores y sobre todo en el desarrollo del VSM futuro del caso de estudio:

- El acumular inventario y sobre producir generan más problemas que alivio a cualquier proceso productivo y a cualquier empresa si esta quiere seguir manteniéndose competitiva en un entorno de libre mercado.
- Es necesario establecer sistemas de flujo continuo (con inventario cero entre ellos) para poder subsanar las fuentes de defectos que son los inventarios.
- El cliente debe poder “tirar” de los productos que quiere, en la cantidad que quiere y cuando los precise.
- El paradigma de procesos que “empujan” su producto aguas abajo de la Cadena de Valor debe cambiar porque los productos más en contacto con el cliente “tiren” de los procesos proveedores. Es necesario el desarrollo de estos sistemas

de tiro para que cada proceso no funcione de manera independiente el uno del otro.

- La nivelación de la producción como “amortiguador” de las variaciones que se pueden producir en la demanda.
- El establecimiento de una Cadena estable y predecible en el tiempo que permita previsiones acertadas y planificaciones tanto a corto como medio plazo.

### 3 Capítulo 3: Metodología

En este capítulo se va a desarrollar la metodología empleada para el desarrollo del VSM. Para introducir esta metodología, se va a emplear un ejemplo explicativo descrito en el libro “Learning to See” escrito por (Rother y Shook, 2003). Con él se profundizará en conceptos descritos en la introducción además de introducir descripciones a los distintos símbolos y procesos en la etapa de desarrollo de un VSM.

#### 3.1 Realización del VSM actual

El primero de los pasos a realizar antes de empezar a desarrollar VSMs es el de la elección de un producto dentro de la compañía al que aplicar la metodología, es necesario conocer que procesos participan en la creación de ese producto y es necesario determinar qué recorrido tiene el producto por todo el proceso productivo hasta que acaba finalizado.

Este primer paso se tiene que realizar desde la perspectiva del cliente, ¿Qué cantidad necesita? ¿Con qué frecuencia los precisa?

Una vez seleccionado el producto, es necesario estar un tiempo en la cadena de producción, no es necesario fijarse hasta en el último detalle si no afrontar los procesos desde una visión global. Los grandes problemas que hay en planta son de la propia cadena de valor, no del tiempo que tarda un operario en realizar una tarea determinada.

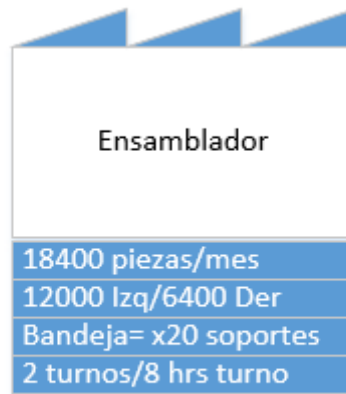
En el análisis es recomendable empezar por los procesos finales de la cadena (los más cercanos al cliente final) e ir aguas arriba hasta el inicio de las labores productivas. De esta manera se pueden ver qué procesos son los que marcan el ritmo de toda la producción.

##### 3.1.1 Analizando el producto y su cliente

El producto elegido para esta empresa ejemplo (ACME) es el de sus columnas de dirección. Este elemento es el que conecta el volante del conductor con el sistema de dirección del coche (al que van unidas las ruedas) y transmite los giros de volante en desplazamiento radial.

ACME envía sus columnas de dirección al ensamblador final el cual precisa de 18400 columnas mensuales de las cuales 12000 son para coches con el volante a la derecha y 6400 con el volante a la izquierda.

Los pedidos se envían diariamente y el sistema de paqueteado está compuesto por un pale que contiene 10 bandejas y cada bandeja contiene 20 columnas de un mismo tipo. Las unidades que solicita el cliente son bandejas, no columnas, por tanto, la unidad de trabajo para el VSM es la de la bandeja.



*Ilustración 5 El cliente de ACME*

### 3.1.2 Analizando los procesos

El siguiente paso en el desarrollo del VSM es el de analizar los procesos que componen la cadena de valor. En esta etapa, es necesario especificar que “proceso” no debe ser cada una de las tareas pormenorizadas que realiza un operario. Por proceso se entiende aquella etapa donde el material no está detenido o apilado en un lote. Esto es, donde hay un flujo continuo de la pieza a lo largo de toda la etapa y no se acumula inventario.

En el ejemplo que ocupa este capítulo, se pondrán dos cajas de proceso para cada proceso de soldadura por punto y en el proceso de ensamblaje. Esto es porque entre ellas hay acumulación de inventario (no se pasa de soldadura I a soldadura II inmediatamente). Debajo de la caja de proceso es necesario representar ciertos parámetros relevantes de cara a la interpretación del VSM:

- Tiempo de ciclo (C/T): el tiempo que tarda un elemento en pasar por el proceso hasta que este ha finalizado sus labores en ella.
- Tiempo de cambio de herramienta (C/O): el tiempo que lleva cambiar el proceso para fabricar otro producto distinto.
- Numero de operarios

- Capacidad: cantidad de tiempo que la maquina está disponible y funcionando de manera óptima entre el tiempo total de trabajo (se expresa en porcentaje).
- Inventario: Detrás de cada caja (siguiendo el flujo de la cadena de valor) un triángulo representa las cantidades de inventario entre cada proceso.

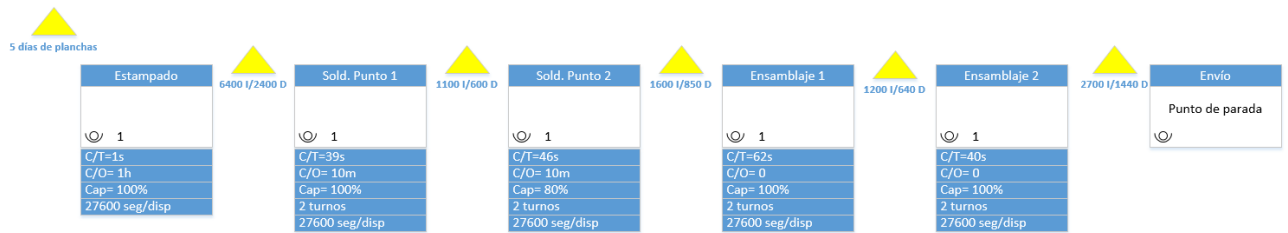


Ilustración 6 Procesos de la cadena de valor

### 3.1.3 Flujo de material y flujo de información

Una vez finalizado el análisis de triángulo los procesos que componen la cadena de valor, es necesario identificar como se trasladan el material y la información por la planta. Una vez ha acabado el ensamblaje de la columna de dirección, ésta es paqueteada y enviada al cliente. Con los iconos de un camión y una flecha gruesa se representa el movimiento de este material al cliente. Al principio de la cadena de valor también debe quedar representado como llega el material. El proveedor de ACME recibe un pedido semanal que es enviado a ACME bisemanalmente. La unidad que maneja el proveedor es la del rollo de acero cada rollo correspondiendo a 150 metros de plancha.

También es necesario representar el flujo de información dentro de la propia cadena de valor (flechas estrechas) y cuando la información se transmita electrónicamente estas flechas tendrán una desviación. De esta manera se representa cuánto y de qué debe hacer cada proceso y cuándo debe hacerlo.

En la siguiente figura se muestra cómo se gestiona la producción en ACME. Control de Producción recibe los pedidos y las previsiones de necesidad del cliente y establece planes semanales de producción y planes diarios. Este mismo departamento también emite sus propias previsiones al proveedor para establecer sus necesidades de material.

Y es aquí donde se puede ver el fallo principal en las cadenas de valor que no han implementado metodologías Lean: procesos proveedores “empujan” su producto hacia procesos cliente, en vez de que sea el proceso cliente el que “tire” según sus necesidades del proceso proveedor.

Debido a la baja fiabilidad en las expectativas de producción, cada proceso tiende a producir más de lo que el siguiente proceso necesita (de esta manera se cubren en caso de picos de demanda) lo que genera acumulación de inventario de piezas. Las líneas blancas y negras representan el empuje de piezas del proceso proveedor al proceso cliente. El único actor de la cadena de valor que conoce la demanda real del cliente es envíos, los demás procesos solo establecen su producción respecto al plan semanal.

#### 3.1.4 Calculando el lead time

Una vez conocidos los datos, se puede conocer el lead time para una sola columna de dirección. Para el cálculo del lead time es necesario tener en cuenta también cuánto tiempo una pieza permanece en inventario para ello se emplea la siguiente fórmula:

$$t_{inventario} = \frac{cant. inventario}{cant. demandada}$$

Si se tiene esta condición en cuenta, se puede ver que una columna de dirección tarda casi 24 días en hacer todo el ciclo de la cadena de valor, mientras que el tiempo en el que se está aportando valor a la transformación en una columna de dirección es de 188 segundos (este valor corresponde a la suma de los tiempos de ciclo de cada proceso)

Con todos los parámetros relevantes obtenidos, ya es posible obtener el Mapa de Valor actual para esta cadena de producción.





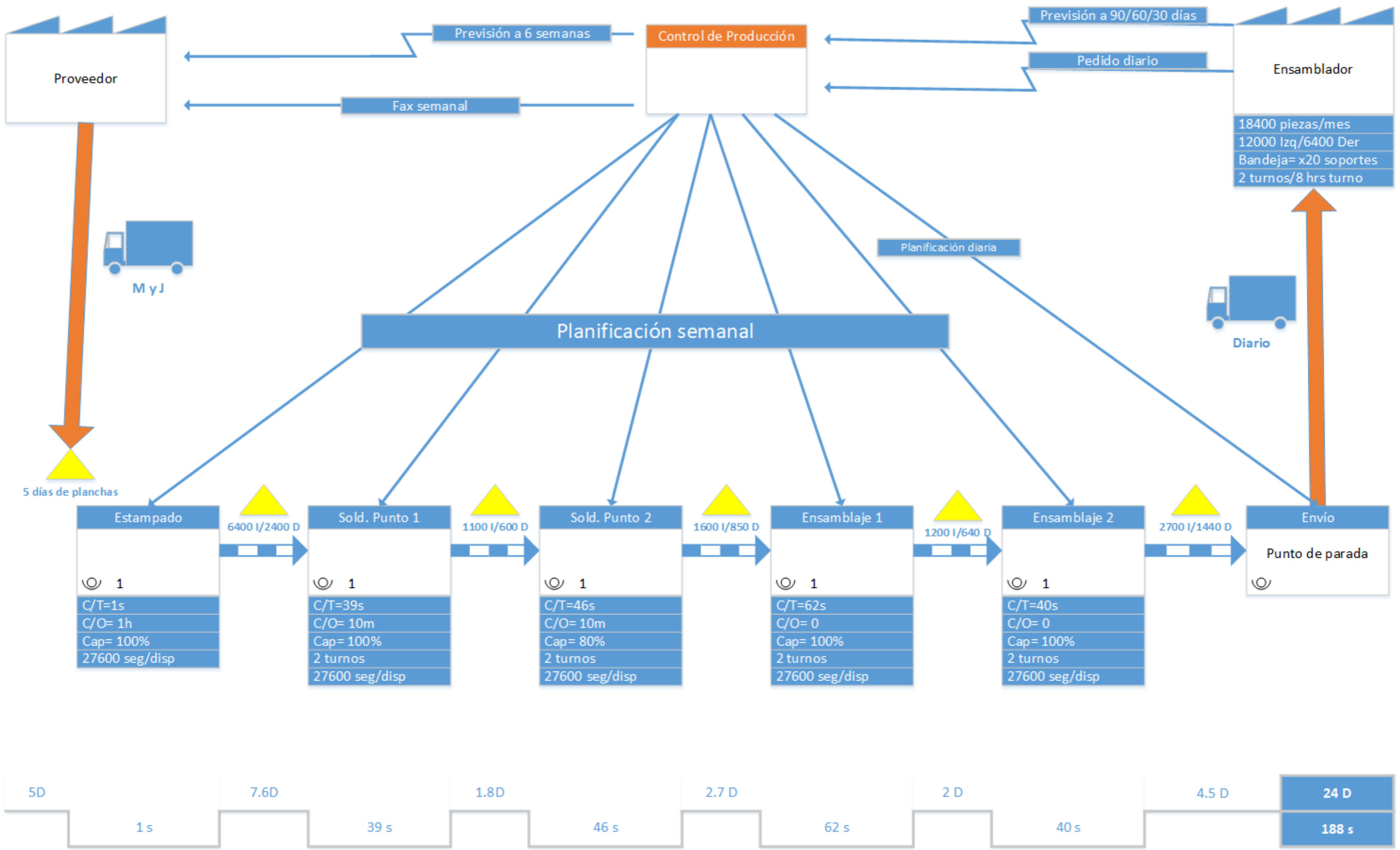


Ilustración 7 VSM actual

## 3.2 Mejorando el VSM: Herramientas

Partiendo de un VSM actual afianzado, ya se puede desarrollar un VSM futuro que sirva como referencia en el proceso de mejora de la cadena de producción. Este VSM futuro no deberá ser el definitivo si no que deberá ir mejorándose conforme la cadena vaya evolucionando. Para el desarrollo de ese VSM se detallan en este apartado distintas herramientas a ser empleadas.

### 3.2.1 Takt Time

El VSM actual de ACME cuenta con importantes pilas de inventario debido a que cada una de las secciones de la cadena de valor actúa como elemento aislado: los productos de procesos proveedores son empujados a procesos cliente. Esto genera costes como pueden ser los gastos de transporte y almacenaje, pero también costes subyacentes como el de acumulación de defectos. Estos defectos no se van a conseguir detectar hasta días después momento en el cual se pueden haber producido multitud de piezas más y la causa del fallo difícilmente identificable.

Es mollar que el VSM futuro tenga como objetivo principal eliminar esta acumulación de inventarios ya que estos generan multitud de desperdicios que solo generan costes asociados y ningún valor real al cliente.

Para ello, se introduce el concepto de Takt Time (tiempo de ritmo) el cual permite ligar el ritmo de producción al ritmo de demanda del cliente:

$$t_{Takt} = \frac{t_{trabajo\ dispo}}{N^{\circ}\ Piezas\ demandadas_{turno}}$$

Así, se puede referenciar el ritmo al que debe estar produciendo un proceso en cada jornada. Esto es un valor teórico e ideal, ya que hay que tener en cuenta en las estimaciones las posibles averías que puede tener la maquinaria y los tiempos de cambio de herramienta, los cuales será necesario tener en cuenta si quieren producirse varios tipos de producto dentro de un mismo turno.

Sin embargo, con este tiempo ya se puede sincronizar el ritmo al que se fabrica con una demanda variable, el takt en sí es un valor variable que cambiara respecto a las necesidades del cliente y reducirá los inventarios (suprimiendo la sobreproducción ya que cada proceso solo fabrica lo que pide el cliente dentro del takt que haya establecido).

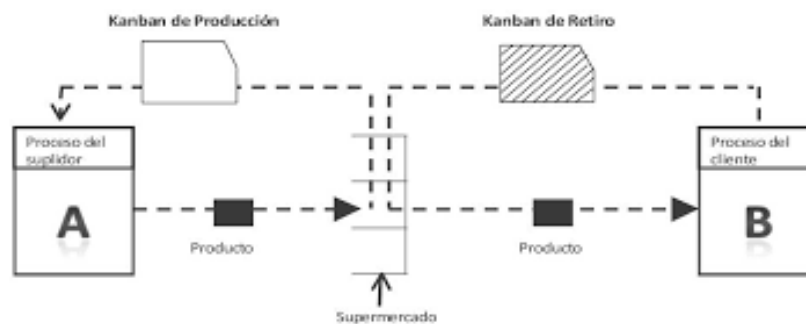
### 3.2.2 Supermercados

En un marco teórico, todos los procesos estarían englobados dentro de la misma caja de proceso, lo que significaría que la pieza iría en un flujo continuo de proceso a proceso sin detenerse en un momento.

Esto en la mayor parte de casos es imposible por varios motivos:

- Los procesos no solo participan en una única cadena de valor, hay procesos que están involucrados en otras líneas de producto totalmente distintas.
- Los tiempos de ciclo de cada proceso pueden estar muy diferenciados: algunos pueden llevar mucho tiempo, otros pueden tener un ciclo muy corto.
- Hay procesos que requieren de proveedores externos los cuales no trabajan pieza a pieza si no por lotes.
- Hay procesos que, debido a su tiempo de ciclo, si fallasen alargarían todo el proceso de fabricación de la cadena.

Para estos procesos que no pueden funcionar en flujo continuo se usan los supermercados: el proceso proveedor sigue fabricando por lotes y los coloca en un supermercado el cual es recogido por procesos aguas abajo que si pueden funcionar en flujo continuo:



*Ilustración 8 Sistema de supermercados Fuente: (Tejeda, 2011)*

La transmisión de la información entre procesos se realiza a través de un Kanban: cuando se introduce un Kanban de retiro en el supermercado, se emite un Kanban de producción para que el proceso aguas arriba produzca lo que ha retirado el cliente.

De esta manera ya no es necesario desarrollar un plan de producción a cada proceso, el plan lo establece el propio cliente el cual “tira” y hace “tirar” a procesos aguas abajo de la cadena de producción hacia procesos proveedores.

### 3.2.3 Líneas FIFO

Una Línea FIFO (First In First Out) es un sistema más sencillo de implementar que el del supermercado. En ella, el proceso productor solo genera elementos hasta llegar al límite marcado por la línea FIFO. En una FIFO de 50 elementos, si el cliente coge 10 elementos (los cuales son los 10 primeros que produjo el proceso productor), el proceso productor sólo producirá 10 elementos hasta alcanzar el tope de 50 unidades.

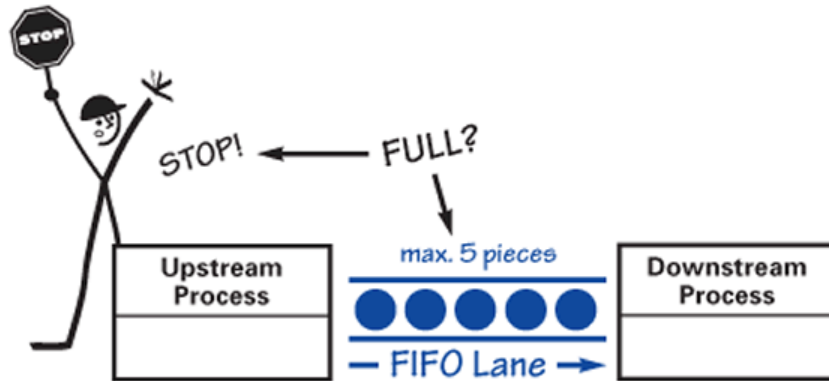


Ilustración 9 Línea FIFO. Fuente: [Lean Enterprise Institute](#)

¿Cómo decidir qué sistema es más conveniente? En (Roser y Nakano, 2015) lo que determina el uso de un sistema u otro es el del tamaño del lote con el que trabajan ambos procesos desacoplados. Cuando ambos procesos trabajan con el mismo tamaño de lote, una FIFO es más recomendable ya que es más sencilla de implementar. Sin embargo, cuando el proceso proveedor produce de 100 en 100 y el cliente trabaja de 30 en 30, con una FIFO cuando el proceso cliente vaya una cuarta vez a la FIFO a recoger 30 unidades se va a encontrar con 10 unidades solamente y no con 30 unidades disponibles para rellenar el lote.

### 3.2.4 Nivelación de la producción

Como se han conseguido interconectar los procesos mediante sistemas FIFO y de supermercados, ya no será necesario desarrollar un plan de producción para cada proceso independiente. Solo es necesario establecer un único plan de producción para un único proceso el cual se conocerá como proceso Marcapasos. El Marcapasos establece a qué ritmo se produce para él mismo y para el resto de procesos de la cadena de valor.

En el VSM futuro el proceso Marcapasos estará determinado por los pedidos del cliente, aguas abajo de éste, todo debe ser flujo continuo y aguas arriba FIFOs y supermercados. Es en este proceso donde se puede introducir el Heijunka y empezar a nivelar la producción. En él se alternarán la fabricación de distintos tipos de columnas de dirección en vez de ir fabricando lotes grandes de un tipo u otro de una sola vez.

Otro elemento a decidir es el intervalo de tiempo en que se dan las órdenes a la cadena de producción y como decidir que produce está a cada intervalo. En el sistema actual, se está produciendo a una semana vista, lo que impide que se pueda evaluar en el corto plazo el estado de producción del plan. Se puede acabar la semana con menos piezas de las solicitadas por el cliente, se pueden encontrar piezas con defectos que no se han evaluado hasta una semana después y en general se vuelve una cadena muy reactiva que carece de herramientas (más allá de las horas extra) para responder frente a estas incidencias además de acoplarse a picos de demanda puntuales durante la semana (queremos darle al cliente lo que quiere y cuando lo quiere, si necesita más piezas no tiene por qué esperar una semana más para poder recibirlas).

Es por ello que se puede establecer un intervalo estándar de trabajo al cual se dan órdenes a la cadena, en concreto al proceso marcapasos. Este intervalo se conoce como pitch y se calcula:

$$t_{pitch} = t_{takt} * N^{\circ}elementos_{lote}$$

En el ejemplo que nos ocupa, el pitch es de 10 minutos (takt de 30 segundos y 20 columnas por lote) lo que significa que al final de la línea debe haber una bandeja nueva con 20 columnas de X o Y tipo cada 10 minutos.

En el caso de que una línea produzca varios modelos a la vez con takts distintos y tamaños distintos de lote, el pitch global será el mayor de los pitches correspondientes a cada modelo. A cada pitch se dará una orden de que modelo debe producir el proceso marcapasos. Estas órdenes se pueden agrupar todas según el plan de producción en cajas Heijunka:

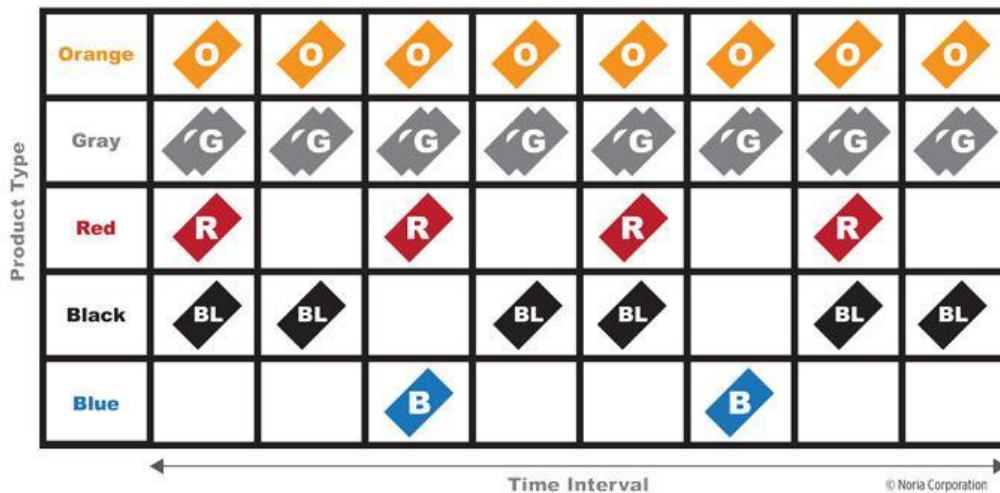


Ilustración 10 Caja Heijunka. Fuente: [reliableplant.com](http://reliableplant.com)

Cada columna corresponde a un pitch y cada fila corresponde a un tipo de producto distinto. La cantidad de cada producto que debe producirse en cada caja va determinada por un Kanban. Así se puede establecer un plan de producción a un intervalo más reducido y se puede generar una carga de trabajo constante a lo largo de la jornada. La línea siempre trabajará respecto al takt marcado por el Marcapasos y se podrá monitorizar constantemente si se están cumpliendo las previsiones de producción (comprobando si quedan Kanban al final de cada pitch). La cadena se vuelve predecible y se puede reaccionar a picos en la demanda mediante la inclusión de más o menos Kanban en función de la modificación del pitch (ya que el takt se reducirá si incrementa la demanda).

### 3.3 Realización del VSM futuro

La metodología descrita en (Rother y Shook, 2003) permite afrontar el proceso de desarrollo del VSM futuro mediante preguntas.

#### 3.3.1 ¿Qué Takt time tiene la cadena de valor?

El Takt time para el ejemplo de ACME, teniendo en cuenta que se trabaja en turnos de 8 horas, dos periodos de 10 minutos de descanso y un consumo de piezas por parte del cliente de 460 piezas/turno (18400/20 días /2 turnos)

$$t_{Takt} = \frac{27600}{460} = 60 \text{ segundos}$$

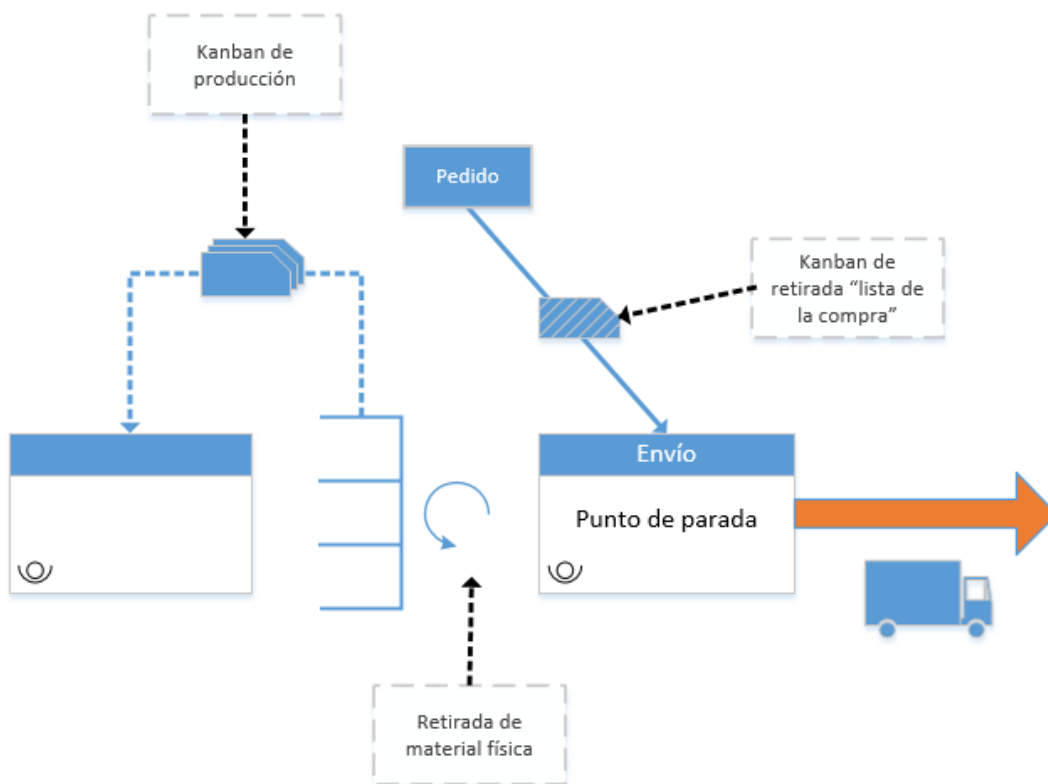
Lo que implica que una columna de dirección debe salir de la cadena de valor cada 60 segundos para poder llegar a los objetivos establecidos por la demanda. Este tiempo no

debe tener en cuenta otros problemas que pueda tener la cadena es un tiempo marcado por el cliente y conforme a este valor es necesario trabajar. El takt solo cambia cuando la demanda por parte del cliente cambie.

3.3.2 ¿Se debe incluir un sistema de supermercados al final? ¿O se fabrica directamente a envío?

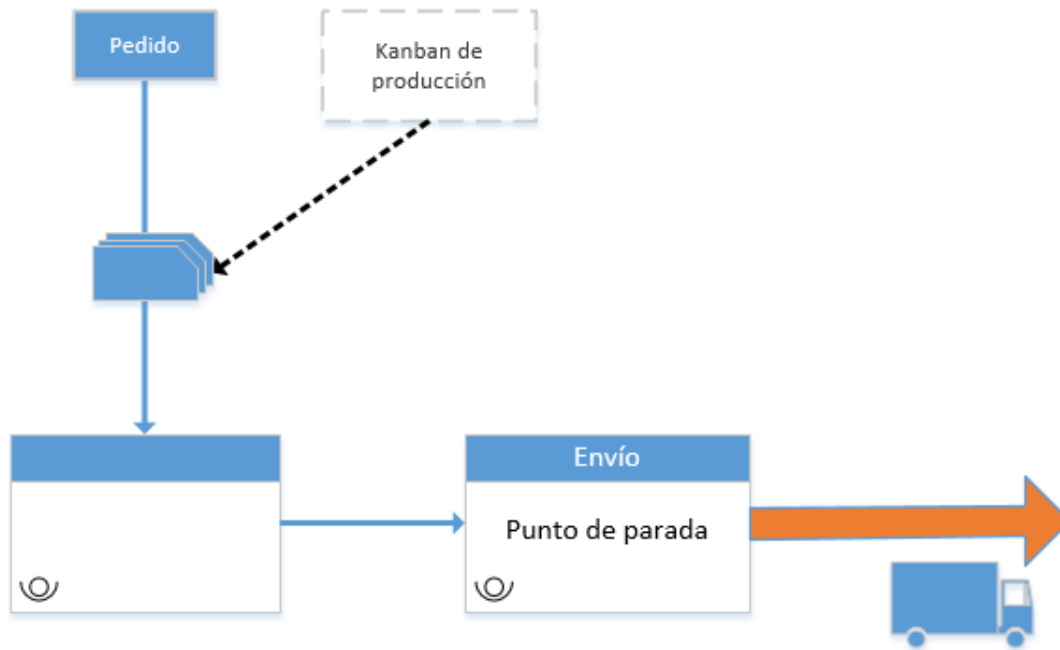
Es posible establecer un supermercado a la salida de la cadena de valor. Esto es, cuando el departamento de envíos retire un Kanban (correspondiente a una bandeja del tipo A o tipo B de columnas de dirección) se genera una orden en Ensamblaje para rellenar el stock disponible el supermercado.

Este sistema, si bien sigue ligando la demanda del cliente al propio proceso productivo, provoca la necesidad de acumular un pequeño inventario (el del supermercado). La otra opción es que el pedido del cliente llegue directamente a Ensamblaje (el último proceso de la cadena de valor) y este produzca conforme a la demanda sin poner ningún supermercado de por medio.



*Ilustración 11 Supermercados al final de la línea*





*Ilustración 12 Producción directa*

En este caso se ha decidido por un sistema de supermercados por la poca complejidad del producto. ACME solo fabrica dos tipos de columnas, productos que son fácilmente manipulables y almacenables y se puede permitir poner un sistema de supermercados manteniendo un pequeño inventario a la salida.

### 3.3.3 ¿Qué parte de la cadena es de flujo continuo?

Relacionando los tiempos de ciclo de los distintos procesos que componen la cadena de valor con el takt time calculado se ve que hay un proceso, estampado, cuyo tiempo de ciclo es casi dos órdenes de magnitud inferior al takt, un segundo.

Introducir este proceso en el flujo continuo implica reducir su capacidad para que la maquina trabaje conforme al takt sin sobreproducir piezas estampadas. Además, este proceso quedaría desligado del resto de cadenas de valor que producen artículos distintos a las columnas de dirección. Es por ello que este proceso debe quedar fuera del flujo continuo.

Ensamblajes y soldaduras, por otro lado, poseen tiempos de ciclo similares y están plenamente dedicados a la fabricación de columnas de dirección por tanto se pueden colocar en un mismo sitio para evitar paradas de la pieza en el paso de un proceso a otro (se vuelven un único proceso).

Si se analiza el tiempo de ciclo de este único proceso, se acumula un total de 187 segundos en producir una pieza. Si esto se divide entre el takt se obtiene que son necesarios 3.12 operarios para producir las piezas dentro del flujo continuo y con respecto a takt time. Lo que produce la infrautilización de un operario. Para solucionar esto se puede plantear:

- Uso de herramientas Lean como las 5S o el Kaizen que optimicen el tiempo de ciclo permitiendo que cada proceso sea reducido por debajo del takt y que el tiempo de cambio de herramienta (C/O) sea casi 0. Esto permitirá introducir la posibilidad de fabricar varios modelos dentro del takt. En el caso ideal se propone que el tiempo de ciclo por cada trabajador del proceso sea de 56 segundos (un poco por debajo del takt de 60) lo que da cierto margen de producción por si ocurren interrupciones en la cadena.
- Si el tiempo de ciclo está muy optimizado y no se puede reducir más, se pueden incluir horas extra (aumentando el tiempo de trabajo disponible y por tanto aumentando el takt) lo que sigue siendo más barato que tener a un trabajador siendo infrautilizado en un 88%. Este trabajador extra se puede dedicar a tareas que si aporten valor al producto final.

#### 3.3.4 ¿Dónde se pueden colocar supermercados?

Hay dos zonas más de la cadena de valor donde se pueden instaurar sistemas de supermercados para que toda la cadena de valor rija su producción por la demanda del cliente: entre el nuevo proceso de ensamblaje+soldadura y el proceso de estampado (el cual esta desacoplado por su bajo tiempo de ciclo) y entre el proceso de estampado y el proveedor de acero.

Para el diseño del supermercado entre ensamblaje + soldadura y estampado es necesario tener en cuenta cuánto demanda el cliente de manera diaria. Esto es 920 columnas de las cuales 600 van para orientaciones a la izquierda y 320 para orientaciones a la derecha. El tamaño del lote que maneje el supermercado está determinado por la facilidad de transporte del lote desde estampado a ensamblaje + soldadura y el tiempo destinado a transportarlo (recordar que el transporte dentro de la planta es un desperdicio al no aportar valor al cliente final). Una buena métrica sería el correspondiente a una hora de trabajo, esto es 60 piezas (60 segundos de takt, 60 piezas producidas en una hora). De

esta manera cada hora el operario llevará un Kanban de retiro de piezas se lleva al supermercado y este se lleva otro lote de 60 piezas estampadas.

Este proceso debería emitir un Kanban de producción automático a estampado. Sin embargo, emitir un Kanban de 60 piezas estampadas para estampar piezas sería poco eficiente (estampado produciría esto en un minuto) y el cambio de producir un tipo de pieza u otro conlleva una hora por tanto es mejor que estampado trabaje con Kanban cuyos lotes sean mayores. Para ello se usan los Kanban triangulares los cuales son emitidos a estampado cuando el nivel de stock del supermercado queda por debajo de un nivel. En este caso se pondrá como cantidad consumida que haga saltar en Kanban triangular la de un día: cuando se acumulen 15 Kanban de retirada de material en el supermercado, estampado generará un día completo de producción. De esta manera se consigue dar instrucciones a este proceso desacoplado sin necesidad de establecer un plan de producción específico.

¿Qué necesidad de stock es precisa en el supermercado? Idealmente sería de un día, pero por si acaso se reservan 1.5 días de piezas estampadas disponibles por si hubiera retrasos en la entrega de metal o algún problema con la propia herramienta.

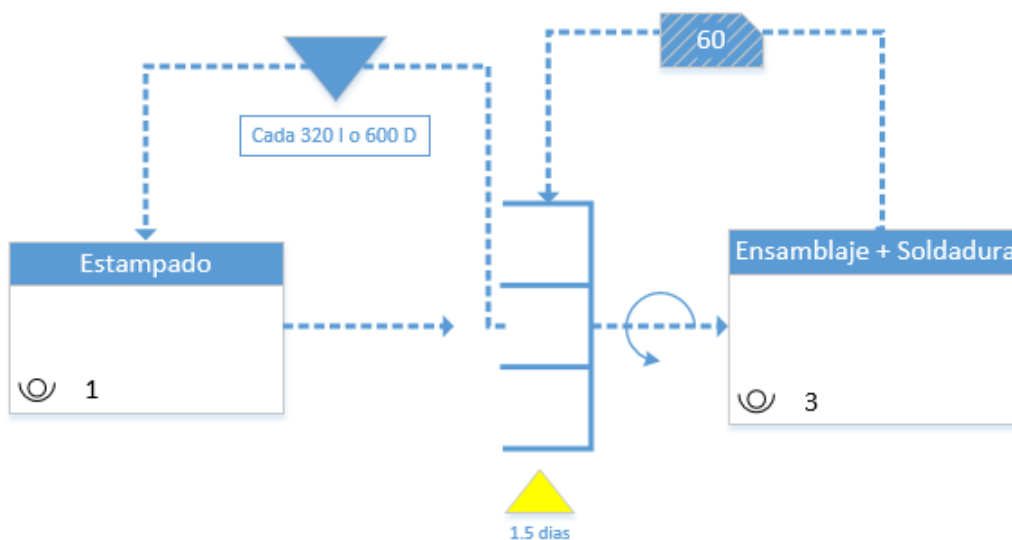


Ilustración 13 Supermercado entre la línea de flujo continuo y estampado

Establecer un sistema de supermercados entre el inicio de la cadena de valor y el proveedor de rollos de metal puede ser complejo porque el proveedor no funciona con un sistema Lean, el sigue fabricando en grandes lotes. Es por ello que solo se puede hacer desde el lado de la propia cadena.

Cada rollo de metal puede llevar asociado un Kanban de retirada el cual cuando es retirado, es transferido a Control de Producción que puede entonces emitir pedidos al ritmo al que se están consumiendo los rollos en la cadena. Aunque CdP deberá seguir pasándoles estimaciones a largo plazo de su propia demanda al proveedor vía MRP, ahora conoce la demanda real de rollos que está habiendo en la planta y puede reducir el stock de rollos a un día (eso si, tendrá que cambiar el sistema de reparto con el proveedor, pasar de envíos semanales a envíos diarios). Cuando se emita el pedido, CdP coloca un Kanban de producción en la planta, este Kanban representará un rollo de metal que se debe recibir a una fecha determinada si para esa fecha no hay un rollo donde el Kanban, algún problema ha tenido el proveedor.

Lo importante de este sistema es que la gestión de los pedidos ahora está basada en la propia demanda real de tu cliente y no en sus estimaciones lo que permite reducir el stock disponible en 4 días y además aporta seguridad al propio proveedor también: ahora posee una demanda predecible, estable y continua.

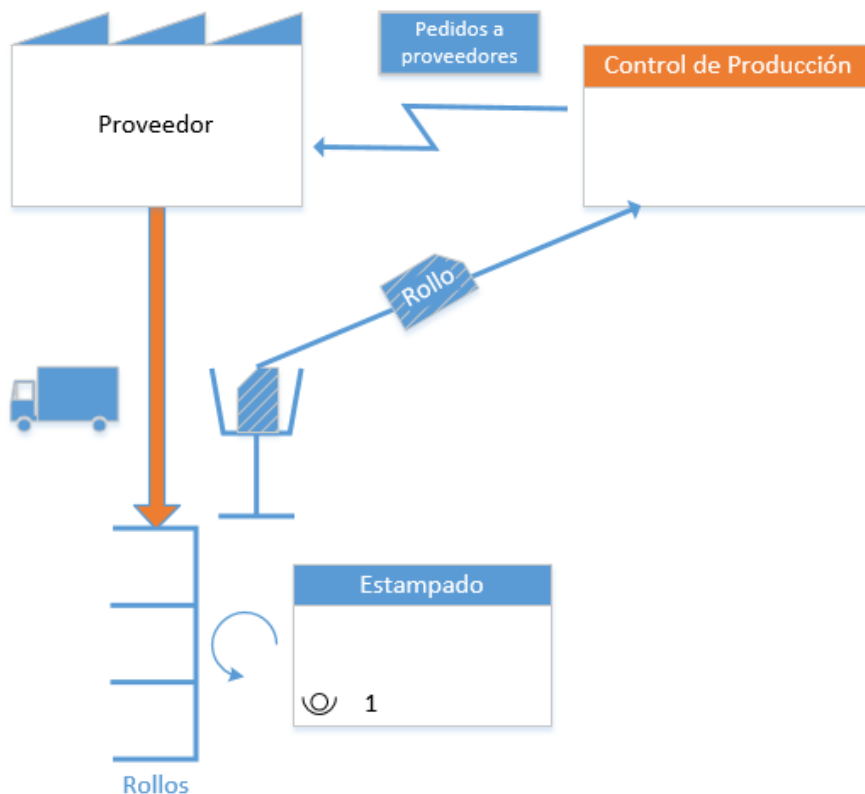


Ilustración 14 Supermercado al inicio de la cadena

### 3.3.5 ¿A qué proceso se le asigna la función de marcapasos?

El proceso marcapasos debe ser el nuevo proceso de flujo continuo creado a partir de ensamblaje + soldadura. Si bien el proceso marcapasos también podría ser estampados, este proceso no está integrado dentro del flujo continuo.

El proceso marcapasos recibirá las instrucciones de nivelación de la producción en función de la planificación diaria y “tirará” del resto de procesos dentro de la cadena de valor.

### 3.3.6 ¿Cuál debe ser la nivelación introducida en el marcapasos?

El principal problema una vez instaurado el supermercado al final del marcapasos es que, si se emiten los Kanban de producción todos a la vez, cuando Envíos retira las bandejas para llevar al cliente, la línea recibirá una única instrucción de fabricar todos esos Kanban.

Lo normal para ensamblaje + soldadura sería entonces, producir primero todas las columnas de un tipo y luego las de otro para minimizar el tiempo de cambio de herramienta a lo largo de los dos turnos. Sin embargo, esto generaría problemas aguas arriba, en Estampados, ya que tendría que mantener un stock más alto de piezas

estampadas de ambos tipos en su propio supermercado. El aumento del stock en Estampados se tendría que hacer para proteger la línea frente a cambios bruscos en la demanda entre un tipo u otro. Si de repente, las cantidades de un tipo y otro se invierten, con el stock actual de 1.5 días no se podría cubrir la demanda de ensamblaje+soldadura.

Es por ello mejor nivelar la producción en ensamblaje + soldadura para que a cada intervalo se produzca siempre lo mismo, esto dará a estampados un consumo constante de piezas de un tipo y otro a lo largo de los dos turnos. En envíos se colocará una caja Heijunka con el pedido diario y distribuido de manera uniforme a lo largo de los dos turnos para que a cada pitch (20 minutos) se coja un Kanban de retiro de una bandeja de piezas de un tipo determinado. Lo cual generará un Kanban de producción en ensamblaje + soldadura.

Tipo/Pitch	8:00	8:20	8:40	9:00	9:20	9:40
Izquierda		1 Kanban I	1 Kanban I		1 Kanban I	1 Kanban D
Derecha	1 Kanban D			1 Kanban D		

*Ilustración 15 Caja Heijunka en envíos*

La distribución por pitch de producir a cada hora 1 bandeja de columnas para orientaciones a la derecha y 2 bandejas para orientaciones a la izquierda hace que se puedan cumplir al final del día con los pedidos de bandejas del cliente y que, a lo largo de ambos turnos, la mezcla de productos de ambos tipos sea constante. Las ordenes se dan de una manera constante (cada 20 minutos) y se consigue una producción predecible y estable.

Esto también permite un mejor control de la producción a lo largo del día: si a los 20 minutos de retirar un tipo determinado de bandeja no se encuentra otra sustituyéndola, es posible evaluar si está habiendo algún tipo de problema en la línea. Además, es necesario tener en cuenta que la nivelación en el marcapasos se produce de manera indirecta: la caja Heijunka se encuentra en el supermercado y es el personal de envíos quien va recogiendo Kanban de retirada a cada pitch, lo que genera Kanban de producción a cada pitch al mismo orden y nivel que los de retirada.

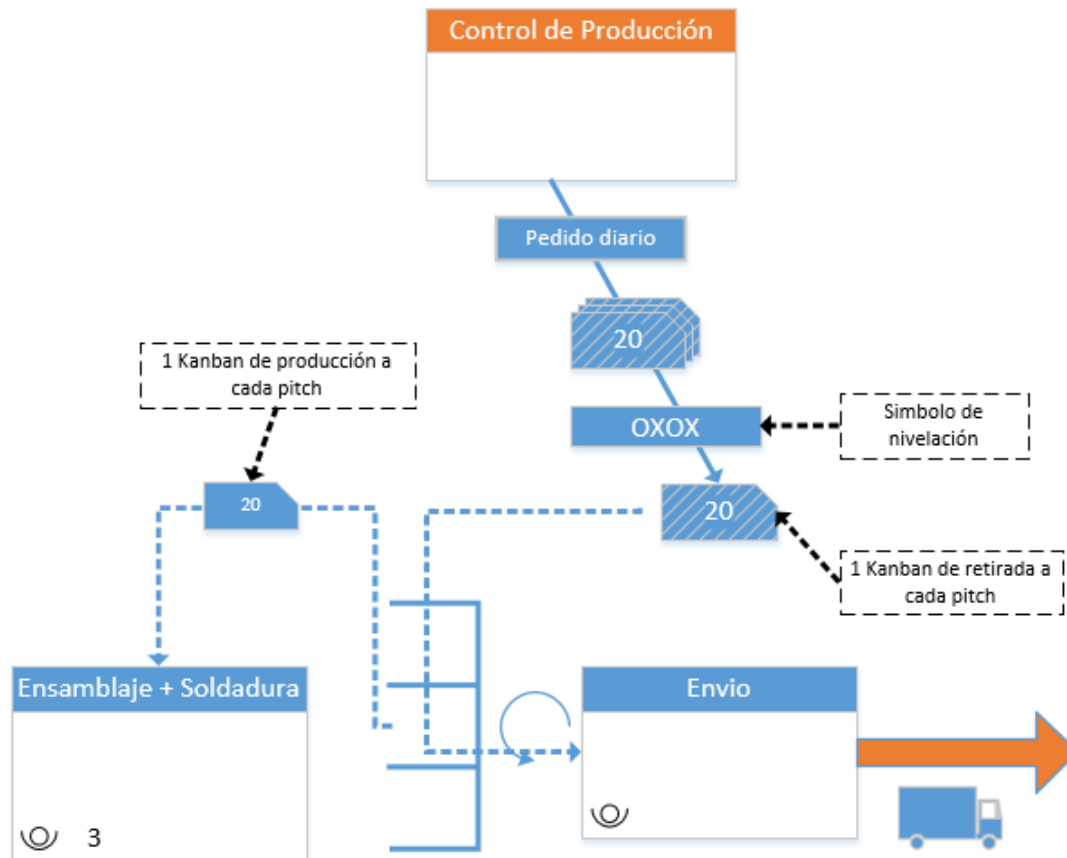


Ilustración 16 Producción nivelada al final de la línea

### 3.3.7 ¿Qué se ha de hacer para alcanzar el VSM futuro?

De cara a poder conseguir en planta lo que se va a proponer en el VSM futuro. Los siguientes hitos deberían alcanzarse:

- Reducción del tiempo de ciclo total del proceso de estampado + soldadura para quedar por debajo de los 180 segundos ( $takt \cdot 3$  operarios), esto se podría conseguir con técnicas de 5S y optimización de tareas vía eventos Kaizen.
- Reducción del tiempo de cambio de herramienta en estampados para que así se pueda producir ambos tipos de piezas estampadas en el mismo turno en vez de una sola vez por día, reduciendo el stock en el supermercado intermedio.
- Reducción del tiempo necesario para el cambio de herramienta en soldadura ya que si no esta no se puede introducir en el flujo continuo. Se busca en este flujo

tener un tiempo de cambio de herramienta casi cero para poder producir una bandeja de un tipo y dos de otro a cada hora.

- Mejora en los procesos de mantenimiento y calidad para incrementar la capacidad disponible del proceso de soldadura para así eliminar necesidades de stock tras este proceso.

La reducción en tiempos de cambio de herramienta, conocida como SMED (Single Minute Exchange of Die) es un objetivo posible y estandarizado ya conseguido en otros casos de estudio (Ohno, 1988), (Abraham, Ganapathi y Motwani, 2012).

En la siguiente página se muestra el Mapa de Valor Futuro obtenido para el ejemplo desarrollado durante este capítulo. Las propuestas de mejora también se han incluido en el VSM. Esto permite de un solo vistazo identificar qué hay que hacer para conseguir el objetivo. Como se puede ver, se consigue una reducción muy alta, de más de 19 días en lead time solo con la introducción del flujo continuo en una célula y la inclusión de supermercados que reducen los niveles de stock de piezas estampadas e inventariado final. Esto sin embargo viene con un coste asociado: hay que invertir en procesos de mejora de la fiabilidad de los distintos procesos de la cadena de valor y procurar mantener de manera diaria una producción nivelada, fiable y estable en el tiempo.



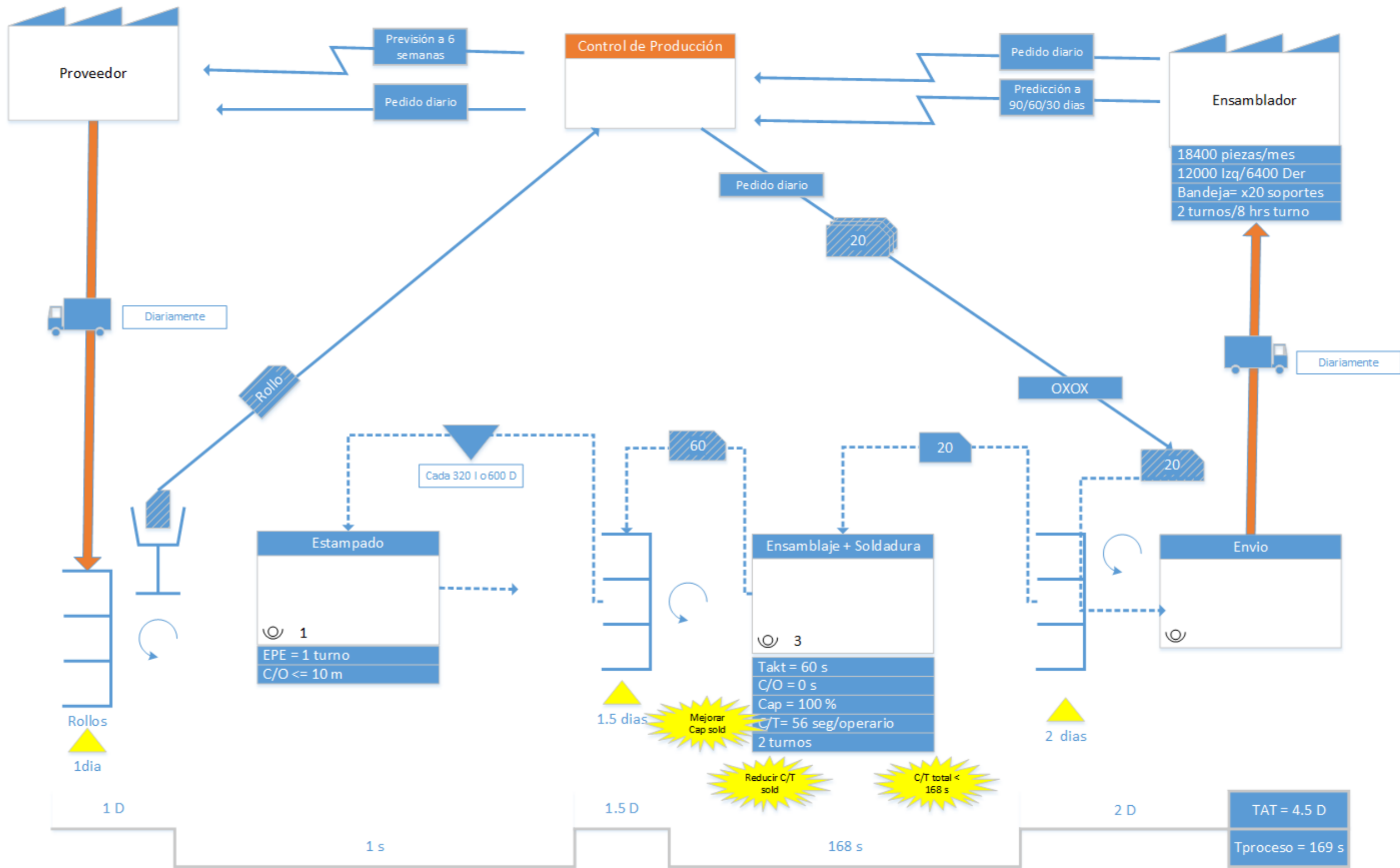


Ilustración 17 VSM futuro

## 4 Capítulo 4: Un caso de estudio

### 4.1 El taller y su producto

El caso a desarrollar durante este capítulo corresponde a un taller propio del OEM destinado a la reparación de álabes de turbina de alta presión y de sectores del estátor. Estos elementos son de los más complejos a nivel de ingeniería de materiales del mercado: se producen con estructuras monocristalinas o con crecimiento cristalino direccional, poseen pasadizos internos para su refrigeración, poseen salidas de aire a lo largo de su superficie aerodinámica que generan una fina película de aire más frío que el entorno para protegerlos frente a altas temperaturas y en su mayoría van recubiertos de una fina capa de material cerámico.

Este taller repara más de 60 perfiles distintos de álabes y sectores de estátor, debe dar salida y reparar diseños muy antiguos, así como modelos más modernos. Si bien el mayor porcentaje de sus clientes pertenecen al sector aeronáutico, también hay clientes del sector del Oil & Gas al usar turbinas aeroderivadas y poseer contratos de reparación con OEMs de turbinas de gas industriales.



*Ilustración 18 Álabes de hpt y sector de estátor. Fuentes: [General Electric](#) y [Ansaldo energía](#)*

El principal cliente de la cadena a analizar son MROs distribuidos por toda Europa y Oriente Medio: en su mayoría talleres subsidiarios del propio OEM, pero también MROs independientes certificados para la reparación de turbinas de gas y motores de aviación que envían sus piezas a este taller para su reparación y reciben a cambio las

piezas (no los mismos seriales si no el mismo tipo de Part Number) inmediatamente reparadas siguiendo un sistema en pool.

#### 4.1.1 El cliente y sus necesidades

Los distintos clientes hacen pedidos con carácter mensual de 9000 piezas con una distribución por cliente de entre 50 y 250 piezas mensuales. Con una media por cliente de 90 piezas.

El sistema de envío de álabes y sectores se realiza en paquetes de 5 álabes o 5 sectores de estátor por paquete, estos paquetes están rellenos de poliestireno y con unas métricas estándar y deformables para que los distintos diseños que puede tener cada álabe y sector puedan entrar en la misma caja.

Si bien los pedidos deben realizarse a 60 días vista, los clientes cambian la composición y cantidad de sus pedidos a 2 semanas debido a cambios en las necesidades de sus propias plantas de reparación.

#### 4.1.2 Los procesos

El proceso de overhaul de un álabe o un sector del estátor sigue siempre los mismos pasos y se puede englobar en los siguientes procesos identificados en planta:

**Eliminación de recubrimientos ambientales:** todas las piezas que se tratan han recibido en su proceso de fabricación una capa de material cerámico (o de materiales como el molibdeno en modelos más antiguos) para poder trabajar a altas temperaturas y que se ha degradado durante su periodo de operación. Esta capa debe ser eliminada en este primer proceso para poder analizar la serviciabilidad de la pieza en procesos posteriores. La capa se elimina mediante la introducción de la pieza en cubetas que reaccionan químicamente con la capa externa de la pieza y conlleva 1 hora y se pueden alojar hasta 60 piezas en las cubetas a la vez. Cuando entran capas hechas con otros materiales el proceso de readaptar las cubas electrolíticas para que reaccionen a esos materiales conlleva una hora. Este proceso tiene una fiabilidad del 90% al necesitar a veces una misma pieza dos baños electrolíticos para eliminar toda la capa protectora. Se observan 5 días de álabes y sectores de estátor de inventario al final de este proceso.

**Evaluación de la pieza y ensayos no destructivos:** Una vez la pieza está limpia, su geometría es comparada mediante fotogrametría con diseños CAD ya pregrabados para

evaluar cuánto se ha degenerado esta y ver si se puede reparar o no. En este proceso se aplica una inspección por fluidos penetrantes los cuales evalúan la presencia de grietas en la propia estructura de la pieza. Este proceso en global tarda 5 minutos y un trabajador debe desmontar la pieza de la máquina de fotogrametría para llevársela a la de espectrometría lo que conlleva 1 minuto más. El cambio de herramienta para la inspección por fluidos penetrantes conlleva 1 hora ya que es necesario reconfigurar el programa de espectrometría para que evalúe la presencia de grietas dependiendo de si el material es un monocristal, un poli cristal crecido direccionalmente...etc. Precargar otro modelo y límites de serviciabilidad en el manual para pasar de un Part Number a otro conlleva 5 minutos.

**Recrecimiento de la pieza:** Es en este proceso donde se restaura la geometría del álabe o del vane, mediante técnicas de soldadura se puede reconstruir la zona de la punta del álabe y el borde de salida, normalmente las zonas donde se suelen encontrar más daños en las boroscópicas.

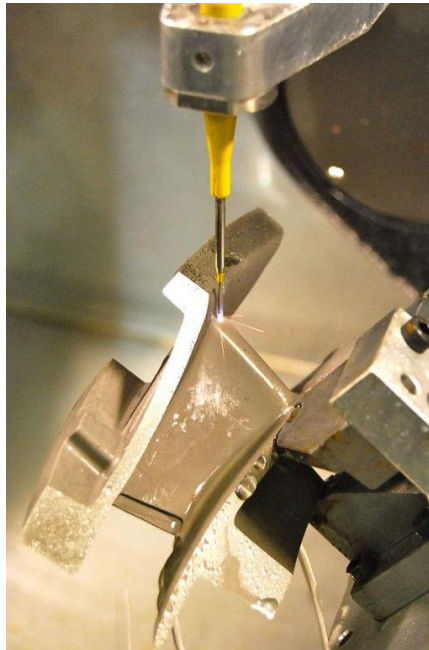


*Ilustración 19 Recrecimiento de punta de álabe mediante soldadura Fuente: [Siemens Energy](#)*

Este proceso conlleva 5 minutos por pieza y es realizado de manera automática en un horno cuya fiabilidad es del 80% (hay casos en que el recrecimiento requiere de un matizado posterior) y es necesario envolver las raíces de los álabes en una matriz polimérica que es fabricada en un proceso aparte.

Cambiar de álabes de HPT a sectores de estátor supone una hora por el cambio de cajones de soldadura, el cambio de un diseño a otro conlleva 15 minutos. Al final de este proceso se encuentran 3 días de inventario.

**Reparación de orificios de refrigeración:** Mediante el uso de láser se restaura la geometría de los slots de refrigeración del álabe o sector del estátor. El láser funciona por control numérico con la distribución de slots de refrigeración original por diseño. Este proceso posee una capacidad del 100% y conlleva 3 minutos de tiempo de ciclo. El cambio en el utillaje para pasar de sectores del estátor a álabes conlleva 1 hora y la introducción de un diseño distinto 15 minutos para la reprogramación del láser. El inventario tras este proceso es de 5 días.



*Ilustración 20 Micro taladrado de slots de refrigeración mediante láser. Fuente: [Aerospace Manufacturing Magazine](#)*

**Aplicación de recubrimientos:** El recubrimiento que se retiró en la primera operación debe reaplicarse en toda la superficie de la pieza (menos en las raíces al estar estas fuera del paso de gases calientes) este proceso se lleva de manera externa y se realiza por deposición de vapor obtenido por rayo de electrones. Las piezas se recogen de manera diaria por el proveedor del servicio y tardan dos días en pasar por el proceso completo en el proveedor externo que cuenta con un inventario de 2 días previo a la aplicación del recubrimiento.

En la propia planta se observan 6 días de piezas ya recubiertas.

**Control de calidad:** Este proceso es llevado a cabo por 6 operarios los cuales realizan un análisis termográfico de la integridad de la pieza y la capa cerámica. También se realizan análisis vibratorios y de eficiencia de la refrigeración, así como inspecciones

visuales. Este proceso lleva 24 minutos por pieza en total y posee un tiempo de cambio de herramienta de 10 minutos (básicamente cambiar de un manual de especificaciones deseadas a otro) al ser proceso puramente manual, la capacidad es del 100%. Y se observan 4 días de piezas listas para el envío al final de este proceso.

**Producción de matrices protectoras:** Como es necesario proteger la raíz de los álabes durante los procesos de recrecimiento y microperforado, se cuenta con un proceso internalizado de fabricación de matrices protectoras. Este proceso es básicamente el curado de un polímero en una cubeta el cual es cortado en pequeños bloques que luego envolverán la raíz. Curar el polímero conlleva 30 minutos en un horno dedicado, pero se pueden obtener hasta 60 matrices por cubeta lo que significa un tiempo de ciclo de un poco menos de 30 segundos. El tipo de polímero a emplear debe ser distinto dependiendo de la composición química de la pieza para que este sea inerte y no ataque la raíz, esto hace que sea necesario incluir un tiempo de cambio de herramienta de 1 hora para pasar de una composición a otra (cambio cubeta + reconfiguración del horno) y la capacidad del proceso es del 100%. El inventario previo en cubetas poliméricas es de 20 días y se observan 4 días de matrices ya preconformadas.

#### 4.1.3 Cómo se transmite la información y el material

Control de Producción es el encargado de recibir y trasladar a la cadena de producción los pedidos del cliente. A 60 días vista recibe los pedidos y los introduce en su sistema de gestión de material. También gestiona el listado de pedidos diario a emitir a cada cliente.

Cada pedido es convertido en un plan de producción a 6 semanas que se transmite a cada uno de los supervisores de la planta. Junto con este plan de producción a largo plazo, se emiten de manera diaria listados de piezas que son necesarios realizar ese mismo día para afrontar las modificaciones que hacen los clientes a sus pedidos a 15 días vista. La fabricación de estas piezas prioritarias es acomodada dentro de la producción normal. Esto provoca la necesidad de sobreproducir los distintos P/Ns de pieza para tenerlos disponibles y poder cubrir los pedidos de alta prioridad.

Las distintas divisiones comerciales del OEM van recibiendo las piezas a reparar de los distintos MROs y las aglutina en dos envíos al mes al taller. Este actor se puede clasificar como proveedor.

Al igual que en el ejemplo desarrollado en el capítulo de Metodología, se vuelve a producir el empuje de productos de un proceso a otro en vez de que sea el proceso cliente el que tire del resto de procesos aguas arriba de la cadena de producción. Es común encontrar piezas con defectos en los inventarios y que en la búsqueda de la lista de piezas prioritarias esta pieza no se encuentre o se encuentre con defectos y tenga que pasar de manera expeditiva por toda la cadena de valor y cumplir con el pedid

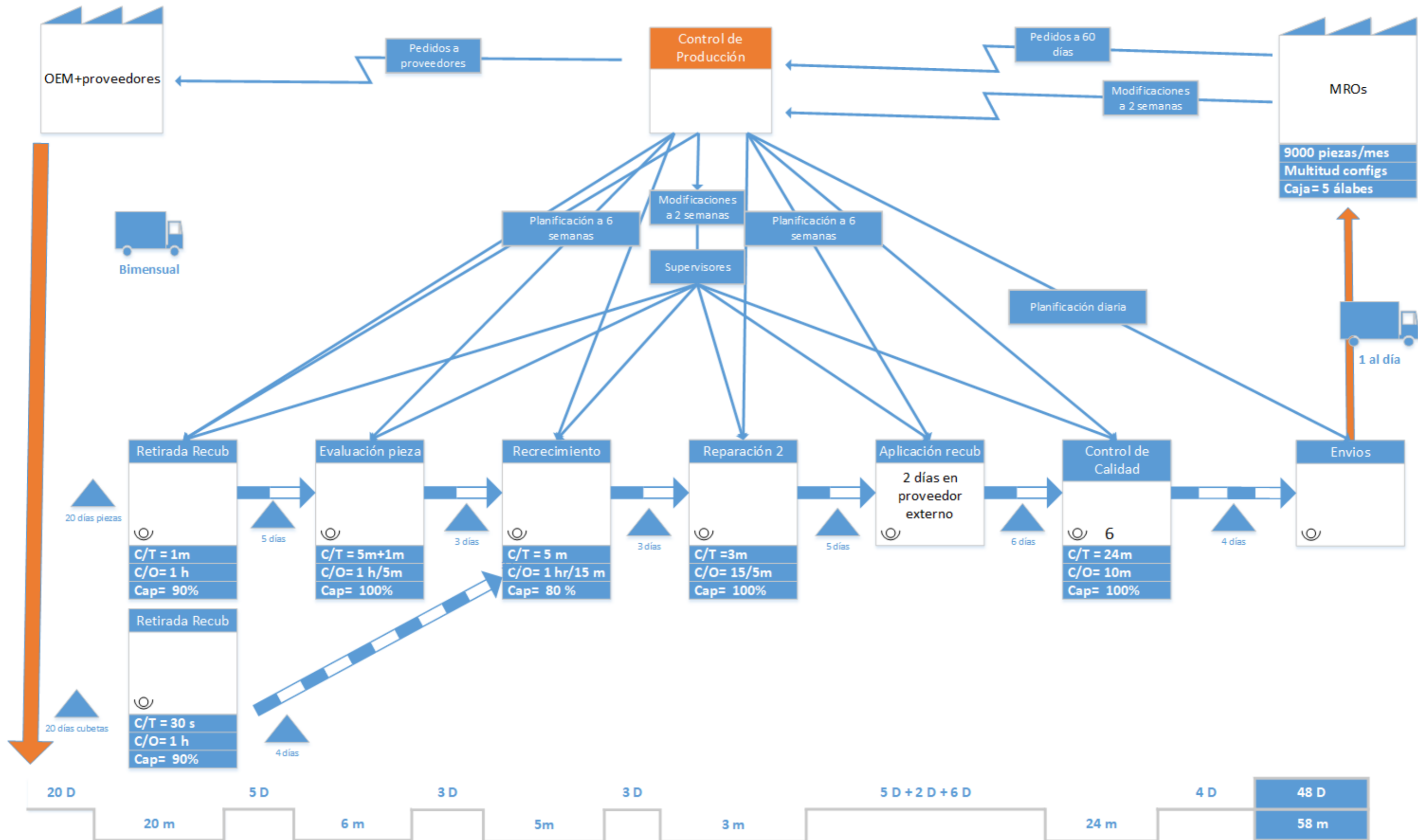


Ilustración 21 VSM actual del caso de estudio



## 4.2 Objetivos del VSM Futuro

De cara a que el lector pueda comprender mejor las metodologías que se van a implementar en el desarrollo del VSM futuro, se decide desglosar los objetivos que se quieren conseguir de cara a mejorar la cadena de valor del caso de estudio.

### 4.2.1 Eliminar sobreproducción.

En el caso de estudio, es posible ver que hay inventario acumulado por toda la cadena de valor. Esto es muy perjudicial para la empresa por los siguientes motivos:

- Un álabe o un sector de vanes, es una pieza muy cara y con un nivel de calidad y refinamiento exigido por las autoridades aeronáuticas muy alto. El tener estas piezas a medio conformar en contenedores durante todo el proceso hace que estas piezas vean esa calidad perdida a lo largo de la cadena. Esto implica que muchas piezas deban ser devueltas (en los procesos de control de calidad) aguas arriba de la cadena para rectificar defectos o incluso achatarrarlas. Es necesario comprender que este proceso de desecho no se produce porque una maquina esté funcionando de manera incorrecta, sino que es el propio proceso de acumulación de inventario (un proceso que no genera valor alguno al cliente) el que genera la pérdida en la calidad. Una muda acaba generando más muda aguas abajo de la cadena de valor.
- Al poseer la cadena una alta variabilidad en el tipo de pieza a producir, es complicado gestionar el inventario. El operario debe buscar en los pedidos expeditivos entre altas cantidades de piezas el diseño deseado perdiendo tiempo entre piezas que a primera vista pueden ser iguales. Esto hace que la información a lo largo de la cadena se tenga que ir continuamente transmitiendo de manera bidireccional generando errores al final de esta con los pedidos.

Uno de los objetivos principales del VSM futuro será la supresión en la medida de lo posible del inventario entre procesos. Esto, además de ayudar en la supresión de defectos y en la transmisión de información, permite dotar a la empresa de liquidez (al ir eliminando activo) para acometer más mejoras de la cadena. Es por ello que en muchos casos el volver una cadena lean no resulta altamente costoso: los gastos en formación, mejora de procesos e introducción de nuevo utillaje se pueden ir costeando con la liquidez que aporta la venta del inventario.

#### 4.2.2 Cambiar el flujo y paso de sistemas de empuje a sistemas de tiro

Es posible identificar en el VSM actual del caso de estudio que cada proceso actúa como una isla dentro de la cadena de valor. Cada proceso recibe una instrucción individual a seis semanas vista y la lista de piezas prioritarias. Lo que provoca las siguientes ineficiencias en la cadena:

- Al recibir cada proceso un plan distinto individualizado y este plan emane todo de la misma fuente (Control de Producción) hace que los procesos carezcan de interconexión en la cadena de valor. Esto impide que haya comunicación de proceso a proceso y que el operario de la cadena de valor carezca de una visión global de cómo está yendo la planificación.
- Esta ausencia de visión global hace que cada operario tienda a la sobreproducción dentro de su propio proceso y así poder estar seguro frente a variaciones que puedan hacer los clientes en sus pedidos. Esta es la causa principal de que haya acumulaciones de inventario: los operarios al conocer sólo lo que tienen que producir ellos y no lo que es verdaderamente necesario en el listado de pedidos que tiene el departamento de Envíos, los procesos aguas arriba sobreproducen para que procesos aguas abajo no se vean sin piezas y puedan realizar su propio listado de piezas.
- El que se planifique a 6 semanas es consecuencia del alto lead time que posee la cadena de valor. Esta planificación a tan largo plazo hace que se produzcan variaciones en la carga de trabajo de día a día al no haber un flujo constante de retirada y liberación de instrucciones a planta.
- Los pedidos expeditivos generan mucha problemática en toda la cadena. Si ya de por sí hay una alta variabilidad con la planificación a 6 semanas, el supervisor además tiene que gestionar piezas prioritarias e integrarlas en ese mismo plan de producción propio. Esto hace que se dejen de lado las piezas que estaban dentro del plan a largo plazo, alargando el lead time de lo que había en la planificación original y necesitándose de la acumulación de inventarios para dar salida a esos pedidos expeditivos de la manera más rápida posible sin que interrumpan el plan de producción original.

Dentro de los objetivos del VSM futuro será intentar establecer sistemas de comunicación de aguas abajo a aguas arriba, mediante sistemas de tiro (supermercados y líneas FIFO) y así evitar el aislamiento de cada proceso de la cadena de valor. Otro de

los beneficios de las reducciones de inventario y por tanto del lead time, es que las listas prioritarias de piezas ya no serán necesarias. Si se consigue generar un pedido completo en dos semanas el cliente ya puede hacer su pedido sin necesidad de modificarlo a posteriori. La supresión de las listas prioritarias para acomodarse a las modificaciones en los pedidos será otro objetivo.

#### 4.2.3 Amortiguar la variabilidad

Al trabajar el caso de estudio en un mercado altamente variable como es el del MRO, y tener dentro de su propia planta una alta variabilidad, será necesario determinar un sistema que permita que esa variabilidad se transforme en un plan de producción estable, constante y predecible.

Es absolutamente necesario cambiar la manera en la que se transmite la información en planta. Cada uno de los supervisores en la actualidad se planifica a conveniencia teniendo en cuenta que hay que cumplir con los planes de producción exigidos por Control de Producción. Cada proceso funciona a su propio ritmo determinado por su propio tiempo de ciclo. Mientras que hay procesos aguas arriba que trabajan a un mayor volumen y tienden a finalizar su plan a 6 semanas vista al principio, mientras que los procesos aguas abajo y debido a la alta variabilidad en la pieza y a que se introducen listas prioritarias que obligan a devolver las piezas que ya habían sido reparadas en su totalidad.

Esta independencia en cada proceso hace que se pierda flexibilidad. Cualquier cambio en el plan de producción o un incremento en el número de piezas prioritarias hace que procesos que ya habían finalizado su producción tengan que invertir horas extra en readaptarse a la nueva situación. Los álabes reparados previamente deben ser almacenados hasta que se les pueda dar salida en el futuro con los problemas descritos anteriormente derivados de las acumulaciones de inventario. Cadenas de valor tan poco adaptables presentan muchos problemas y pueden generar altos costes económicos y sin haber aportado nada de valor al cliente.

Estos problemas pueden solventarse mediante el envío de instrucciones constantes a un único proceso y que ese proceso sea el que tire en su demanda del resto de procesos. Este proceso recibirá el plan de producción y marcará el paso del resto de procesos en la cadena de valor. A este proceso se le determinará que modelos son los que hay que reparar, para cuando se les necesita reparados y que cantidad de álabes son necesarios.

En el desarrollo del VSM futuro se incluirá un proceso marcapasos y se definirá como se ha de nivelar el mix de productos finales y a que ritmo se deberán dar las instrucciones a cada proceso.

### 4.3 Desarrollo del VSM Futuro

Para el desarrollo del Mapa de Valor futuro se va a seguir el mismo proceso aristotélico de preguntas que se siguió en la metodología. Esto permite que afloren conceptos y herramientas Lean a emplear en las diferentes fases de desarrollo.

Este proceso se debe repetir continuamente durante toda la vida de la cadena de valor. El VSM futuro que se desarrolle aquí no debe ser ni mucho menos el definitivo, la aparición de nuevas herramientas y la mejora de procesos mediante Kaizen permitirá el desarrollo de VSM futuros que subsanen las ineficiencias del Mapa de Valor que se va a desarrollar.

#### 4.3.1 ¿Qué Takt Time tiene la cadena de valor?

Como ya se vio en 3.2.1, el takt time es el cociente entre el tiempo disponible de trabajo y la demanda de piezas. Actualmente, el tiempo disponible de trabajo en el caso de estudio es de dos turnos de 8 horas con una parada de 30 minutos para descansar y almorzar. Lo que genera un tiempo disponible de 900 minutos al día.

La demanda de piezas al día es la demanda de los distintos MROs, 9000, entre el número de días laborables que se computan como 25 lo que da una necesidad diaria de piezas de 360.

Con estos parámetros se puede obtener el takt time:

$$t_{takt} = \frac{900}{360} = 2.5 \text{ minutos}$$

Lo que significa que tiene que haber una pieza al final de la cadena de valor cada 2.5 minutos para poder cumplir con la demanda actual. Este valor de nuevo, es inmutable, a no ser que se incluyan horas extra, ya que **depende exclusivamente de la demanda del cliente**. Cualquier reducción en la capacidad de trabajo disponible impedirá que se pueda cumplir con la totalidad de los pedidos y será necesario incluir horas extra para poder llegar al takt.

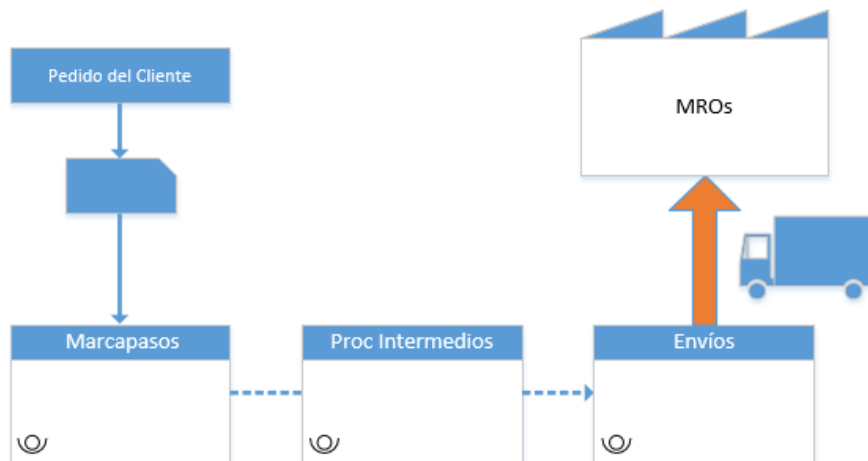
#### 4.3.2 ¿Supermercados al final de la cadena o producción directa a envío?

Al igual que en 3.3.2, se presenta la misma disyuntiva, en el caso de estudio se ha decidido ir por una estrategia de producción directa a Envíos por las siguientes razones:

- Instaurar un sistema de supermercados al final de la cadena para este caso resulta poco eficiente por la variabilidad en piezas producidas. Esto obligaría a mantener un inventario muy alto (aunque sean muy pocas piezas por cada uno de los tipos) para que Envíos pueda tener lo suficiente y cumplir con la demanda.
- El sistema de producción directa permite suprimir ese enorme inventario, sin embargo, se corre el riesgo de que se puedan amortiguar variaciones en la demanda.

Si bien parece arriesgado (cualquier fallo en el resto de la cadena puede provocar que no se cumpla con el pedido de ese día al no haber una salvaguarda de stock al final de la cadena) en cadenas con tan alta variabilidad, como por ejemplo producción automovilística de alta gama donde la personalización del producto final demandada por el cliente es muy alta, es más rentable a largo plazo tener una cadena que permita fabricar directamente a cliente y así evitarse el sobre coste de mantener un inventario tan variado para tener “Un poco de cada cosa”.

Envíos en este caso concreto no recibirá listado alguno de pedidos, directamente recogerá lo que se ha producido ese día y lo llevará a los distintos clientes. El pedido de los clientes irá directo a un proceso situado aguas arriba donde se da la alta variabilidad de la pieza.



*Ilustración 22 Producción directa a Envíos en VSM futuro*

#### 4.3.3 ¿Qué procesos permiten la introducción de flujo continuo?

La decisión de que procesos se pueden integrar en un flujo continuo depende de varias variables: el tiempo de ciclo de cada proceso, volumen de piezas con el que se trabaja y situaciones exógenas al propio proceso en sí pero que impiden que este se pueda integrar dentro del flujo continuo.

En el caso de estudio se identifican tres procesos los cuales, por su idiosincrasia, no se pueden integrar en el flujo continuo:

- **Aplicación de recubrimientos:** este proceso no se puede integrar en el flujo continuo por razones obvias, ni siquiera se produce en planta. Incluso si este proceso se realizase en una planta aledaña no se podría integrar en el flujo continuo por el mero transporte de piezas de una planta a otra lo que alargaría el propio tiempo de ciclo del futuro flujo continuo.
- **Eliminación de recubrimientos ambientales:** el tiempo de ciclo de este proceso por pieza es mucho más corto que procesos aguas abajo ya que se introducen varias piezas en las cubetas de una sola vez. Introducir una única pieza a cada vez para cumplir con takt no se podría ya que el tiempo de ciclo sería el mismo que para 60 por tanto no es posible (y además sería muy poco eficiente) introducirlo en un flujo continuo.
- **Fabricación de matrices protectoras:** Aunque el tiempo de ciclo por matriz polimérica es similar al takt (30 segundos), del mismo orden de magnitud. El volumen al que trabaja el proceso es totalmente distinto que procesos aguas

abajo. Cada cubeta genera 60 matrices. Y una única matriz es necesaria para cada pieza a producción final.

Por tanto, los únicos procesos donde podría haber flujo continuo serían los de evaluación de la pieza y ensayos no destructivos, reparación de superficies y reparación de slots de refrigeración. Estos procesos **poseen tiempos de ciclo similares** y trabajan con el mismo volumen de piezas (1). En el VSM futuro estos procesos irán integrados dentro de la misma caja de procesos.



*Ilustración 23 Procesos productivos en el VSM futuro*

Este único proceso ahora tiene un tiempo de ciclo de 14 minutos con un tiempo medio de ciclo por proceso de 5 minutos, lo cual hace necesario el empleo de un trabajador/máquina más por proceso para poder cumplir con el takt. Si bien esto puede parecer ineficiente, el aumento en la calidad de las piezas y la supresión de los inventarios intermedios compensan con creces el incremento en personal para ese proceso. Aun así, es necesario introducir también procesos de mejora en tiempos de ciclo para cada proceso productivo individualizado y reducir los tiempos de cambio de herramienta al mínimo para poder nivelar la producción. Una manera de reducir estos tiempos de cambio de herramienta es que las maquinas extra estén dedicadas a un tipo de pieza en concreto (álabes o sectores de estátor) y solo haya que cambiar el diseño a introducir en cada herramienta.

#### 4.3.4 ¿Dónde y que sistemas de tiro se deben introducir en la cadena de valor?

La decisión del sistema de tiro a introducir viene determinada por los procesos a interconectar:

##### **Entre Estudios de Viabilidad + Reparaciones y Eliminación de recubrimientos:**

Eliminación de recubrimientos es un proceso que se caracteriza por su alto tiempo de ciclo global (aunque por pieza sea un tiempo similar a procesos aguas abajo) y su alto volumen, lo que impide su integración en el flujo continuo.

La alta variabilidad en las piezas se produce desde el mismo inicio de la cadena de valor (los clientes envían sus propias piezas a reparar con alta variabilidad en sí). Sin embargo, en este caso ya no se puede evitar el instaurar un supermercado entre ambos procesos ya que:

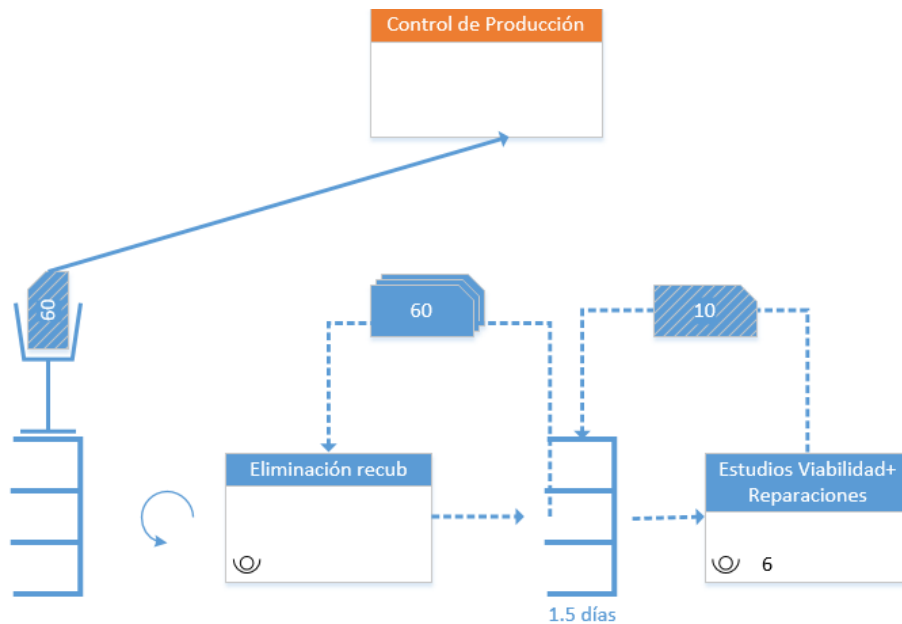
- Producir directamente en función de lo que pide el flujo continuo es inviable ya que se tendría que ir introduciendo un P/N determinado de pieza en la cubeta en función de lo que se enviase por Control de Producción y este sistema debe quedarse desacoplado del flujo continuo por su propia idiosincrasia.
- El tiempo necesario para el cambio de cubeta electrolítica impide que se pueda nivelar la producción en este nivel y la nivelación que se establecerá aguas abajo terminaría provocando que este proceso estuviese cambiando de cubeta continuamente.

Es por ello necesario establecer un sistema de supermercados con piezas sin recubrimiento. Donde se mantenga “Un poco de todo” y que el proceso aguas abajo vaya recogiendo los P/Ns necesarios cuando le convenga.

El supermercado trabajará con Kanban de retirada de 10 unidades del mismo P/Ns, así, cuando el flujo continuo deposite 6 Kanban, se podrá instruir a eliminación de recubrimientos que vuelva a preparar otro pedido mediante un Kanban de producción de 60 unidades. El stock a mantener en el supermercado será de 540 piezas distribuidas entre los distintos P/Ns, 1.5 la producción de un día. De esta manera se minimiza el que no haya stock en el supermercado cuando el flujo continuo reclame varias veces un mismo Part Number y si el sistema de distribución de piezas a reparar falla en sus envíos periódicos.



Aguas arriba del proceso no es posible establecer un sistema Kanban porque el proveedor (el propio OEM) no está integrado en la planta. Sin embargo y como la empresa consta de un sistema de gestión de material, Control de Producción puede saber a qué ritmo se está consumiendo cada Part Number al principio de la cadena de valor. Cada 60 álabes o sectores introducidos en las cubas electrolíticas implican un Kanban de retirada que va a control de producción el cual solicita esa misma cantidad de nuevo al distribuidor.

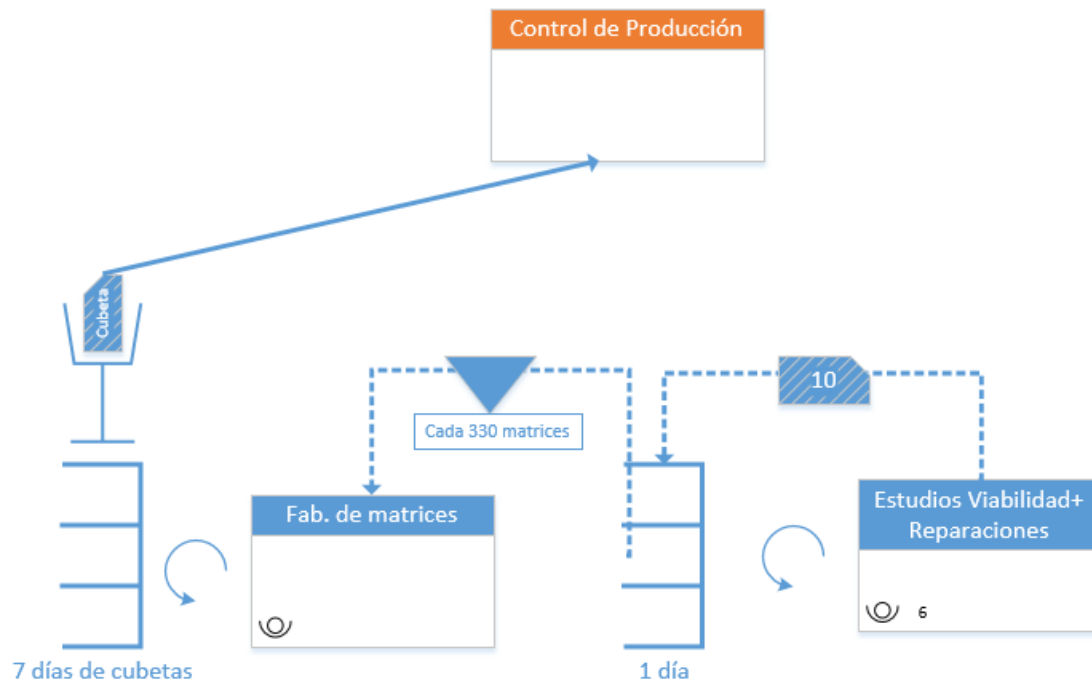


*Ilustración 24 Sistema de tiro entre el flujo continuo y eliminación de recubrimientos*

**Entre Estudios de Viabilidad+Reparaciones y Fabricación de matrices:** En este caso se va a contar también con un sistema de supermercados entre ambos procesos, aunque mucho más sencillo al no tener varios Part Numbers distintos sino solo dos tipos diferentes de matrices. Por simplicidad del sistema junto con el otro supermercado se deciden que los Kanban de retirada sean de 10 (así a cada retirada de material del flujo continuo el operario no tiene que llevarse X de un sitio e Y de otro).

El stock a mantener en el supermercado será de 360 matrices, el correspondiente a 1 día de producción, de cara a prevenir fallos en el suministro de polímero sin curar o problemas en el propio horno. Cuando el stock se reduzca por debajo de las 330 matrices se emitirá un Kanban triangular que ordenará a fabricación de matrices que reponga hasta llegar de nuevo a 1 día de inventario (5 cubetas en total).

Al igual que en el apartado anterior, no es posible establecer un sistema de Kanban de producción al inicio de este proceso. Sin embargo, cada cubeta consumida al inicio de la cadena llevará asociado un Kanban de retirada que irá directo a Control de Producción, el cual tendrá un conocimiento mucho más detallado (a nivel de turno) del ritmo al que se van consumiendo las cubetas de polímero y puede mejorar los pedidos (mayor previsibilidad) al proveedor de cubetas.



*Ilustración 25 Supermercado entre Estudios de Fiabilidad + Reparaciones y Fabricación de matrices*

De cara a que ambos supermercados funcionen, se debe cambiar el sistema en el que Control de Producción solicita los materiales a los proveedores. Se pasa de un sistema de previsiones a 16 y 12 semanas a un sistema de pedidos mensual con un envío semanal tanto de piezas a reparar como de cubetas de polímero. Además, el stock a mantener al inicio de la cadena, al ser los envíos semanales, se reduce de 20 días a 10 días (para mantener cierto nivel en caso de fallo en los proveedores) si bien se podría reducir aún más, hasta los 7 días de stock.

**Procesos posteriores a Estudios de Viabilidad + Reparaciones:** como el proceso posterior al flujo continuo no puede internalizarse, y se intenta suprimir al máximo los supermercados en los procesos internos, una línea FIFO es la opción óptima para unir estos procesos con el resto de la cadena de valor. Esto es posible principalmente porque

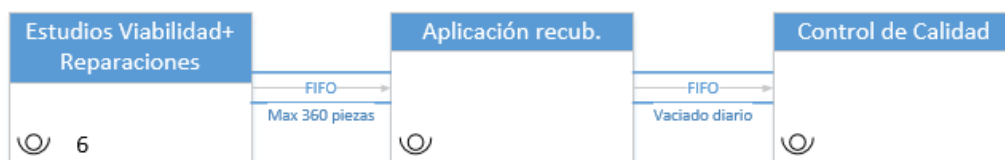
el volumen al que se trabaja es de 1 pieza, el mismo que Estudios de Viabilidad + Reparaciones.

En este caso no va a haber una discriminación por el Part Number de la pieza, conforme una pieza salga de Estudios de Viabilidad + Reparaciones, esta es recogida para ser llevada a tratamientos cerámicos y, posteriormente Control de Calidad, la variabilidad en los diseños no afectan mucho a procesos aguas abajo (solo genera cambios de herramienta no muy dramáticos en Control de Calidad).

La variable principal que definirá la línea FIFO será el número de piezas que haga detener la producción (una vez se llene la FIFO, se dejará de producir hasta que no empiecen a consumirse piezas), este límite se decide en la necesidad de 1 día, por tanto 360 piezas. De esta manera, aplicación de recubrimientos puede mantener su producción durante un día si hubiese algún parón aguas arriba de la cadena de producción.

Dentro del proveedor externo se decide mantener 1 día de álabes finalizados en caso de que haya problemas dentro de este proceso. Así se puede mantener la última parte del proceso en funcionamiento si durante 1 día no se hubieran podido aplicar los recubrimientos.

La FIFO aguas abajo de Aplicación de Recubrimientos no requiere de límite alguno, ya que como mucho va a haber 1 día de producción esperando al Control de Calidad (recordar que la entrega de piezas con recubrimiento se sigue realizando diariamente), si un día hubiera menos, esto significa que el proveedor externo ha retirado menos piezas de Estudios de Viabilidad + Reparaciones. De esta manera toda la cadena de valor se vuelve muy predecible, se puede saber dónde y para cuando debe estar una pieza determinada dentro de toda la cadena, y si hubiera algún problema es mucho más fácil de identificar dónde se está produciendo éste.



*Ilustración 26 Líneas FIFO aguas abajo*

#### 4.3.5 ¿Qué proceso debe ser el proceso marcapasos?

Al igual que lo descrito en **Error! Reference source not found.** aguas abajo del proceso marcapasos debe haber flujo continuo, en el caso de estudio el único proceso donde esto puede ocurrir es en Control de Calidad. Sin embargo, y tal y como está configurada la cadena de valor, la variabilidad en los P/N la da el proceso de Estudios de viabilidad + reparaciones ya que los procesos aguas abajo solo ejecutan lo que reciben de este proceso cada día. No discriminan por pieza, es por ello que la orden del mix de piezas a ir realizando debe ir al proceso donde se consiguió flujo continuo.

Es en Estudios de viabilidad + reparaciones donde se seleccionan los diseños a reparar, en procesos posteriores no se puede decidir qué y en qué cantidad cada pieza es necesaria. Es por ello que este proceso será el marcapasos de la cadena de valor.

#### 4.3.6 ¿Qué nivelación se introduce en el proceso marcapasos?

Para el proceso marcapasos, si se identifica como un proceso aislado dentro de la cadena de valor, es mucho más beneficioso producir por lotes de un mismo P/N, de esta manera se ahorra en tiempos de cambios de herramienta y se cumplen con las previsiones antes.

En cambio, desde una visión global de la cadena de valor, el que el marcapasos produzca en grandes lotes de un mismo P/N hace que los procesos aguas arriba (especialmente retirada de recubrimientos protectores) tengan que sobreproducir para poder salvaguardarse frente a cambios en la demanda del cliente, a este efecto se le conoce como efecto látigo (Lee, Padmanabhan y Whang, 1997). Es necesario que el proceso marcapasos persiga el objetivo de producir lo que se necesita, en las cantidades necesarias y cuando éstas sean necesarias. Generar un mix de P/Ns en este proceso permitirá que el supermercado aguas arriba vaya vaciándose en los distintos modelos poco a poco y también permitirá que la demanda de los distintos P/Ns sea más constante en intervalos de tiempo menores (actualmente es constante en 6 semanas, pero si se va a una semana se puede estar produciendo el mismo P/N sin producir ninguno de los otros).

Como hay muchos modelos distintos de álabe y sectores de estator a reparar, introducir un Kanban distinto para cada uno de los P/Ns no es práctico (habría multitud de tarjetas distintas y la caja Heijunka tendría muchas filas). Es por ello que lo óptimo es utilizar

un Kanban CONWIP, herramienta desarrollada por Wallace Hopp y Mark L Spearman en (Hopp y Spearman, 2011).

El sistema CONWIP (acrónimo de Constant Work In Progress) es un sistema Kanban especialmente dedicado para cadenas de valor con alta variabilidad en el producto y lotes de trabajo pequeños. El Kanban CONWIP por sí solo no lleva P/N asociado solo lleva una cantidad asociada, el Qué se fabrica se decide cuando el CONWIP vuelve a Control de Producción. Cuando la pieza o el lote de piezas se han reparado el CONWIP de producción vuelve a Control de Producción ‘el cual asocia un nuevo P/N al CONWIP. La decisión del Qué se produce en ese Kanban CONWIP vacío vendrá determinada por la prioridad que tenga la reparación de un P/N u otro en la planificación diaria (el “backlog”)

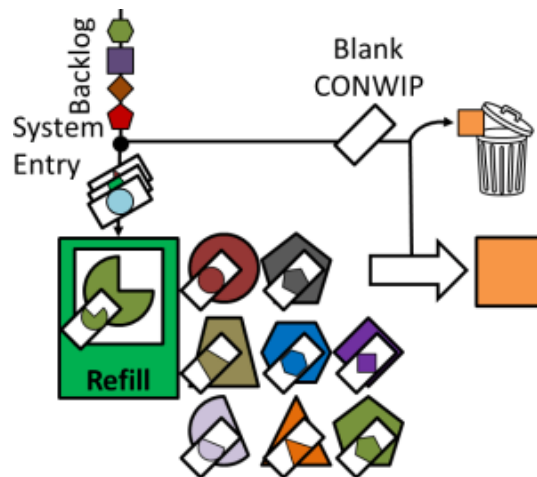


Ilustración 27 Sistema CONWIP. Fuente: [procesosindustriales.net](http://procesosindustriales.net)

De esta manera Control de Producción puede instaurar varios Kanban CONWIP para ir distribuyéndolos conforme a la planificación diaria. La cantidad total de piezas que sumarán las cantidades especificadas en los CONWIP será de 360, la producción de un día. Así, cuando se lleven las piezas para aplicar el recubrimiento protector, quedarán X número de tarjetas CONWIP vacías para que Control de Producción les asigne los nuevos P/Ns a reparar el día siguiente. Lo bueno del sistema CONWIP es que se pueden diseñar varios Kanban CONWIP con cantidades distintas, así se puede controlar la producción a nivel de una única pieza.

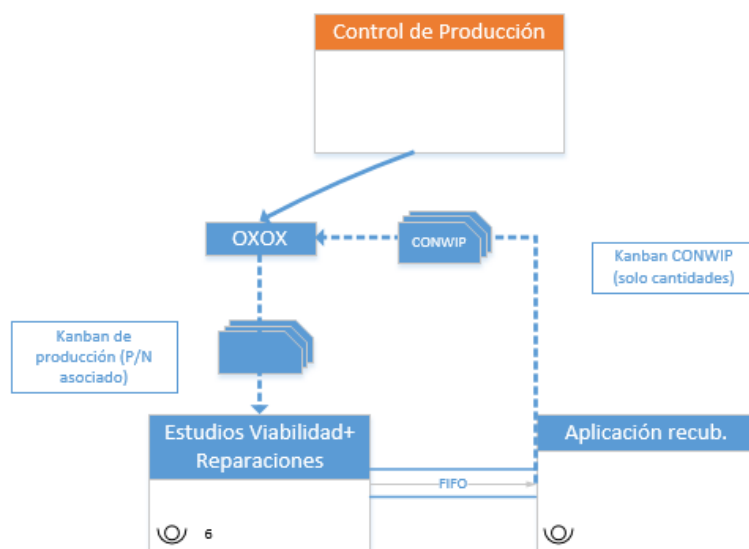


Ilustración 28 Sistema de nivelado en proceso marcapasos

#### 4.3.7 ¿Cómo se deben liberar las instrucciones a planta?

El que se envíen todos los Kanban CONWIP a la vez al proceso marcapasos provocará que este proceso no trabaje a un ritmo constante durante el turno. Es mejor que el envío de información de producción se vaya haciendo poco a poco y se consiga una distribución uniforme de la carga de trabajo en el proceso marcapasos durante toda la jornada.

Así cuando alguien vaya al final del proceso marcapasos a una hora determinada, sabrá exactamente qué se tendría que encontrar a esa hora y en qué cantidad. Todo esto es posible porque se conoce en todo momento el ritmo al que se está trabajando y que se tiene que fabricar (el backlog del CONWIP).

¿Cada cuánto tiempo se tienen que enviar los Kanban CONWIP? ¿Cuántas unidades debe contener ese Kanban? Estas variables de diseño vienen determinadas por el pitch siendo el pitch tal y como se vio en **Error! Reference source not found.** el producto del takt time por el número de piezas que hay en un pedido de media.

$$pitch = 2.5 * 90 = 225 \text{ minutos}$$

Cada 225 minutos, se retirará un lote de 90 piezas al final de Reparaciones y lo trasladará para que se recoja en la recogida diaria para tratamientos protectores. El conjunto de Kanban CONWIP (vacíos) de producción liberados, irán a Control de

Producción que emitirá el conjunto de Kanban CONWIP (ahora con P/N introducido) para el siguiente intervalo de 225 minutos.

Así es posible conocer el estado de producción de la cadena de valor en un marco temporal mucho menor. Cada 225 minutos se recibirá un conjunto de Kanban CONWIP vacíos que en total sumarán 90 piezas, si esta suma no se da, es posible identificar que está habiendo algún problema en la cadena de valor y no se podrá liberar el siguiente conjunto de Kanban hasta que la problemática esté resuelta.

Ahora se tiene una cadena que funciona siempre al mismo ritmo (siempre, cada 225 minutos va a haber 90 piezas al final de Reparaciones) dando órdenes a un único proceso y con el resto de los procesos trabajando en consonancia y sincronía.

#### 4.3.8 ¿Qué mejoras deben aplicarse para conseguir el mapa de valor futuro?

Una vez definido qué se quiere obtener, hay que definir cómo se puede conseguir el mapa de valor futuro, por ello se proponen las siguientes medidas:

**Reducción de tiempos de ciclo y tiempos de cambio de herramienta en Estudios de Viabilidad + Reparaciones:** La única manera actualmente de cumplir con el takt en el flujo continuo es el de introducir tres nuevas máquinas y tres nuevos operarios, esto permitirá trabajar con dos piezas en paralelo. De esta manera el tiempo de ciclo por proceso queda por debajo del takt y permite cierto margen en la producción diaria si se diese algún problema. Por otro lado, si se quiere introducir un mix de piezas para no trabajar en grandes lotes, es necesario reducir el tiempo de cambio de herramienta. Los tiempos de cambio de 1 hora quedan descartados desde el momento en que una máquina trabaja para un tipo determinado y la otra para el otro. Los tiempos de cambio motivados por la carga de nuevos diseños se pueden suplir por inversión en software que permita tener precargados todos los diseños para que de manera automática la máquina este programada. Un sistema de códigos QR asociados a cada P/N también permite la identificación automática de la pieza para que así la máquina ya trabaje preprogramada.

**Mejorar la capacidad de los procesos en flujo continuo:** En específico en las operaciones involucradas dentro del flujo continuo. Es necesario que estos procesos tengan fiabilidades muy cercanas al 100% para impedir desvíos en producción respecto al takt y no haya que precisar de horas extra o realizar pedidos urgentes que incumplan con la planificación a dos semanas ahora especificada.

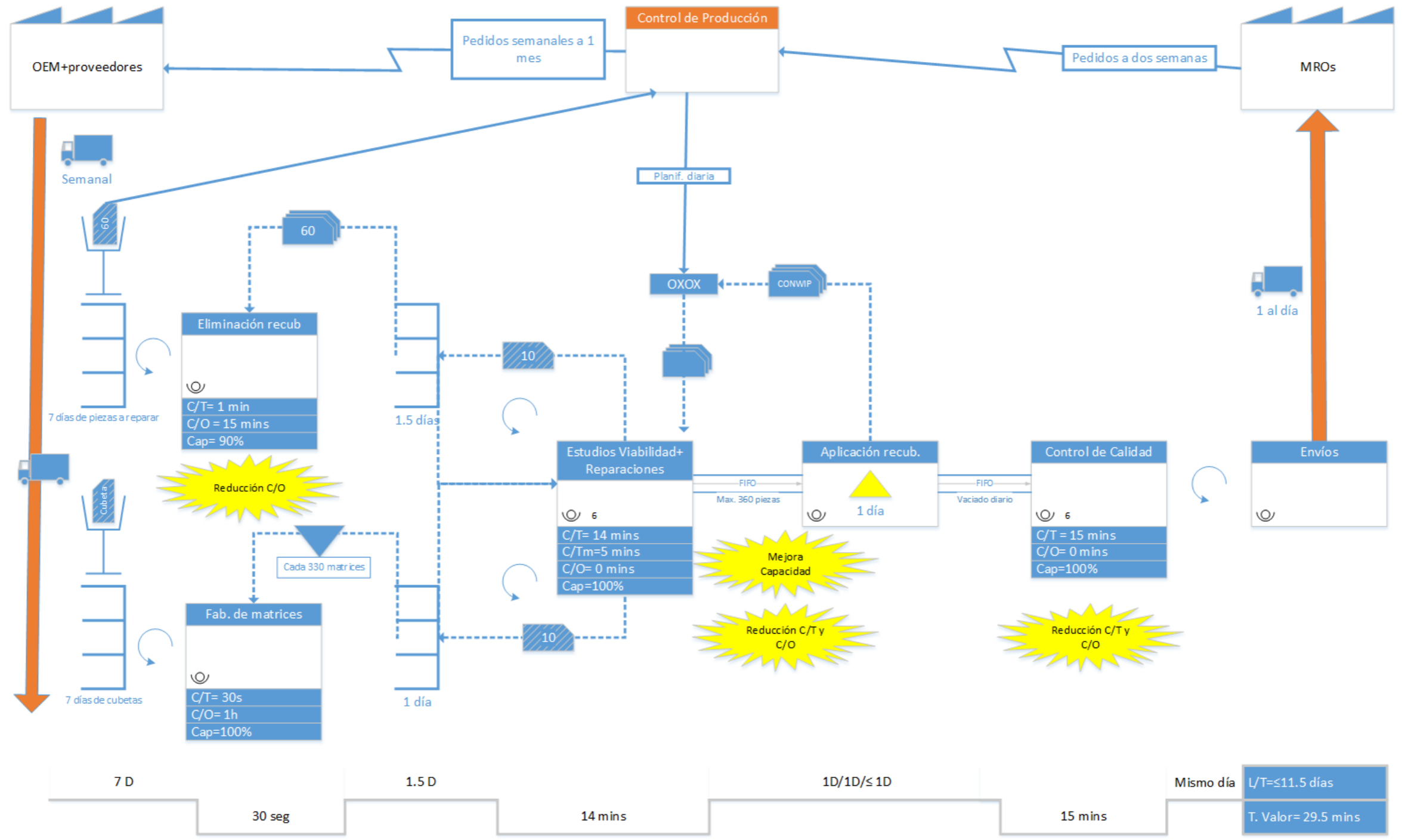
**Reducción de tiempos de cambio de herramienta en retirada de recubrimientos y fabricación de matrices:** Esto permitirá que el supermercado entre estos procesos y procesos aguas abajo conste de un stock menor. El tiempo de cambio de herramienta de eliminación de recubrimientos debería reducirse significativamente para que se puedan realizar varios P/Ns distintos en un mismo turno, un objetivo podría ser pasar de 1 hora a 15 minutos para cambiar cubetas. Hay 6 tipos de recubrimientos distintos, por tanto, con 15 minutos de C/O es posible tener P/Ns de los 6 tipos de recubrimientos disponibles en un mismo turno.

**Reducir tiempos de cambio de herramienta y tiempos de ciclo al final de la línea:** el proceso de Control de Calidad conlleva actualmente 24 minutos en total lo que dividido entre el takt hace necesarios a 9.6 operarios para poder cumplir con las necesidades del cliente. Es necesario reducir el tiempo de ciclo de este proceso si se quiere cumplir con el takt hasta los 15 minutos sin necesidad de inversión en más personal. Esto es posible si se implementan técnicas de 5S y Kaizen en el lugar de trabajo, especialmente en este proceso que requiere de mucha labor manual y coordinación entre operarios. El uso de sistemas de ayudas visuales y procesos estandarizados también permitirá la reducción en el tiempo de ciclo. Si esto no es posible, se deberá incrementar en 3 el número de trabajadores disponibles para realizar este proceso.

Obviamente los objetivos aquí mostrados son representativos de un marco de estudio, pero la realidad será mucho más complicada. Introducir estas mejoras en los distintos procesos requerirá de tiempo y será costoso. Es necesario tener en cuenta que estas mejoras no deben, de ninguna manera, introducirse todas a la vez en la planta. Es necesario un plan de desarrollo por fases que permita ir estabilizando cada proceso poco a poco e ir introduciendo los sistemas de tiro de manera transitoria en la producción por lotes, hacerlo todo a la vez lo único que generará es sensación de fracaso al no cumplir con los objetivos marcados y la desconfianza del personal de la línea. El plan de implementación quedará detallado más adelante.

De esta manera y una vez se ha seguido todo el proceso para el desarrollo del VSM futuro así queda recogido éste en la página siguiente incluyendo las mejoras propuestas para obtenerlo.





VSM FUTURO

Ilustración 29 Mapa de Valor Futuro para el caso de estudio

#### 4.4 Comparativa entre el VSM actual y el VSM futuro

La principal diferencia que se puede apreciar entre ambas Cadenas de Valor es la reducción en 36.5 días en el lead time de una pieza. Esto permite que ya se puedan gestionar pedidos a de los MROs a 15 días vista y que no sea necesario emitir listas prioritarias de piezas para conseguir cumplir con las modificaciones que hacen los clientes a sus pedidos.

Además de la reducción en las pilas de inventario pasa a gestionarse de manera sencilla con sistemas de supermercados, el operario ya no tendrá que andar buscando entre ingentes cantidades de P/Ns diversos hasta encontrar el necesario para seguir con su proceso. Esto permite además que los defectos no queden diluidos en la Cadena de Valor y los propios defectos generados por la acumulación de inventario tienden a reducirse, precisamente porque la pieza pasa mucho menos tiempo esperando al siguiente proceso en una balda.

Como es obvio, la principal reducción en stock se da en el ahora flujo continuo de Estudios de Viabilidad + Reparaciones. La consecución de este flujo continuo probablemente sea la meta más crítica de la fase de implementación ya que requiere que los tres procesos involucrados mejoren su fiabilidad hasta el 100% y además reduzcan su tiempo de ciclo (además de la inversión en personal y maquinaria necesaria).

El haber introducido precisamente el nivelado de la producción en este proceso permite reducir inventarios en los procesos aguas arriba al ser el flujo continuo un proceso con una demanda estable y predecible. Además, el que las instrucciones a planta se vayan lanzando en intervalos constantes y breves vuelve al proceso más controlable ya que la escala de control se reduce en el tiempo lo que permite identificar problemas más rápido y responder antes a estos a una mayor velocidad.

Ahora también se transmite la información de una manera mucho más racionalizada, un único proceso es el que recibe las instrucciones y los demás trabajan en función del trabajo de ese proceso. Esto hace que los procesos pasen a estar interrelacionados y que todos dependan de la demanda del cliente y no de su propio plan de producción evitando el “empuje” de productos de un proceso a otro.

## 4.5 Plan de implementación del VSM futuro en planta

### 4.5.1 Áreas de implementación

Aunque sobre el papel, la obtención del VSM futuro pueda parecer factible y que con un poco de entrenamiento e inversión se puede llegar. La realidad es que el paso de sistemas de inventario a sistemas JIT es un paso revolucionario dentro de la planta y el proceso de implementación debe encararse desde una visión prudente.

Es necesario separar en fases el proceso de implementación del VSM futuro, el criterio para establecer estas fases viene determinado por los “flujos continuos” que hay entre sistemas de tiro. Cada área donde se puede empezar a trabajar en mejoras viene determinada por los sistemas de tiro en sus interfaces con otras áreas y el flujo continuo que la recorre.

Así y una vez están identificadas las áreas, habrá que definir las metas y los objetivos necesarios para la consecución de tal meta, como se referenció en 1.8, las metas son el Qué y los objetivos el Cómo.

Por tanto, en el VSM futuro del caso de estudio es posible identificar cuatro áreas distintas para componer el proceso de implementación:

- **Proveedores:** en esta área se incluyen los distintos sistemas de envío de información a proveedores y los mismos sistemas de supermercados situados al principio de la Cadena de Valor. El sistema de supermercados interno para el control de piezas a reparar y material polimérico y el paso de envíos semanales con pedidos a 1 mes son objetivos para obtener la meta que es el paso de 20 días de inventario a tener 1 semana solamente.
- **Procesos previos al flujo continuo (proveedores):** los procesos de Eliminación de Recubrimientos y Fabricación de matrices protectoras funcionan como un flujo continuo (solo que de un único proceso) separadas por supermercados que hacen interfaz con los proveedores y el flujo continuo. La meta del proceso de implementación en esta área será conseguir 1.5 días y 1 día de inventarios en los supermercados aguas abajo, y el objetivo para su consecución será la reducción en C/O de Eliminación de recubrimientos para así poder minimizar tal cantidad de inventario. En fabricación de matrices, actualmente, sin embargo, no es necesario tomar acción ya que en el status actual es posible mantener el inventario deseado con los tiempos de cambio de herramienta actuales.

- **Proceso marcapasos:** la meta en esta área será la de conseguir obtener un flujo continuo entre Estudios de Viabilidad, Reparación álabes y Reparación de slots de refrigeración y conseguir al final de este flujo que sólo haya 1 día de stock. Para ello es necesario reducir el C/O a 0 y reducir el C/T hasta los 7.5 minutos en el proceso global y cumplir con el takt, introducir un sistema de Kanban CONWIP al final del flujo y conseguir incrementar la capacidad del proceso hasta el 100%.
- **Procesos posteriores al flujo continuo:** en este caso, el área solo cubre el proceso de Control de Calidad, las metas serán establecer un sistema de inventario 0 al final de la línea para sostener un sistema de producción directa a envíos y no tener que introducir ningún operario más para cumplir con el takt. Para ello será necesario reducir el tiempo de cambio de herramienta y de ciclo en este proceso e introducir un sistema de línea FIFO.

#### 4.5.2 Fases de implementación

Una vez se han conseguido identificar las áreas de implementación es necesario detallar cómo se van a desarrollar los ciclos de implementación dentro de cada una de las etapas de implementación. En (Hernández y Vizán, 2013) se provee de una guía con carácter general que ayuda a la elección de herramientas lean que deben ser implementadas en cada ciclo de desarrollo (se omiten los pasos 1 y 2 al ser estos el análisis del VSM actual y el desarrollo de un VSM futuro):

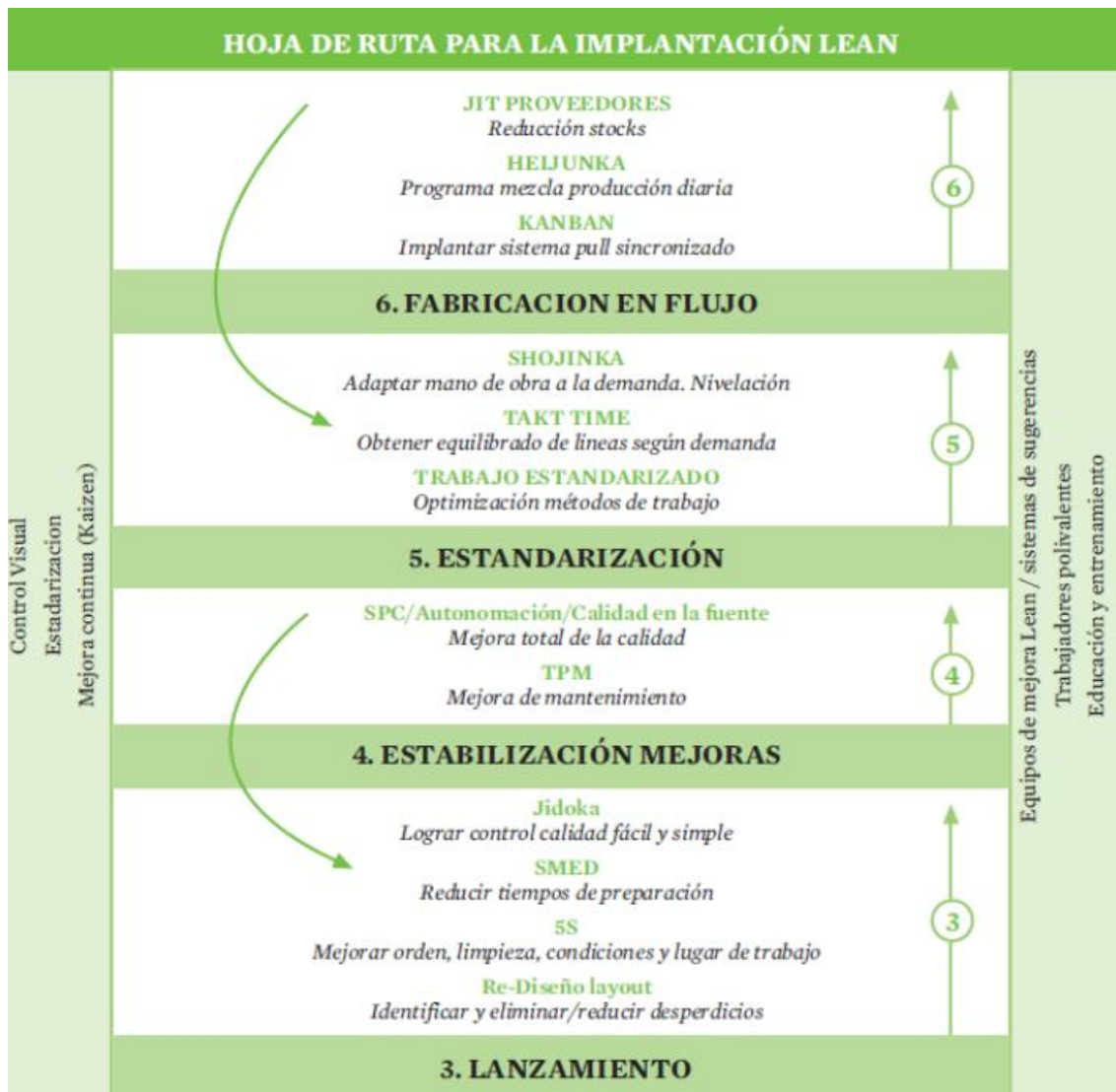


Ilustración 30 Proceso de implementación para cada área Fuente: (Hernández y Vizán, 2013)

Como se puede apreciar el plan de implementación guarda una estrecha relación en las primeras etapas con los objetivos desarrollados en el apartado anterior (aumento en la capacidad de los procesos, reducción en tiempos de cambio de herramienta...etc.) mientras que la última etapa se puede relacionar con las metas. Esto es, la supresión de inventarios entre procesos y la fabricación de sólo lo que el cliente quiera, cuando lo necesite y en las cantidades justas que necesite.

Cada área de implementación se debe considerar como un sujeto aislado y los procesos de mejora deben afrontarse en cada área de manera independiente ¿Por cuál empezar? En el caso de estudio el proceso aguas abajo (Control de Calidad) debería ser el primero por el que afrontar la transformación de la cadena, por las siguientes razones:

- No es un ciclo tan complejo: es un ciclo que no requiere de instaurar un sistema de supermercados y las mejoras necesarias se pueden implementar con relativa facilidad. Es un proceso con trabajadores ya formados, casi artesanal en el cual se pueden obtener resultados de manera más fácil que en otros procesos.
- Permite liberar inventario y tiene poca influencia en el resto de la cadena: al ser un proceso situado al final de la cadena de valor, los errores y el aprendizaje de éstos no tendrán un gran impacto en el resto de la cadena y en cumplir con los pedidos. Además, la liberación de inventario situado aguas arriba y abajo de este proceso permitirá financiar ciclos de implementación posteriores.

Con un ciclo de desarrollo implementado en un área, será necesario decidir cuál será el siguiente. En estos planes se suele ir flujo hacia arriba en la cadena de valor desde donde se empezó por tanto el siguiente será el proceso de Estudios de viabilidad + NDT y Reparaciones y si se sigue la cadena de valor hasta la instauración de supermercados al principio de la cadena.

Es necesario tener en cuenta que, en los ciclos de implementación, aflorarán multitud de problemas que no se habían tenido en cuenta en la planificación original, es necesario ser flexible frente a estos problemas e ir modificando el VSM futuro para adaptarlo al nuevo estado. El VSM es una herramienta, no un documento inmutable.

Como nota final recalcar que la meta sigue siendo la instauración del flujo continuo, el uso de técnicas como el Kaizen o las 5S son herramientas para conseguir ese objetivo. Carece de sentido producir de manera increíblemente eficiente si se sigue fabricando en lotes y el inventario se acumula por la cadena de valor. Solo cuando se dé el salto al sistema JIT en la cadena de valor será posible ver los problemas reales de implementación y los objetivos a conseguir en la transformación del proceso productivo.

## 5 Conclusiones

Si bien no ha sido posible trabajar con un caso real como al principio se esperaba de este proceso y haciendo énfasis en que lo que se ha desarrollado aquí no debe corresponder más que a un ejercicio puramente teórico. Si que es posible comparar lo descrito en los Objetivos del presente documento con lo que se ha acabado obteniendo finalmente.

Si se analiza el caso de estudio, sí que se puede identificar que los objetivos propuestos han sido cumplidos.

Como se puede apreciar en 4.1.2, el proceso original constaba de acumulaciones de inventario entre cada una de las etapas del proceso, estos inventarios tendían a generar varios tipos de desperdicios:

- De calidad: se produce una pérdida paulatina de calidad en el producto cuando este permanece almacenado por mucho tiempo. Además, cuanto más tiempo esté el defecto sin detectar más complicado es identificar la causa raíz de tal defecto.
- De almacenamiento: la propia acumulación de inventario supone un coste a la empresa asociado a la preservación y el almacenamiento de estas piezas. Esto como bien se detalló en el Capítulo 1 es un desperdicio ya que almacenar piezas supone un gasto de recursos a la empresa y no aporta valor añadido alguno a ojos del cliente.
- De información: el tener un inventario enorme entre procesos dificulta el proceso de transmisión de información dentro de la propia Cadena de Valor, el operario debe buscar entre grandes cantidades de inventario para encontrar la pieza demandada por el cliente. Además, provoca que la empresa necesite de pedidos urgentes para poder adaptar su producción a las modificaciones realizadas por los clientes en sus pedidos. Esto provoca que la producción normal dentro del plan de producción se vea afectada ya que deben priorizarse estos pedidos expeditivos sobre el propio plan de producción.

En la Cadena de Valor actual, cada proceso actuaba de manera aislada, con su propio plan de producción, esto hacía que el propio sistema tendiese hacia la sobreproducción:

al no saber qué va a precisar el proceso cliente, el proceso proveedor produce un poco de todo y mantiene inventarios para protegerse frente a variaciones en la demanda),

Además, la producción en la Cadena de Valor no está nivelada, esto hace que se tiendan a generar aún más inventarios, que el proceso productivo sea rígido (con planes de producción a tan largo plazo las variaciones son más difíciles de introducir) y que la carga de trabajo a lo largo de la jornada laboral no sea variable.

Mediante el uso de la Metodología descrita por (Rother y Shook, 2003) fue posible encontrar soluciones a todos los problemas que generaba esta cadena de valor y que quedaron plasmados en un Mapa de Valor futuro:

- Se consigue reducir hasta los 11.5 días el TAT de una pieza en pasar por el taller, esto permite que se puedan gestionar directamente los pedidos a dos semanas lo que elimina la necesidad de establecer listas de piezas prioritarias.
- Se establecen sistemas de tiro entre procesos (supermercados que funcionan con Kanban y líneas FIFO) que hacen posible que un único proceso reciba el plan de producción. Esto permite que procesos desacoplados ahora funcionen al ritmo marcado por este proceso, impidiendo la sobreproducción y la acumulación de inventarios.
- Se establece un sistema de nivelación de la producción mediante Kanban CONWIP y una frecuencia de liberación de trabajo a planta que hace posible una Cadena de Valor predecible y estable en el tiempo lo que permite un control más estrecho del plan de producción y hace a la Cadena de Valor más reactiva frente a variaciones en la demanda y a la aparición de fallos aguas debajo de ésta.

El paso de un sistema como el actual al sistema planteado en el VSM futuro lleva asociado un plan de implementación por “Áreas de mejora” que hacen necesario el uso de otras herramientas del Lean Manufacturing. Este mismo proceso de mejora dota a los trabajadores de la Cadena de herramientas propias para la mejora de sus procesos y permite al trabajador ser sujeto activo en el cambio del sistema productivo de la propia empresa.

Es necesario recalcar que la exitosa Cadena de Valor futuro planteada en el presente trabajo parte de una premisa ficticia (los procesos involucrados sin embargo no son



ficticios: son procesos reales que se usan en la reparación de piezas de turbinas de gas y motores de aviación).

Las técnicas aquí descritas han sido empleadas por multitud de empresas españolas (Hernández y Vizán, 2013). Incluso en el mismo sector aeronáutico, empresas como Airbus, Pratt & Whitney o centros reparadores como N3eos o el propio taller de motores de Iberia han internalizado en sus propias organizaciones las metodologías aquí descritas con resultados satisfactorios.

El uso de la herramienta empleada en este TFM, el VSM, permite hacer un análisis casi a coste cero (solo las horas empleadas en desarrollarlo e intentar mejorarlo) que puede permitir que empresas con pocos recursos se puedan desarrollar en mercados cada vez más competitivos. Más localmente, en España, el que las Pymes puedan emplear esta herramienta para afrontar los retos futuros ya puede suponer un éxito en sí mismo. El desarrollo de Mapas de Cadena de Valor siguiendo la metodología estandarizada aquí mostrada hace que sea posible establecer una primera aproximación al proceso de transformación de la empresa. Es posible presentar en una Junta de Accionistas un Mapa de Valor Actual y uno Futuro que posibilite una interpretación visual y rápida de que se quiere hacer y que se debe hacer para conseguirlo.

Es pertinente señalar, a modo de cierre de este documento, que el desarrollar un VSM y plantear las mejoras para llegar a un sistema JIT en la empresa se queda en nada si el proyecto al final acaba en un cajón: es absolutamente necesaria una gerencia comprometida con el proyecto y que crea verdaderamente en las ventajas que éste ofrece. Es necesario un personal de línea que no crea que estas herramientas le van a quitar el puesto de trabajo si no que vea que le van a dotar de capacidad de influencia en su propio trabajo, de sentirse parte de una empresa que precisa de su conocimiento y experiencia.

El camino a un sistema JIT de producción es un proceso que requiere de tiempo, sus resultados no tienden a mostrarse hasta que los procesos están estabilizados y se producen entornos de mercado donde los inventarios son más un lastre que un activo, requiere de esfuerzo y apoyo por parte de todos los estratos de la compañía y supone un cambio de paradigma en los sistemas productivos actuales (como lo fue el sistema de Ford a principios del XIX). Los procesos involucrados pueden variar de un caso a otro, pero si es necesario extraer una única conclusión de este documento es la de *que hay*

***que es necesaria una Cadena de Valor de tu producto que fabrique lo que tu cliente verdaderamente desea.***

En la situación actual de crisis en la demanda provocada por la COVID-19 las técnicas aquí mostradas permitirán a las empresas españolas adaptar sus Cadenas de Valor a entornos donde ya no es necesaria una producción en grandes lotes. Los inventarios, al ser un activo del cual no se puede extraer liquidez inmediata, actualmente se acumulan en almacenes deteriorándose con el tiempo o quedándose desactualizados frente a las demandas del propio mercado. Las empresas que han conseguido desarrollar una Cadena de Valor que minimice el inventario y adapte su producción a las variaciones en la demanda contará con una ventaja competitiva en estas situaciones.

## 6 Bibliografía

- Abraham, A., Ganapathi, K. N. y Motwani, K. (2012) «Setup time reduction through SMED technique in a stamping production line», *SAS TECH Journal*, 2(11), pp. 47-52.
- Akao, Y. (1991) *Hoshin Kanri: Policy Deployment for successful TQM*. Cambridge University Press.
- Ballard, G. y Tommelein, I. (2012) «Lean management methods for complex projects», *Engineering Project Organization Journal*. Taylor & Francis, 2(1-2), pp. 85-96.
- Begam, M. S., Swamynathan, R. y Sekkizhar, J. (2014) «A BRIEF OVERVIEW OF CURRENT TREND ON LEAN MANAGEMENT PRACTICES IN MANUFACTURING INDUSTRIES», *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara*. Faculty of Engineering Hunedoara, 12(2), p. 35.
- Bhadury, B. (2000) «Management of productivity through TPM», *Productivity*, 41(2), pp. 240-251.
- Chakravorty, S. S. (2009) «Six Sigma programs: An implementation model», *International Journal of Production Economics*. Elsevier, 119(1), pp. 1-16.
- Duncan, E. y Ritter, R. (2014) «Next frontiers for lean», *McKinsey Quarterly*, 2, pp. 82-89.
- Hernández, J. C. y Vizán, A. (2013) «LEAN MANUFACTURING, CONCEPTOS, TECNICAS E IMPLANTACIÓN», *MADRID: FUNDACIÓN EOI*.
- Hopp, W. J. y Spearman, M. L. (2011) *Factory physics*. Waveland Press.
- Imai, M. (1986) «Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success», *Becoming lean Inside stories of US manufacturers*, p. 260.
- Ishikawa, K. y Lu, D. J. (1985) *What is total quality control?: the Japanese way*. Prentice-Hall Englewood Cliffs, NJ.
- Landesberg, P. (1999) «In the beginning, there were Deming and Juran», *The Journal for Quality and Participation*. American Society for Quality, 22(6), p. 59.





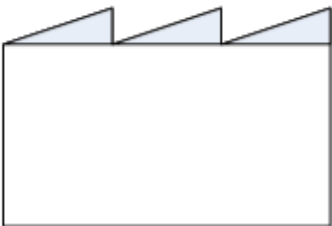


- Lee, H. L., Padmanabhan, V. y Whang, S. (1997) «The bullwhip effect in supply chains», *Sloan management review*, 38, pp. 93-102.
- Liker, J. K. (2005) *The toyota way*. Esensi.
- Lindo Salado Echeverría, C. *et al.* (2015) «Aprendizaje del Lean Manufacturing mediante Minecraft: aplicación a la herramienta 5S», *RISTI-Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*. Associação Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação (AISTI), (16), pp. 60-75.
- Moen, R. y Norman, C. (2006) «Evolution of the PDCA cycle». Citeseer.
- Ohno, T. (1988) *Toyota production system: beyond large-scale production*. crc Press.
- R. Jadhav, J., S. Mantha, S. y B. Rane, S. (2014) «Exploring barriers in lean implementation», *International Journal of Lean Six Sigma*. Emerald Group Publishing Limited, 5(2), pp. 122-148.
- Roser, C. y Nakano, M. (2015) *Guidelines for the Selection of FIFO Lanes and Supermarkets for Kanban-Based Pull Systems--When to Use a FIFO and When to Use a Supermarket*, *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*.
- Rother, M. y Shook, J. (2003) *Learning to see: value stream mapping to add value and eliminate muda*. Lean Enterprise Institute.
- Serrat, O. y Serrat, O. (2017) «The Five Whys Technique», en *Knowledge Solutions*. Springer Singapore, pp. 307-310. doi: 10.1007/978-981-10-0983-9\_32.
- Shingo, S. (2018) *The sayings of Shigeo Shingo: Key strategies for plant improvement*. Routledge.
- Tejeda, A. S. (2011) «Mejoras de Lean Manufacturing en los sistemas productivos», *Ciencia y sociedad*. Santo Domingo, República Dominicana.
- USA - Flash report, Sales volume, 2019 - *MarkLines Automotive Industry Portal* (sin fecha). Disponible en:  
[https://www.marklines.com/en/statistics/flash\\_sales/salesfig\\_usa\\_2019](https://www.marklines.com/en/statistics/flash_sales/salesfig_usa_2019) (Accedido: 19 de julio de 2020).
- Watson, G. (2004) «The legacy of Ishikawa», *Quality progress*. American Society for



Quality, 37(4), p. 54.



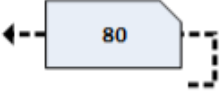

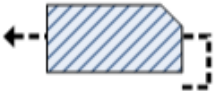
Womack, J. P. y Jones, D. T. (2010) *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation*. Simon and Schuster.

Womack, J. P., Jones, D. T. y Roos, D. (1990) *Machine that changed the world*. Simon and Schuster.

## 7 Apéndice I: Catálogo de símbolos del VSM

Icono de material	¿Qué representa?	Notas
	Proceso de la cadena de valor	Una caja de proceso simboliza una zona del VSM donde el flujo es continuo. También se usa en departamentos como Control de Producción
	Inventario	Es importante representar también la cantidad detectada de inventario (Ya sea en cantidad o en tiempo)
	Envíos/Pedidos	Es importante representar también la frecuencia con la que se producen.
	Flecha de piezas terminadas	Normalmente suele ir en combinación con el símbolo de Envíos/Pedidos
	Clientes/Proveedores	Se suele usar para cualquier tipo de empresa o planta ajena a la que se está representando en el VSM
	Retirada de material	"Tiro" de material, normalmente usada en conjunto con supermercados
	Supermercado	Inventario controlado de piezas usado para planificar la producción de procesos aguas arriba del marcapasos.

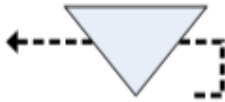
Icono de material	¿Qué representa?	Notas			
	Flecha de empuje	Material que es fabricado antes de que el siguiente proceso lo necesite.			
 Max 40 piezas	Carretera FIFO	Permite controlar la sobreproducción tras un proceso mediante el establecimiento de un número máximo de piezas			
<table border="1" data-bbox="256 725 520 835"> <tr><td>C/T = 45 seg</td></tr> <tr><td>C/O= 5 mins</td></tr> <tr><td>Cap= 80%</td></tr> </table>	C/T = 45 seg	C/O= 5 mins	Cap= 80%	Caja de datos	Recopila los datos más importantes sobre el desempeño de un proceso en un VSM
C/T = 45 seg					
C/O= 5 mins					
Cap= 80%					

Icono de información	¿Qué representa?	Notas
	Transm. Información manual	Por ejemplo: El plan de producción diario
	Transm. Información electrónica	Toda la información que se transmite telemáticamente
	Kamban de producción (La línea de puntos representa el camino que sigue el kamban)	Tarjeta u otro objeto que representa que se puede fabricar y en que cantidad
	Kamban llegando en lotes	
	Kamban de retirada	Tarjeta u otro objeto que permite al trabajador recoger X partes de Y cantidad de un supermercado

**Icono de información**

**¿Qué representa?**

**Notas**



Kamban triangular

Para procesos donde la producción ha de ser por lotes. Se genera cuando el inventario de un producto se sitúa por debajo de un mínimo



Nivelación de la producción

En combinación con los kamban de producción permite nivelar la mezcla y cantidad de productos.



Puesto para kamban

Elemento para recoger y guardar los kamban. Usado normalmente en procesos que contactan con proveedores

**Icono generalista**

**¿Qué representa?**

**Notas**



Mejoras necesarias

Mejoras críticas para que se pueda cumplir el VSM futuro. Se pueden hacer talleres kaizen con estos objetivos



Operario

Un trabajador visto desde arriba.