



Trabajo Fin de Grado

ESTUDIO Y DISEÑO DE UN SISTEMA PULL ENTRE LÍNEAS DE
FABRICACIÓN DESACOPLADAS

RESEARCH AND DESIGN OF A PULL SYSTEM BETWEEN UNCOUPLED MANUFACTURING LINES

Autor

Carlota Millán Turón

Director

David Solanas Casals

Escuela de Ingeniería y Arquitectura
Año
2018



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./Dª. Carlota Millán Turón,

con nº de DNI 25204346 A en aplicación de lo dispuesto en el art. 14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster) Grado, (Título del Trabajo)

Estudio y diseño de un sistema Pull entre líneas de fabricación desacopladas

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 17 de septiembre de 2018

Fdo: Carlota Millán Turón

Resumen

ESTUDIO Y DISEÑO DE UN SISTEMA PULL ENTRE LÍNEAS DE FABRICACIÓN DESACOPLADAS

La finalidad de este proyecto es demostrar la viabilidad de un sistema Pull en la planta productiva de Magna Automotive Spain situada en el polígono de Pedrola.

Se empieza seleccionando el tipo de gestión que mejor se adecúa a las características y necesidades de dicha empresa. Tras un análisis del comportamiento del cliente se elige como sistema de gestión el denominado “Consumption Control”. A partir de aquí, el proyecto se centra en la explicación de los pasos a seguir para la implementación de dicho sistema. Se parte de un análisis general de los procesos y los productos fabricados; se realizan unas consideraciones generales y, poco a poco, se va profundizando en cada proceso para establecer las características y relaciones que influyen en la implementación.

Se divide la planta productiva según los procesos y los ciclos de producción en los que se ven envueltos. Siempre que se pueda se establecerá un almacén de tipo supermercado entre los procesos. Los cálculos llevan a la determinación del número de tarjetas Kanban en circulación para cada tipo de almacén supermercado. Este número de tarjetas se traduce físicamente como el número de contenedores en el ciclo.

Por último, mediante métodos visuales (determinación de mínimos y máximos en los almacenes) y reglas heurísticas se regirá el funcionamiento del sistema.

Índice de contenidos

RESUMEN	2
1. INTRODUCCIÓN	7
1.1. CONTEXTO	7
1.2. OBJETIVO Y ALCANCE.....	8
1.3. TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS	8
2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO GENERAL DE FABRICACIÓN	9
2.1. DESCRIPCIÓN DE LOS PRODUCTOS.....	9
2.2. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS.....	10
2.2.1. <i>Línea de parches</i>	11
2.2.2. <i>Prensa de estampación en caliente</i>	11
2.2.3. <i>Máquinas de corte láser</i>	11
2.2.4. <i>Línea de tuercas</i>	11
2.2.5. <i>Línea de ensamblaje de pilares</i>	11
2.2.6. <i>Línea de ensamble de IP-Beam y línea de soldadura MAG</i>	12
3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y PROBLEMAS ENCONTRADOS.....	12
3.1. FLUCTUACIONES EN LA LÍNEA PRODUCTIVA	12
3.2. FALTA DE CONTENEDORES	14
3.3. EXCESO DE FLUJO DE INFORMACIÓN	15
4. ELECCIÓN DEL MÉTODO DE GESTIÓN.....	16
4.1. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA.....	17
5. CARACTERÍSTICAS Y ETAPAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL “CONSUMPTION CONTROL”.....	18
5.1. CARACTERÍSTICAS Y ELEMENTOS DEL “CONSUMPTION CONTROL”	18
5.2. ETAPAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO CC.....	19
5.2.1. <i>Análisis del comportamiento de la demanda y periodo de planificación</i>	19
5.2.2. <i>OEE de cada proceso</i>	20
5.2.3. <i>Diferenciación entre productos principales y secundarios</i>	20
5.2.4. <i>Definir ciclo cerrado a controlar</i>	21
5.2.5. <i>Reglas de gestión</i>	25
5.2.6. <i>Preparar para la implementación</i>	25
6. ANÁLISIS GENERAL DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN	26
6.1. VARIACIONES EN EL OEE DE LOS PROCESOS	26
6.2. ANÁLISIS DEL PRODUCTO.....	27

7. CICLOS DE PRODUCCIÓN Y CARACTERÍSTICAS.....	28
7.1. PRIMER CICLO: LÍNEA DE PARCHES CON PRENSA	29
7.1.1. <i>Características del ciclo en la línea de parches.....</i>	30
7.2. SEGUNDO CICLO: PRENSA-MÁQUINAS DE CORTE POR LÁSER	32
7.2.1. <i>Características del ciclo en la prensa</i>	32
7.3. TERCER CICLO: MÁQUINAS DE CORTE POR LÁSER-ENSAMBLE.....	36
7.3.1. <i>Características del ciclo en las máquinas de corte por láser.....</i>	37
7.4. CUARTO CICLO: LÍNEA DE TUERCAS-ENSAMBLE	40
7.4.1. <i>Características del ciclo en la línea de tuercas.....</i>	40
7.5. QUINTO CICLO: ENSAMBLE-CLIENTE.....	42
7.5.1. <i>Características del ciclo en la línea de ensamble.....</i>	42
8. REGLAS DE GESTIÓN	45
8.1. EJEMPLO DE GESTIÓN	47
9. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	47
10. BIBLIOGRAFÍA.....	48

Índice de ilustraciones

ILUSTRACIÓN 1: TIPOS DE PRODUCTO FINAL	9
ILUSTRACIÓN 2: SITUACIÓN DE LAS PIEZAS EN UN VEHÍCULO	10
ILUSTRACIÓN 3: DISTRIBUCIÓN DE LAS FOCUS FACTORY EN LA PLANTA	10
ILUSTRACIÓN 4 : PARETO DE CAUSAS DE PARADAS EN LA PRENSA.....	13
ILUSTRACIÓN 5 : VARIACIÓN DE STOCK DE PRODUCTO FINAL DE PRENSA	13
ILUSTRACIÓN 6: GRÁFICO DE PARETO DE LOS SUCESOS QUE ORIGINAN PAROS EN LA LÍNEA	15
ILUSTRACIÓN 7 : FLUJO SELECCIÓN DE CONTROL DE LA PRODUCCIÓN.....	16
ILUSTRACIÓN 8 : VARIACIÓN DE PEDIDOS SEMANALES POR CLIENTE Y MODELO	17
ILUSTRACIÓN 9 : CICLO DE CONTROL.....	19
ILUSTRACIÓN 10 : DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS Y PÉRDIDAS EN UN PROCESO	21
ILUSTRACIÓN 11 : VARIACIÓN DEL OEE SEMANAL DE CADA PROCESO.....	26
ILUSTRACIÓN 12 : PROPORCIÓN DE DEMANDA FRENTE A PORCENTAJE EN TIEMPO DE PRODUCCIÓN.....	27
ILUSTRACIÓN 13 : CICLO LÍNEA DE PARCHES-PRENSA.....	29
ILUSTRACIÓN 14 : CICLO PRENSA-MÁQUINAS DE CORTE POR LÁSER.....	32
ILUSTRACIÓN 15 : CICLO MÁQUINAS DE CORTE POR LÁSER-ENSAMBLE.....	36
ILUSTRACIÓN 16 : CICLO MÁQUINAS DE CORTE POR LÁSER-LÍNEA DE TUERCAS.....	36
ILUSTRACIÓN 17 : CICLO MÁQUINAS DE CORTE POR LÁSER-CLIENTE	36
ILUSTRACIÓN 18 : CICLO LÍNEA DE TUERCAS-LÍNEA DE ENSAMBLE	40
ILUSTRACIÓN 19 : CICLO LÍNEA DE ENSAMBLE-CLIENTE.....	42
ILUSTRACIÓN 20 : CICLO PRENSA-MÁQUINAS DE CORTE POR LÁSER.....	47

Índice de tablas

TABLA 1 : DATOS DE DEMANDA SEGÚN MARCA Y MODELO	17
TABLA 2 : TIPOS DE FACTORES DE SEGURIDAD.....	24
TABLA 3 : DATOS DEL OEE DE CADA PROCESO.....	27
TABLA 4 : CÁLCULO DEL NÚMERO DE TARJETAS KANBAN EN CIRCULACIÓN EN LA LÍNEA DE PARCHES	31
TABLA 5 : CÁLCULO DEL NÚMERO DE TARJETAS KANBAN EN CIRCULACIÓN EN LA PRENSA	35
TABLA 6: CÁLCULO DEL NÚMERO DE TARJETAS KANBAN EN CIRCULACIÓN EN LAS MÁQUINAS DE CORTE LÁSER.....	39
TABLA 7 : CÁLCULO DEL NÚMERO DE TARJETAS KANBAN EN CIRCULACIÓN EN LA LÍNEA DE TUERCAS	41
TABLA 8 : CÁLCULO DEL NÚMERO DE TARJETAS KANBAN EN CIRCULACIÓN EN LA LÍNEA DE ENSAMBLE	44
TABLA 9 : NÚMERO MÁXIMO Y MÍNIMO DE CONTENEDORES PARA CADA ALMACÉN SUPERMERCADO	45
TABLA 10 : TAMAÑOS DE LOTE PARA CADA REFERENCIA SEGÚN EL PROCESO	46

1. Introducción

La finalidad de este proyecto es demostrar la viabilidad de la implementación de un método de gestión de la producción basado en el principio “Pull”.

Se parte de una planta relativamente joven (menos de 2 años en funcionamiento) en la que los procesos están diseñados en base a un sistema “Push”, con almacenes intermedios y final sobredimensionados, para asegurar el suministro al cliente.

Debido a nuevos proyectos y ampliaciones en los equipos, se plantea la necesidad de una gestión enfocada a la reducción de desperdicios, es por esto que se propone el desarrollo de este proyecto.

1.1. Contexto

La empresa en la que se ha realizado el proyecto es MAGNA Automotive Spain S.A.U., en concreto en las instalaciones localizadas en el polígono “El Pradillo” en el municipio de Pedrola (Zaragoza).

MAGNA es una compañía que fundada en 1957 a partir de un pequeño taller, originaria de Canadá y que ha ido expandiéndose internacionalmente en los últimos 60 años. Uno de sus últimos pasos en esta expansión ha sido la puesta en marcha de este proyecto en Zaragoza, el cual lleva poco más de dos años en funcionamiento.

Es una empresa proveedora, líder mundial automotriz con 340 plantas productivas y 102 centros de desarrollo de producto, ingeniería y ventas en 28 países. Cuenta con más de 172.000 empleados que se enfocan en entregar valor superior a sus clientes a través de productos y procesos innovadores.

En concreto, la división afincada en Zaragoza pertenece a la rama COSMA de la compañía, la cual se identifica por la fabricación metálica de los sistemas de chasis y carrocería de vehículos. Esta división se dedica a la fabricación de componentes por estampación en caliente, seguida de corte láser y procesos de ensamble en función de la referencia. Según el código CNAE la actividad se clasifica en el grupo C: 2932 - *Fabricación de otros componentes, piezas y accesorios para vehículos de motor*.

La parcela ocupa una superficie total de 44.000 m², de los cuales 21.000 m² están dedicados a suelo productivo cerrado. Esta distribución y la parcela escogida evidencian las pretensiones de crecimiento de la fábrica: no solo se aprovechará al máximo el suelo productivo disponible actualmente con la incorporación de nuevos proyectos, sino que, si se necesita, se podrá ampliar.

El volumen de producción es amplio, de hecho, esta fábrica cuenta con 240 trabajadores de los cuales el 76% son operarios de producción. La gran cantidad de recursos y personal exige llevar un control más exhaustivo si se pretende, como es el caso, mejorar y crecer en un futuro próximo; éste es el mejor momento para establecer nuevos

métodos y técnicas de cara a que se sigan en un futuro, cuando se deberá dedicar más tiempo al control de la producción.

1.2. Objetivo y alcance

La estructuración e implementación de un nuevo sistema de gestión en una planta productiva conlleva varias fases. Primero se deben evaluar las diferentes posibilidades de gestión, escoger la que más se adapte a las necesidades de la empresa y comprobar su viabilidad para, posteriormente, implantar el método de gestión.

Este proyecto se centra en la evaluación de las diferentes posibilidades y la implementación teórica de la escogida. Dicha implementación permitirá demostrar si las características de los procesos se adecúan a las necesidades del método de gestión y establecerá las bases para una futura simulación, en la que se realizarán los ajustes necesarios previos a la implementación en la planta.

Físicamente se traduce como el diseño de almacenes intermedios entre procesos. En concreto, diseñar los almacenes intermedios para los Pilares A y B tanto del cliente Seat como de Volkswagen.

Actualmente, tanto los almacenes intermedios como el almacén de producto final son almacenes de stock incontrolado por diseño: sin mínimos ni máximos establecidos por referencia. Para lanzar o decidir futuras órdenes de producción, deben revisarse las cantidades de cada producto en proceso y de stock final y comparar con el resto antes de decidir. Dichos almacenes no se han diseñado en base a la capacidad ni a la demanda, si no que se han modificado de acuerdo al cambio de necesidades y basándose en la experiencia.

Para el nuevo diseño de estos almacenes, deben considerarse el número de contenedores necesarios en función de la demanda. Dado que cada contenedor debe ser etiquetado con una tarjeta Kanban, del número de estos depende la cantidad de tarjetas en circulación. Por lo tanto, la parte correspondiente al cálculo en el proyecto se centra en determinar dicho número de tarjetas para cada tipo de referencia.

1.3. Técnicas y herramientas

Para aplicar el pensamiento del “Lean Manufacturing” se deben eliminar los llamados “desperdicios”. Así mismo, esta metodología está basada en unos principios establecidos en torno al “valor” y cuya conclusión es la de una producción ajustada. Los pasos para conseguirla son: identificar el “valor”, establecer el flujo de materiales a lo largo de la fábrica, implementar un sistema Pull y mejorar buscando la perfección. Es en el tercer paso en el que se centra este proyecto. Una de las herramientas para la consecución de este punto es el “Consumption Control”: sistema Pull en el que el propio

movimiento del material en proceso dentro de la fábrica desencadena las señales para el flujo productivo, sin necesidad de intervención externa. Los almacenes tipo “supermercado” funcionan siguiendo este principio, ya que el movimiento de entrada y salida de contenedores, y por tanto de tarjetas Kanban, genera órdenes de producción (señales para la reposición de lo retirado).

Además, al ser la mayor parte de las líneas de producción procesos de capacidad compartida, deben estudiarse de manera que se consideren todos los componentes y la demanda de éstos. Para realizar dicho análisis y el posterior diseño, se emplean otras herramientas que también derivan del pensamiento Lean: “Takt Time”, OEE (Overall Equipment Effectiveness o Eficiencia General de los Equipos), tiempos de reposición...

2. Descripción del proceso general de fabricación

La planta productiva sigue un proceso estandarizado mediante el cual se fabrican la mayoría de los productos, no obstante, hay pequeñas variaciones en función del tipo de pieza.

2.1. Descripción de los productos

Se distinguen 3 tipos de piezas, las cuales, en función del cliente y modelo al que pertenezcan, tienen unas características u otras: dimensiones, procesos productivos a los que se someten, componentes que las integran y lateral al que pertenezcan (o, en su caso, lado en el que esté el volante). En la Ilustración 1 se presentan los 13 componentes diferentes que se fabrican, en un árbol de tipificación de producto.

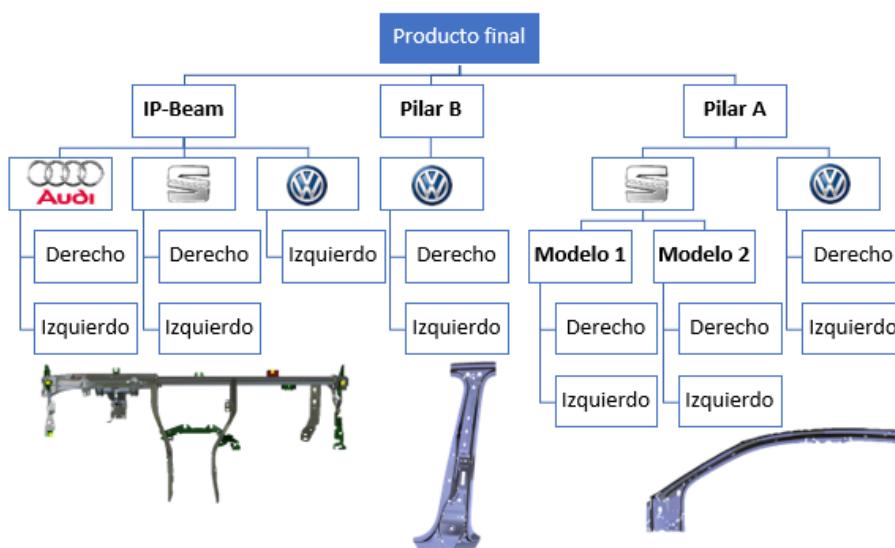


Ilustración 1: Tipos de producto final

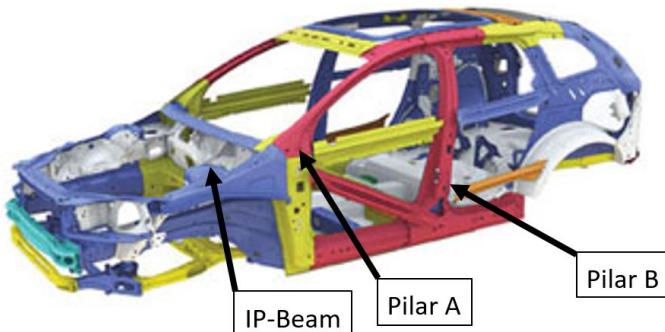


Ilustración 2: Situación de las piezas en un vehículo

Según se puede ver en la Ilustración 2, los pilares A y B forman parte de la carrocería del vehículo, mientras que el IP-Beam está integrado en el salpicadero. Todas ellas son piezas de las que depende la seguridad estructural del vehículo, por lo que los procesos de fabricación deben estar sometidos a un estricto control.

2.2. Descripción de los procesos productivos

Tal y como se puede distinguir en la Ilustración 3, la planta productiva está dividida en tres zonas denominadas “Focus Factory” (FF). Cada una de ellas se gestiona de manera individual aunque luego tengan comunicación entre sí, y albergan procesos productivos diferentes: la línea de parches y la prensa de estampación en caliente pertenecen a la FF1, las máquinas de corte por láser a la FF2 y, pertenecen a la FF3, las líneas de ensamblaje de soldadura por puntos, de soldadura de cordón MAG y la línea de tuercas.

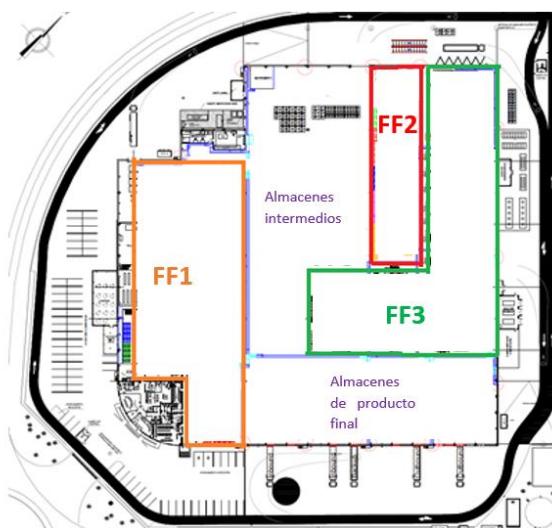


Ilustración 3: Distribución de las Focus Factory en la planta

Pilar A y Pilar B parten de una chapa plana con una preforma realizada por el proveedor, denominada “blank”, que se moldea en la prensa para luego cortarse y/o ensamblarse. Por otro lado, las partes del IP-Beam llegan por separado con la geometría ya definida y únicamente se ensamblan entre sí.

2.2.1. Línea de parches

Su finalidad es ensamblar mediante soldadura por puntos una serie de parches en zonas críticas del “blank”. Es una línea automatizada con escasa intervención humana. Tan solo las piezas del Pilar A de Volkswagen pasan por este proceso y es en esta línea donde comienza su flujo de producción.

2.2.2. Prensa de estampación en caliente

Está compuesta por un horno, en el cual se calientan las piezas, y una prensa para su posterior conformado en caliente. Las únicas operaciones que requieren de operario manuales del proceso son: la colocación del pallet en la entrada de la prensa y la colocación de las piezas prensadas en el contenedor, al final de la prensa. Junto a las máquinas de corte por láser, son los dos únicos procesos por los cuales pasan todas las piezas.

2.2.3. Máquinas de corte láser

Tras la estampación en la prensa, las piezas se cortan para adquirir la geometría requerida por el cliente, este proceso se realiza en las máquinas de corte por láser. El posicionamiento de las piezas en la mesa de corte la comprobación tras el corte mediante un Poka-Yoke y la colocación en el contenedor de producto cortado son actividades manuales.

Este proceso es el último para los Pilares A y B de la marca Seat, los cuales, una vez cortados ya están listos para enviarlos al cliente.

2.2.4. Línea de tuercas

En esta línea se procesan dos piezas no mencionadas anteriormente: el refuerzo previamente embutido y cortado a láser, y una pieza galvanizada que se adquiere al proveedor con la geometría final deseada. En esta línea se sueldan una o tres tuercas a cada pieza.

2.2.5. Línea de ensamblaje de pilares

Esta línea está dividida en cuatro secciones: dos de ensamble de Pilar A (una de derecho y otra de izquierdo) y otras dos de Pilar B (una de derecho y otra de izquierdo). Los únicos pilares que deben ser ensamblados son los de la marca Volkswagen. A pesar de ser predominante la automatización en estas líneas (soldaduras automáticas) la carga y descarga de componentes es manual.

2.2.6. Línea de ensamble de IP-Beam y línea de soldadura MAG

Son dos líneas enlazadas entre sí: las celdas de ensamblaje y la estación de retrabajo. Entre estas dos líneas no hay almacenes intermedios excepto los requeridos por el diseño de las celdas (no más de 10 piezas). Los IP-Beam pasan por diferentes celdas de ensamble en las que se les sueldan diversos componentes, estas celdas son distintas según el lado en el que esté el volante y según el cliente. En cuanto han sido ensamblados, pasan por una estación de retrabajo, donde se comprueba que todos los cordones de soldadura se han realizado correctamente: si faltan cordones, deben realizarse manualmente, y si la pieza tiene cordones en lugares inadecuados, se declara chatarra.

3. Análisis de la situación actual y problemas encontrados

El primer paso es realizar un diagnóstico de la situación actual y detectar posibles problemas y debilidades del sistema actual de gestión del flujo productivo.

La planta inició su actividad hace poco más de un año. Durante este periodo, el objetivo ha sido dominar los procesos y los equipos. Es a partir de este momento, que el departamento de mejora continua propone proyectos para mejorar la gestión de la producción y evitar despilfarros. Uno de los principales despilfarros es disminuir la gran cantidad de productos en curso que hay en la planta.

Este proyecto estudia la gestión del flujo de materiales para el Pilar A y el Pilar B, ya que el proceso productivo de ambos está diseñado para trabajar contra almacenes intermedios. El otro tipo de producto, IP Beam, sólo tiene almacén de materia prima y de producto final, por lo que su gestión es más sencilla y ya tiene establecido el control adecuado.

Es necesario mencionar que los datos representados en la presente memoria no son reales, y han sido ponderados con un coeficiente "X" o se ha modificado su nombre para no vulnerar el acuerdo de privacidad firmado con la empresa.

3.1. Fluctuaciones en la línea productiva

El hecho de que la planta esté en una etapa de rodaje provoca que algunos de los equipos tengan OEE (eficiencia) bajos y fluctuantes. En este momento, las fluctuaciones de un proceso/equipo repercuten en los procesos aguas abajo, lo que conlleva tomar medidas adicionales y gastos imprevistos.

La principal causa de estas fluctuaciones es la desviación de tiempos cuando hay un cambio de matriz en la prensa y dura más de lo estipulado. En este caso, la prensa no

produce en cantidad y tiempo, bajando su OEE. El proceso siguiente a la prensa son las máquinas láser que, aunque tengan un OEE muy estable y controlado, debido a que no les llegan componentes, no pueden seguir trabajando. Eso provoca, al ser un proceso en línea, que la línea es tan débil como su peor de los eslabones.

La falta de componentes en la línea debido a que el cambio de matriz en la prensa se ha alargado más de lo debido se reproduce en bastantes ocasiones, siendo la mayor causa de paradas en la línea, tal y como se puede ver en la Ilustración 4. Este hecho provoca cierto temor a que la línea se quede desabastecida, y por ello, la prensa trabaja en forma “push” contra almacén intermedio, intentando hacer el menor número posible de cambios de matriz.

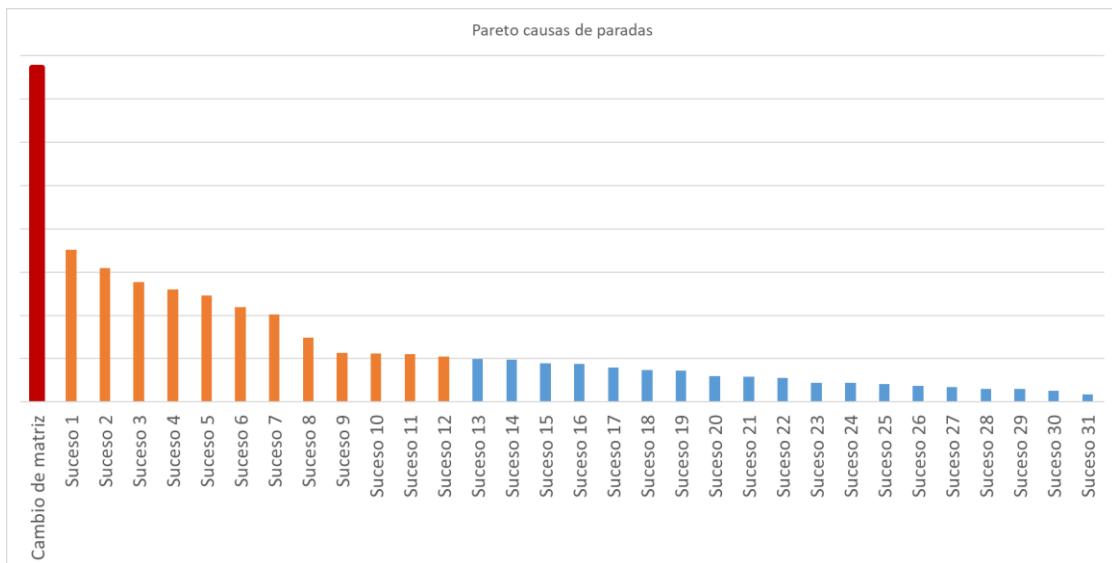


Ilustración 4 : Pareto de causas de paradas en la prensa

En la Ilustración 5 se presentan dos semanas en las que se produjo un descenso del OEE de la prensa y dos soluciones diferentes de cómo afrontar este problema.

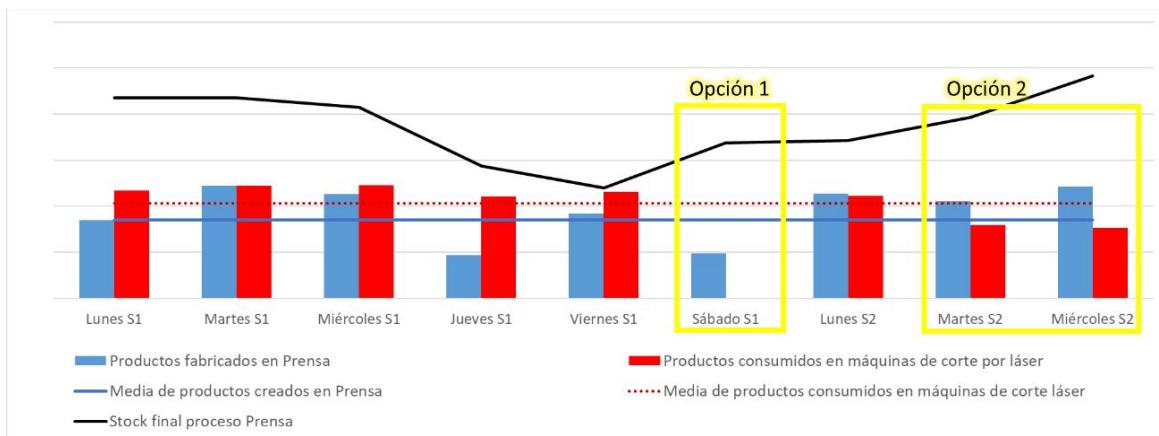


Ilustración 5 : Variación de stock de producto final de Prensa

En general, durante las 2 semanas se observa que la media de producción de la prensa está por debajo de la media de producción del láser.

El jueves de la primera semana (Jueves S1) se produce un problema en un cambio de matriz en la prensa, lo que provoca durante el jueves y el viernes un descenso en su producción no previsto. Por ello, se decide realizar horas extra el sábado (Opción 1: gastos imprevistos) y así recuperar parte del inventario del que se alimentan las máquinas láser.

En la segunda semana, aunque la prensa trabaja a su ritmo habitual, no es suficiente para alimentar a los láseres según su OEE. Por ello se toma la decisión de parar varias máquinas láser (Opción 2: medidas adicionales).

Como conclusión, se puede decir que el stock intermedio entre estos dos procesos hace de colchón entre dos procesos desacoplados sobre todo por la falta de eficiencia del primero de ellos. Esto provoca que se intente trabajar con el menor número de cambios en la prensa como método para disminuir las ineficiencias, aunque suponga stocks intermedios muy elevados.

3.2. Falta de contenedores

La forma de transportar las diferentes referencias por la planta es introduciéndolas en contenedores, cada uno con su correspondiente tarjeta Kanban. Hay varios tipos de contenedores en función de la referencia que vayan a transportar. El número de piezas en cada contenedor (NPK) varía dependiendo del tipo de este y del proceso al que se haya sometido la pieza.

En ocasiones, debido a la gran cantidad de producto en curso, todo colocado en su contenedor correspondiente, no hay contenedores vacíos en la fábrica y tanto la prensa como el láser no pueden seguir fabricando porque no hay un elemento donde dejar el producto procesado.

La gravedad de este problema queda reflejada en las causas de paradas de línea, tal y como se puede ver en la Ilustración 6, ocupando la cuarta posición en causa de parada de la línea. El proceso en el que más repercute es en las máquinas láser, ya que la prensa emplea primero los contenedores por lo que cuando se va a producir en las máquinas láser no hay suficientes.



Ilustración 6: Gráfico de Pareto de los sucesos que originan paros en la línea

Es necesario discernir si la causa de este problema es la falta física de contenedores o la mala distribución de los mismos. En ambos casos, es conveniente definir la cantidad necesaria de contenedores para cada tipo de proceso y referencia. Así, un adecuado diseño de los almacenes intermedios eliminaría este suceso, reduciendo las paradas de la línea lo que aumentaría el OEE de la misma y, por tanto, su capacidad.

3.3. Exceso de flujo de información

Otro de los problemas, relacionado con las fluctuaciones en la línea productiva, es la cantidad de información que se modifica y circula por la planta. Cada día se revisan y anotan los inventarios de productos entre procesos y, en función de las cantidades de estos, se generan órdenes de producción individuales.

Aunque parezca un problema menor, el excesivo flujo de información, genera malentendidos y constantes cambios en el proceso lo que complica más la gestión diaria de la producción.

Por ejemplo, una de las consecuencias más habitual debida a este problema, es la realización de cambios de matriz/utilaje muy seguidos, sin llegar a realizar la serie mínima rentable de producción. Estos cambios no planificados provocan desperdicios de tiempo en la línea que acaban repercutiendo en el OEE de la misma y, en definitiva, en su capacidad.

4. Elección del método de gestión

Establecida la necesidad de un cambio en el método de gestión, el siguiente paso es decidir cuál es el método que mejor encaja con los procesos existentes en la planta, así como con los requerimientos de cliente.

El primer paso consiste en escoger el principio productivo más adecuado entre “make to order” (partiendo de inventario cero, realizar únicamente el pedido del cliente) o “make to stock” (se parte de un stock que asegura la entrega de producto al cliente). El primer principio implica que se conoce el pedido exacto con la suficiente antelación como para producirlo y enviarlo al cliente antes de la fecha de entrega. En caso de no cumplirse estas condiciones se optará por el segundo principio.

Otro punto a tener en cuenta es la estabilidad de la demanda del cliente. Si el proceso de producción puede absorber las fluctuaciones de la demanda, se podrá implementar el denominado “Consumption Control” puro. Cuando el proceso no sea capaz, por ejemplo debido a la gran variación entre pedidos, proceso de producción o preproducción poco flexible..., se debe realizar una nivelación de las órdenes de producción..

En la Ilustración 6 se recogen los diversos caminos a seguir para cada método de gestión de la producción.

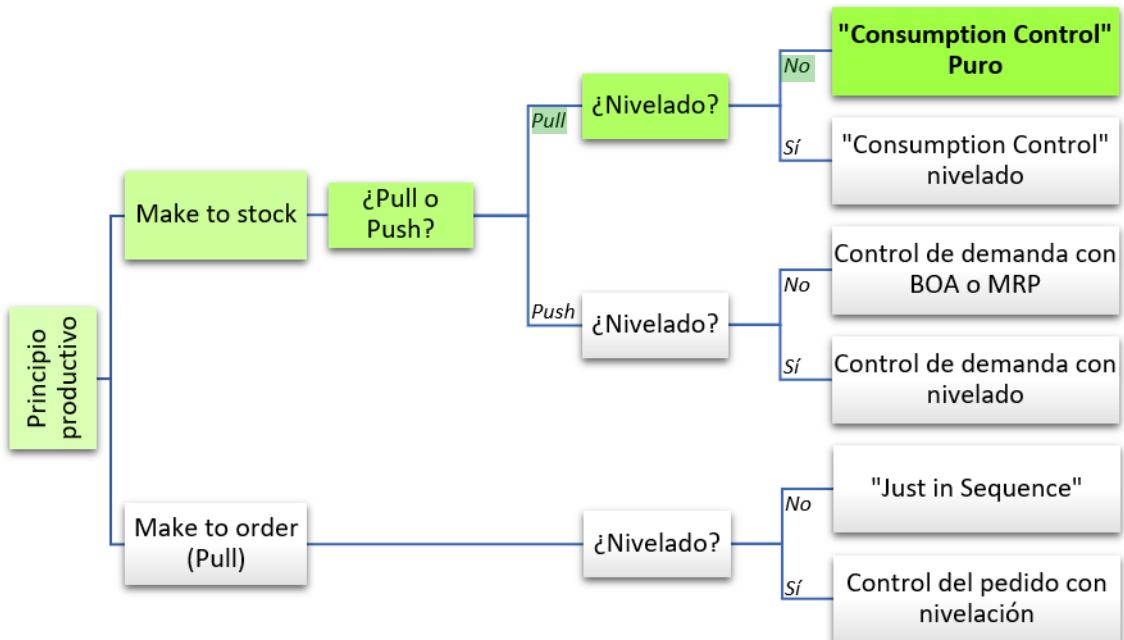


Ilustración 7 : Flujo selección de control de la producción

Por todo esto, uno de los pasos más importantes es el análisis de la demanda, ya que la elección del método de gestión depende directamente de cómo sean los pedidos de nuestros clientes.

4.1. Análisis del comportamiento de la demanda

El primer paso en el análisis de la demanda es determinar la periodicidad con la que el cliente realiza los pedidos y el tiempo desde que realiza el pedido hasta que se entrega (lead time de cliente). También hay que comparar este intervalo de tiempo con el tiempo mínimo de proceso necesario para producir todo lo demandado (lead time de fabricante).

Actualmente, la demanda se realiza semanalmente, el cliente confirma el pedido exacto el jueves para la semana próxima. Por ello, se define el periodo de planificación como una semana, y se establece el jueves como el día de planificación.

Por otro lado, el pedido no se envía todo de vez, si no que se distribuye a lo largo de la semana en lotes similares, siendo el viernes la última entrega. Con todo esto, el principio productivo empleado es **“make to stock”**, ya que partiendo de inventario cero, los tiempos de reposición de los distintos procesos son demasiado elevados como para asegurar el suministro continuo de demanda a lo largo de la semana.

El siguiente punto a analizar son las fluctuaciones en los pedidos. Este análisis se basa en los datos del histórico del último año. El periodo no es mayor ya que la demanda aún no era estable.

En la Ilustración 7 se pueden ver las fluctuaciones en los pedidos semanales; la Tabla 1 recoge los datos numéricos de interés de éstas.

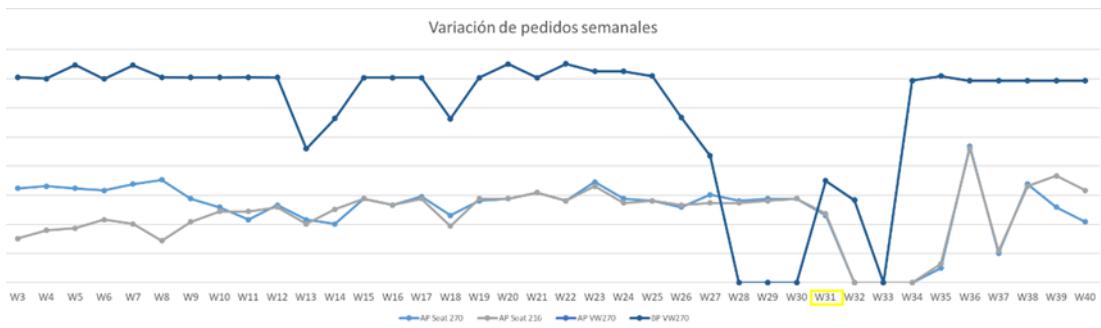


Ilustración 8 : Variación de pedidos semanales por cliente y modelo

Demanda semanal							
Marca y modelo	Cantidad diseño (uds.)	Media (uds.)	Percentil dentro de diseño	Máximo (uds.)	Fluctuación por encima	Mínimo (uds.)	Fluctuación por debajo
Seat	Modelo 1	1500	70%	2340	56%	1275	15%
	Modelo 2	1500	70%	2304	56%	1275	15%
Volkswagen	3500	2948	49%	3760	7%	2310	34%

Tabla 1 : Datos de demanda según marca y modelo

“Cantidad diseño” especifica la cantidad de coches completos que forman el mix de producción para el cual se diseñó la capacidad de las líneas. Eso quiere decir que la capacidad máxima de las líneas es una producción de 20.000 piezas (4 por cada coche de Volkswagen y dos más por cada modelo de Seat).

Como se puede observar, la media del histórico de pedidos es menor al valor de “Cantidad diseño”, es decir, la capacidad de la línea es suficiente para satisfacer la demanda del cliente.

La columna “Percentil dentro de diseño” recoge el porcentaje de pedidos semanales que ha estado por debajo o ha sido igual al valor de “Cantidad diseño”.

El máximo y el mínimo son los pedidos límite que se han realizado, junto a ellos se ha calculado el porcentaje que dichos límites superan o son superados por el valor de “Cantidad diseño”.

En definitiva, tras este análisis se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- Los pedidos se conocen antes del día de planificación, lo que supone que si hay fluctuaciones éstas son conocidas con la suficiente antelación, por lo que no es necesario realizar una nivelación de los pedidos.
- En los pedidos de Seat, predominan los valores por debajo de la demanda de diseño, que como máximo distan de ella un 15%.
- En los pedidos de Volkswagen, predominan los valores por encima de la demanda de diseño, que como máximo distan de ella un 7%.
- Las fluctuaciones son asumibles, los procesos están diseñados con una capacidad suficiente para absorber los picos de los pedidos.

En conclusión, según los datos de la demanda, las características del proceso productivo y las necesidades de gestión de la empresa el método seleccionado será el denominado “Consumption Control” puro, a partir de este momento Consumption Control, CC.

5. Características y etapas para la implementación del “Consumption Control”

El “Consumption Control” o CC es un método para implementar el sistema Pull. Se establece un ciclo de producción cerrado, cuyo control depende del cliente y la cantidad de producto que retira del almacén final.

5.1. Características y elementos del “Consumption Control”

En este tipo de gestión se divide la línea productiva en varios ciclos de control, los cuales tienen como elemento de gestión un almacén de tipo supermercado. Este tipo de almacén es característica de este método y no hay cabida en él la gestión de la línea de producción con otro tipo de almacén.

El almacén de tipo supermercado (SM) contiene una cantidad definida de stock de los productos del proceso y no se realiza una reposición hasta que no se produce una retirada por parte del cliente.

Es necesario distinguir entre “cliente” y “cliente final”: hablaremos de “cliente final” cuando nos refiramos a Seat y Volkswagen, mientras que reservaremos el término “cliente” al proceso que retira elementos del almacén SM. La Ilustración 9 representa un ciclo de control en el cual el Proceso 1 suministra al almacén y es el Proceso 2 el que retira producto para transformarlo. El Proceso 2 es el cliente de ese ciclo de control.

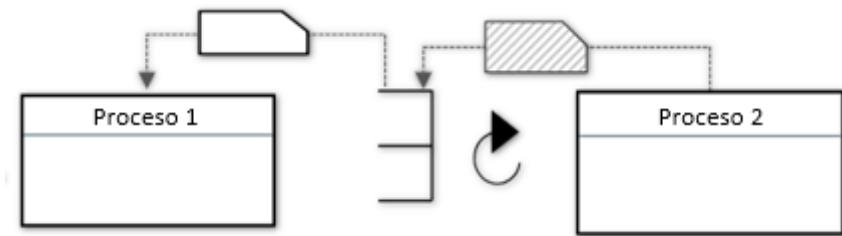


Ilustración 9 : Ciclo de control

Este sistema de control no solo es el que mejor se adecúa a las características y objetivos de la planta, también proporciona ciertas ventajas sobre otros métodos:

- Asegura la capacidad de entrega: desvío definido del flujo del material a través de un almacén SM (siempre con existencias disponibles).
- Cumplimiento del principio “Pull”: no se produce hasta que el cliente no retira producto del almacén SM (evita la superproducción y acumulación de stock).
- Estandarización y claridad: una vez diseñado, el sistema está autocontrolado, reduciendo el esfuerzo de seguimiento. Además, el método de control de inventario es sencillo y fácil de usar cuando se conoce y, admite la gestión de posibles desviaciones.

La implementación de este método conlleva una serie de pasos, que finalizan con la determinación del número de tarjetas Kanban en circulación en el ciclo de control definido. En cada uno de ellos se analizan y extraen una serie de conclusiones a través de las cuales se diseñará un tipo u otro de control.

5.2. Etapas para la implementación del método CC

5.2.1. Análisis del comportamiento de la demanda y periodo de planificación

Estos primeros pasos ya quedaron resueltos en el análisis de comportamiento de la demanda empleado en el capítulo 4. *Elección del método de gestión*.

El principal objetivo de este análisis es determinar el tipo de fluctuaciones que se producen en los pedidos del cliente y las características de las mismas (periodicidad y

amplitud). Como norma general, hay dos tipos de fluctuaciones: las planificadas (conocidas antes del día de planificación) y las no planificadas. Las primeras deben considerarse en el cálculo normal del número de tarjetas Kanban, mientras que las no planificadas deben considerarse, además de en el cálculo normal, dentro de un factor de seguridad.

En el caso de que las fluctuaciones no planificadas afecten solo a los productos secundarios, no es necesario realizar un análisis de comportamiento y no influirán en el ciclo excepto en la cantidad a producir. Sin embargo, si las fluctuaciones no planificadas de un producto secundario influyen en uno principal, el secundario debe considerarse como principal, con todas sus consecuencias.

El periodo de planificación es el lapso de tiempo sobre el que se van a planificar las diferentes necesidades de producción, depende del cliente y, además, se debe designar un día de planificación en el que se organizará dicha producción.

El periodo comprendido entre el momento de la planificación y el comienzo del siguiente período que se planifica, debe ser mayor que el tiempo de reposición del proceso para garantizar el ajuste del número de tarjetas Kanban (antes del siguiente período). Un cambio en el número de tarjetas Kanban solo afecta unos días después al stock del almacén SM. Mediante un ajuste apropiado antes del periodo siguiente, se evita un exceso o insuficiencia de capacidad.

5.2.2. OEE de cada proceso

Mediante un estudio de la variación del OEE en cada proceso implicado en la fabricación, se establece el OEE medio que se empleará en el cálculo del número de tarjetas Kanban. Además, se determinarán los procesos más y menos estables, consideraciones relevantes también a la hora de calcular factores de seguridad.

5.2.3. Diferenciación entre productos principales y secundarios

Para que un producto sea considerado como principal, el tiempo que se emplea en su fabricación debe rondar el 90% del tiempo total planificado; el resto serán considerados productos secundarios. La producción de un producto principal debe fraccionarse, para no tener grandes tiradas y mejorar la flexibilidad del sistema.

Por otro lado, hay dos opciones para el control de los productos secundarios:

- Realizar comprobaciones de inventario manuales y añadirlos al ciclo cuando sea necesario y posible. La ventaja de esta opción es la facilidad de control, pero la incorporación manual en el ciclo aumenta el tiempo de reposición del resto de productos de manera no calculada.

- Realizar el diseño de manera que el conjunto de productos secundarios se incorpore como un único producto principal “x” y que, a través de una gestión manual, se escoja el tipo de producto secundario que debe entrar a producir en el turno de ese producto “x”.

5.2.4. Definir ciclo cerrado a controlar

La característica principal del ciclo debe ser que el principio y el final sea el almacén SM del cual el cliente retire el producto fabricado. Este almacén SM regula el flujo a través de todo el ciclo, el cual puede contener tantos procesos y elementos intermedios como se quiera. Una vez definido el ciclo es necesario conocer las relaciones existentes u objetivo entre los distintos elementos.

Cálculo de la capacidad disponible

Para obtener la mayor flexibilidad posible en la línea, los cambios de referencia deben estar controlados y estables. Este sistema ayuda a mantener e incluso mejorar dicha estabilidad y control. Para tener controlados los cambios se debe realizar un análisis de la capacidad de cada proceso y establecer el máximo número de cambios posibles y, en función de ellos, las posibles particiones del producto (tamaño de lote).

El número de cambios se calcula a través del tiempo disponible para los mismos. Tanto este tiempo como el resto de los tiempos que se deben de calcular al realizar el análisis de capacidad, dependen del tipo de proceso, pero se obtiene una distribución similar a la de la *Ilustración 8*.

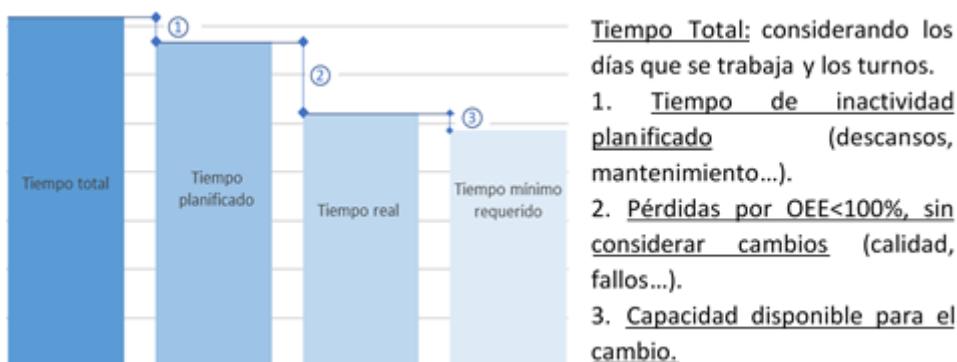


Ilustración 10 : Distribución de tiempos y pérdidas en un proceso

Cálculo del tamaño de lote

El tamaño de lote se entiende como la serie mínima rentable a producir tras un cambio de referencia. El cálculo del tamaño de lote (LS) se determina a partir de una fórmula, sin embargo, antes de aplicarla hay que recopilar una serie de información que influirá en el resultado final:

- Conocer la cantidad de piezas en cada tarjeta Kanban (NPK) según la referencia y el cliente.
- Analizar los posibles fallos durante el proceso recogidos en la disminución del OEE.
- Analizar la cantidad y repercusión de los cambios de referencia en los productos secundarios.

Hay varias maneras de calcular el tamaño de lote, las más comunes son: cálculo suponiendo que el tamaño de lote es el mismo para todos los productos principales o cálculo del tamaño de lote suponiendo que el número de cambios es el mismo en todas las referencias. No obstante, hay más posibles maneras de calcular el lote según la complejidad del proceso estudiado.

Fórmula para el cálculo de Kanban

El número de Kanban se calcula mediante una fórmula que muestra el efecto de varios factores que influyen en el ciclo de producción:

$$K = RE + LO + WI + SA$$

Antes de especificar el significado de cada uno de esos factores, es necesario comprender con claridad a qué se refiere cuando se habla del tiempo de reposición, es específico de cada ciclo y determinará en gran medida las características del mismo.

Tiempo de reposición

El tiempo de reposición designa el tiempo desde el momento de la extracción de un Kanban del almacén SM hasta el momento en el que exactamente llega el mismo de vuelta al almacén SM, excluyendo el tiempo para la construcción del tamaño de lote.

Está compuesto por 6 tiempos diferentes que recorren el ciclo de producción:

- RT₁: tiempo entre la retirada del almacén SM y la llegada a la zona de espera de Kanban.
- RT₂: tiempo que permanece en la zona de espera de Kanban (depende de las referencias que tenga por delante para la producción).
- RT₃: tiempo de preparación de material antes de entrar en el proceso.
- RT₄: tiempo que se tarde en realizar el cambio de referencia (considerado desde la última pieza buena de la referencia anterior hasta la primera pieza buena de la referencia que entra).

- RT_5 : tiempo teórico de producción de 1 Kanban considera el tiempo empleado en controles de calidad, si son necesarios:

$$RT_5 = NPK \cdot \text{Tiempo de ciclo}$$

- RT_6 : tiempo de transporte desde el final de la línea hasta el almacén SM.

La suma de estos tiempos proporciona el Tiempo de reposición (RT_{loop}). Es importante que este tiempo de reposición sea menor que el periodo de planificación que se haya considerado; de no serlo, se deberá recalcular el período.

Factor RE

Este factor cubre la demanda de tarjetas Kanban durante el tiempo de reposición, siempre que la retirada se realice de acuerdo con el Takt Time (TT); es decir, retiradas constantes en las que no se produzcan fluctuaciones.

$$RE = \frac{RT_{loop}}{TT \cdot NPK}$$

$$\text{Con TT calculado como: } TT = \frac{\text{Tiempo planificado}}{\text{Demanda}}$$

El Takt Time es el ritmo de producción que debe tener un proceso para satisfacer la demanda del cliente, considera el lapso de tiempo entre el inicio de producción de una unidad y el inicio de producción de la siguiente. Con un tiempo de ciclo superior al TT no se producirá lo suficiente para cumplir con los pedidos

Factor LO

Este factor cubre la demanda de tarjetas Kanban durante el tiempo que conlleve la fabricación de un lote completo, sin considerar el tiempo de reposición, siempre que la retirada se realice de acuerdo con el Takt Time; es decir, retiradas constantes en las que no se produzcan fluctuaciones.

$$LO = \frac{LS}{NPK} - 1$$

Factor WI

Este factor cuantifica el hecho de que la retirada del cliente se realice más rápido que lo establecido por el Takt Time (se necesitan más tarjetas Kanban). En este procedimiento, RE y LO ya están incluidos y, por lo tanto, deben deducirse.

$$WI = \frac{WA}{NPK} - RE - LO$$

- WA : es la cantidad máxima de contenedores retirada por el cliente (dentro de las previsiones planificadas) durante el tiempo de reposición.

$$WA = \frac{\text{Demanda máx. semanal}}{7200 \text{ min/semana}} \cdot RT_{LOOP}$$

Puede darse el caso de que, en tiempo de reposición largos WI sea negativo, no hay que considerarlo como tal, sino como cero.

Factor SA

Es el factor de seguridad, añade Kanban a los calculados con el resto de los factores para cubrir tanto la necesidad en el proceso como en el almacén SM.

Se diferencian dos tipos de factores de seguridad y, dentro de los mismos, dos posibles circunstancias, aunque solo se puede dar una de las dos. La Tabla 2 recoge los distintos supuestos:

	<i>Repercute como más stock en el almacén SM</i>	<i>Repercute como Kanban extra en el proceso</i>
<i>Relacionado con el proceso</i>	<p>SA_{1SUP}</p> <p>Debido a variaciones del OEE por debajo de lo establecido, se produce menos de lo planificado.</p> <p>Basándose en los datos de históricos, se determina la máxima variación negativa de OEE durante el tiempo de reposición.</p> <p>SA_{1sup} se calcula como la parte proporcional adicional de Kanban que se debe producir para cubrir dicha variación negativa de OEE.</p>	<p>SA_{1PROCESS}</p> <p>Debido a variaciones del OEE por encima de lo establecido, se produce más de lo planificado.</p> <p>Basándose en los datos de históricos, se determina la máxima variación positiva de OEE durante el tiempo de reposición.</p> <p>SA_{1process} se calcula como la parte proporcional adicional circulante de Kanban debido a dicho incremento de OEE.</p>
<i>Relacionado con el cliente</i>	<p>SA_{2SUP}</p> <p>Debido a fluctuaciones en el pedido por encima de lo establecido, el cliente retira más de lo planificado.</p> $SA_{2SUP} = WA \cdot \Delta(+)$ <p>- $\Delta(+)$: incremento del pedido en el tiempo de reposición debido a las fluctuaciones.</p>	<p>SA_{2PROCESS}</p> <p>Debido a fluctuaciones en el pedido por debajo de lo establecido, el cliente retira menos de lo planificado.</p> $SA_{2SUP} = WA \cdot \Delta(-)$ <p>- $\Delta(-)$: decremento del pedido en el tiempo de reposición debido a las fluctuaciones.</p>

Tabla 2 : Tipos de factores de seguridad

Con todo, al final los riesgos quedarán cubiertos por SA, obtenido como:

$$SA = SA_1 + SA_2$$

5.2.5. Reglas de gestión

Tras establecer el número de tarjetas Kanban en circulación en cada ciclo (número de contenedores en el almacén SM), deben establecerse las reglas que regirán el sistema.

Por un lado, se establecerán, en cada almacén SM, unos límites de contenedores llenos que darán comienzo o pondrán fin a la producción de una referencia:

- Máximo posible: por encima del cual no se podrán incluir más contenedores llenos al almacén.
- Mínimo posible: es el valor que marca el inicio de un ciclo de producción (señal interna que inicia la producción del tipo de referencia).

Estos límites son característicos de la planta productiva y los procesos que alberga, por lo que no tienen una única manera de calcularse. Usualmente, el máximo es el valor de tarjetas Kanban que se ha obtenido de la fórmula, mientras que el mínimo depende de los tiempos de reposición y fluctuaciones que sufra la línea.

Por otro lado, se deben desarrollar reglas heurísticas que contemplen todas las casuísticas posibles y den prioridad a una serie de circunstancias o referencias.

5.2.6. Preparar para la implementación

Antes de comenzar la implementación del “Consumption Control” se deben tener una serie de cuestiones aseguradas: estándares definidos y validados, equipos preparados y “Layout” marcado y organizado, ciclo de producción definido y estable y stock un stock inicial en el almacén SM.

El stock inicial debe considerar: la demanda que el cliente requiere durante el período de reposición (siguiendo el TT) y el factor de seguridad que se refiere al aumento de Kanban en el almacén SM. A este valor se le debe descontar el número de Kanban que ya estén en el proceso.

$$\text{Stock inicial} = \text{demanda cliente durante RTloop} - Kprocess + SA_{1sup} + SA_{2sup}$$

Con este Stock inicial se pretenden evitar posibles problemas en el arranque de la línea. Como existen desacoplamientos entre los diferentes procesos se debe asegurar un stock inicial suficiente para evitar paradas de línea.

A partir de aquí, se pueden realizar simulaciones, considerando diversas circunstancias que puedan ocurrir (paros de línea no planificados, eficiencias por debajo o por encima de lo estimado, cambios de referencia más lentos...), para determinar si con las consideraciones y cálculos realizados el sistema diseñado es capaz.

6. Análisis general de la línea de producción

Antes de dividir la planta productiva en los diferentes ciclos a estudiar, se realiza un análisis general de la misma para determinar cuantitativamente las fluctuaciones en el OEE de cada proceso y se realiza un pequeño estudio sobre los productos más y menos representativos.

6.1. Variaciones en el OEE de los procesos

Las variaciones producidas en el OEE de algunos procesos son las que hacen necesaria la implementación de un sistema de este tipo para conseguir un control adecuado. Además, estas variaciones afectan directamente en el cálculo del sistema. Por todo ello, es necesario estudiarlas y determinar su profundidad.

De igual manera que se procedió con el análisis de la demanda, se toman los datos del último año.

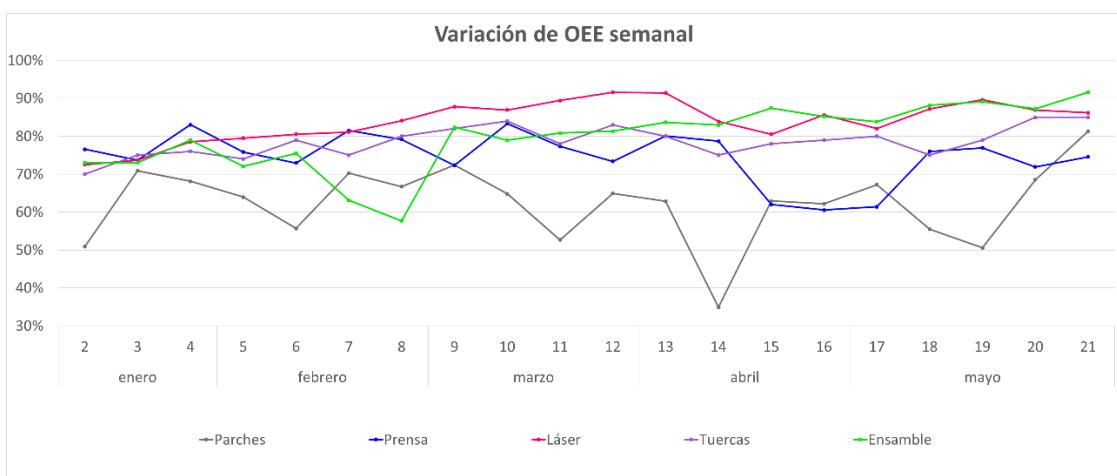


Ilustración 11 : Variación del OEE semanal de cada proceso

Los procesos con el OEE más inestable son la prensa y la línea de parches, pero las razones de dicha inestabilidad son completamente diferentes. Las fluctuaciones del OEE de la prensa se deben a los cambios de matriz, que no tienen un tiempo estable y, normalmente, se tarda más de lo que se debería. Sin embargo, la línea de parches tiene un OEE fluctuante porque es una línea completamente automatizada cuyo ajuste no está del todo perfeccionado y necesita continuos arreglos.

Por otro lado, el proceso más estable y con mayor OEE son las máquinas de corte por láser. A pesar de que también sufren cambios de referencia, estos están más controlados y estandarizados que en la prensa.

La siguiente tabla recoge los máximos, mínimos y la media del OEE en cada proceso.

OEE			
Proceso	Promedio	Máximo	Mínimo
Parches	65%	85%	35%
Prensa	74%	85%	56%
Láser	83%	93%	66%
Tuercas	80%	95%	60%
Ensamble	82%	91%	75%

Tabla 3 : Datos del OEE de cada proceso

6.2. Análisis del producto

Mediante este análisis se pretende establecer el producto o productos más representativos en la línea de producción, así como, discernir los productos principales de los secundarios.

Para realizar el análisis se ha planteado una comparativa de los diferentes productos en la que se considera: el porcentaje que representa la demanda de ese tipo de producto frente al total y el tiempo que permanece dicho producto en los procesos de producción. Los resultados obtenidos se recogen en el siguiente gráfico:

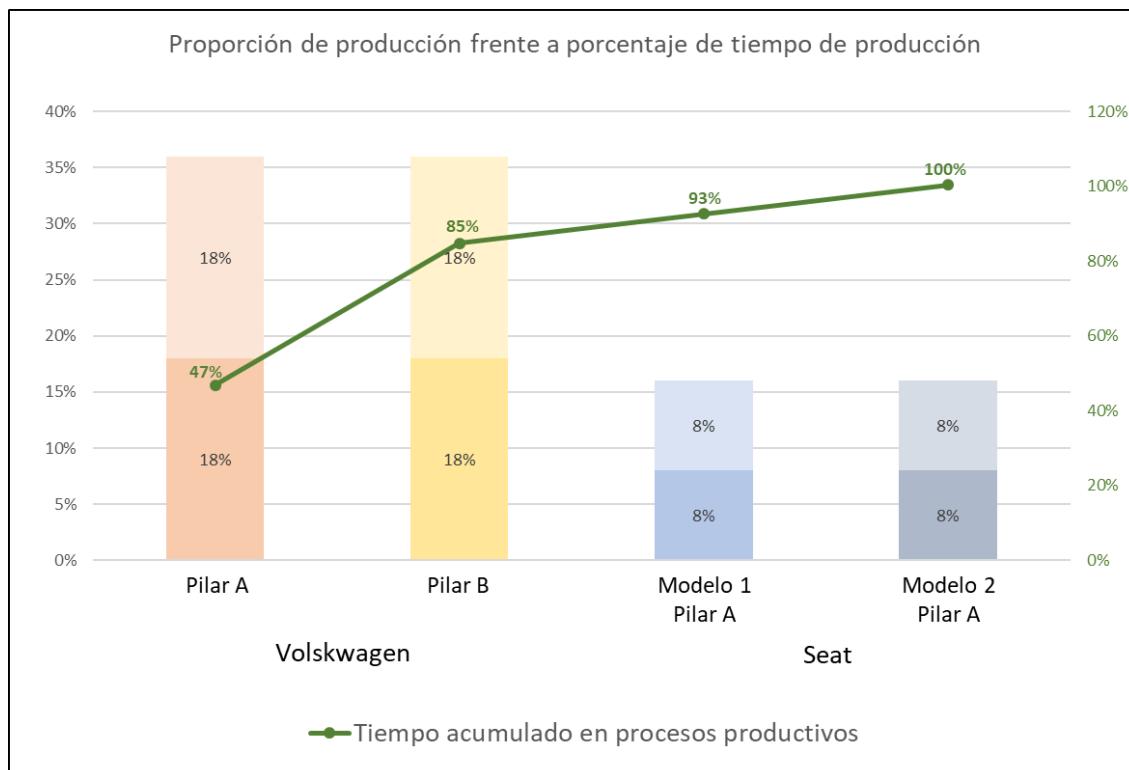


Ilustración 12 : Proporción de demanda frente a porcentaje en tiempo de producción

Se observa que el producto más representativo es el Pilar A de la marca Volskwagen. Por un lado, supera en cantidad a los productos de la marca Seat. Por otro lado, dentro de la marca Volskwagen es el producto que más tiempo pasa en procesos, esto es debido a que su fabricación conlleva un proceso más que el del Pilar B. Sin embargo, no hay suficiente diferencia entre los productos de Volskwagen y los de Seat como para considerar los últimos como productos secundarios, además, su producción interfiere de forma considerable en la de los primeros.

En conclusión, no diferenciaremos entre productos principales o secundarios, por lo que todas las referencias serán tratadas como productos principales.

7. Ciclos de producción y características

A continuación, se definirán los ciclos de producción para los que se diseñarán los almacenes tipo supermercado. Además, se definirán las características de los mismos: relaciones entre procesos, tiempos de reposición y, por último, la cantidad de tarjetas Kanban en circulación en cada uno de ellos.

Antes de calcular el tiempo de reposición y el número de tarjetas Kanban, hay que recopilar datos específicos del ciclo que se está definiendo. Para la recopilación de esos datos se realizan una serie de consideraciones, de las cuales algunas son comunes para todos los ciclos:

- EL número de piezas en cada tarjeta Kanban (NPK) varía en función del proceso y del tipo de contenedor empleado.
- Se toma como el OEE de diseño el promedio del histórico analizado, sumándole la parte proporcional perdida por las paradas durante cambios de referencia, si los hay.

$$OEE \text{ sin cambios} = OEE + \% \text{paradas por cambio}$$

- Para diseñar el sistema con capacidad siempre suficiente, se considera que el OEE está un mayor número de veces por debajo de la cantidad de diseño.
- El tiempo mínimo requerido se calcula como:

$$\text{Tiempo mínimo requerido} = \sum (\text{Demanda semanal} \cdot \text{Tiempo de ciclo})_i$$

- El tiempo total determina la cantidad de minutos trabajados en una semana, considerando el número de equipos empleados (X):

$$\text{Tiempo total} = 1 \text{ semana} \cdot 5 \frac{\text{días}}{\text{semana}} \cdot 3 \frac{\text{turnos}}{\text{día}} \cdot 8 \frac{\text{horas}}{\text{turno}} \cdot 60 \frac{\text{minutos}}{\text{hora}} \cdot X$$

- El tiempo planificado determina los minutos que se trabajan a la semana descontando el tiempo de inactividad planificado.

Tiempo planificado = Tiempo total – Paradas planificadas

- El tiempo real determina los minutos trabajados a la semana considerando las pérdidas derivadas de no conseguir un OEE del 100% (piezas con defectos, controles de calidad, fallos en componentes de la máquina...)

Tiempo real = Tiempo planificado · OEE sin cambios

- La Capacidad disponible para el cambio es el tiempo teórico que se puede emplear en cambios de referencia:

Capacidad disponible para el cambio = Tiempo real – Tiempo mínimo requerido

- Para todos los procesos los tiempos RT1 y RT6 son iguales (10 minutos), esto es debido a que, según un estudio de estandarización, es el tiempo que puede llegar a tardar una carretilla para llevar de un lugar a otro la tarjeta Kanban (contenedor), en función del volumen de trabajo y la distancia a recorrer.
- El tamaño de lote solo deberá calcularse para aquellos procesos que sean de capacidad compartida (con cambios de referencia), para delimitar las tiradas de cada una de las referencias que se produzcan.

7.1. Primer ciclo: línea de parches con prensa

El primer ciclo, representado en la Ilustración 11, es el compuesto por la línea de parches y la prensa: la línea de parches toma del almacén de materia prima (stock sin control) la preforma del pilar A y los parches necesarios para completar la demanda marcada por la prensa. Estos procesos se comunicarán a partir de un almacén tipo supermercado: la prensa retira los productos cuando los necesita y es esta retirada la que produce una orden de fabricación en la línea de parches.

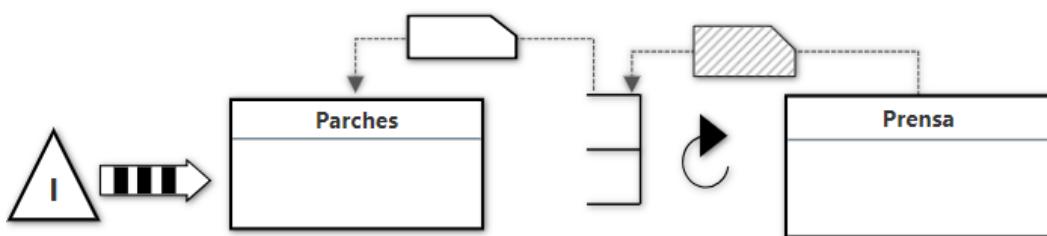


Ilustración 13 : Ciclo Línea de parches-Prensa

El almacén debe estar diseñado en función de las características de la línea de parches, del tiempo de reposición de esta y considerando a la prensa como cliente (su producción determina la demanda semanal).

7.1.1. Características del ciclo en la línea de parches

Paradas planificadas

En esta línea no hay descansos de operarios (está completamente automatizada) y el mantenimiento se realiza durante el fin de semana o en festivos. Es decir, no hay paradas planificadas durante la semana.

OEE

La línea de parches se podría considerar como dos líneas trabajando en paralelo, una para el pilar derecho y otra para el izquierdo; es por esto que no existe cambio de referencia en ella (se trabaja siempre con las mismas). Por lo tanto, el OEE sin cambios será igual al OEE medio (65%).

Tiempo de preparación de material (RT₃)

Otro aspecto a considerar es que la preparación de los pilares y los parches para entrar en la línea se realiza mientras la linea sigue trabajando, ambos se solapan, por lo que el tiempo de preparación se considera cero.

Factor de seguridad específico

En cuanto al cálculo de factores de seguridad, al trabajar únicamente con el cliente Volkswagen, la planificación estará por encima de la cantidad de diseño. Considerando que el tiempo de reposición es de 1,3 horas, el porcentaje consumido por el cliente por encima durante el tiempo de reposición será del 7%.

Sin embargo, en esta línea se produce un hecho especial: la producción semanal no alcanza la demanda del cliente. Este hecho provoca que al factor de seguridad SA_{2SUP} haya que sumarle ese déficit de producción (29%); por lo que $SA_{2SUP} = 7\% + 29\% = 36\%$.

Cálculo de tarjetas Kanban

Todos los resultados derivados de las características de la línea, así como, el tiempo de reposición y la cantidad final de tarjetas Kanban en circulación, se recogen en la *Tabla 4*.

LÍNEA DE PARCHES		
Modelo	Volkswagen Pilar A Right	Volkswagen Pilar A Left
Takt Time (TT)	0,95 min	0,95 min
NPK (pilares en cada pallet)	65,0 unidades	65,0 unidades
Demanda semanal	3780,0 unidades	3780,0 unidades
Demanda semanal	58 tarjetas	58 tarjetas
Demanda enviada diariamente	12 tarjetas	12 tarjetas
Tiempo de ciclo	0,87 min/unidad	0,87 min/unidad
Tiempo minimo requerido	3276,0 min	3276,0 min
Tiempo minimo requerido total	6552,0 min	
Tiempo total	7200,0 min	
Paradas planificadas	0,0 min	
Tiempo planificado	7200,0 min	
OEE sin cambios de matriz	65%	
Tiempo real	4680,0 min	
Tiempo real	4680,0 min	
Piezas finales producidas a la semana	2700,0 unidades	2700,0 unidades
Contenedores finales a la semana	42 tarjetas	42 tarjetas
RT1	10,0 min	10,0 min
RT2	0,0 min	0,0 min
RT3	0,0 min	0,0 min
RT4	0,0 min	0,0 min
RT5	56,3 min	56,3 min
RT6	10,0 min	10,0 min
RTLOOP	76,3 min	76,3 min
RTLOOP	1,3 horas	1,3 horas
RE	1 tarjetas	1 tarjetas
LO	41 tarjetas	41 tarjetas
WA	1 tarjetas	1 tarjetas
WI	0 tarjetas	0 tarjetas
K sin factor de seguridad	42 tarjetas	42 tarjetas
Máxima pérdida acumulada de OEE en el Rtloop	30%	
SA _{1SUP}	5 tarjetas	5 tarjetas
Máximo aumento acumulado de OEE en el		
SA _{1PROCESS}		
Variaciones por encima en la planificación de pedidos de cliente en el RT loop		36%
SA _{2SUP}	0 tarjetas	0 tarjetas
Variaciones por debajo en la planificación de pedidos de cliente en el RT loop		
SA _{2PROCESS}		
SA	6 tarjetas	6 tarjetas
K (número de tarjetas Kanban en circulación)	48	48

Tabla 4 : Cálculo del número de tarjetas Kanban en circulación en la línea de parches

7.2. Segundo ciclo: Prensa-Máquinas de corte por láser

El segundo ciclo a controlar, representado en la Ilustración 12, está compuesto por la prensa y las máquinas de corte por láser: las máquinas de corte por láser retiran los productos del almacén SM entre ambos cuando los necesita y, esa retirada, es la que produce una orden de fabricación en la prensa.

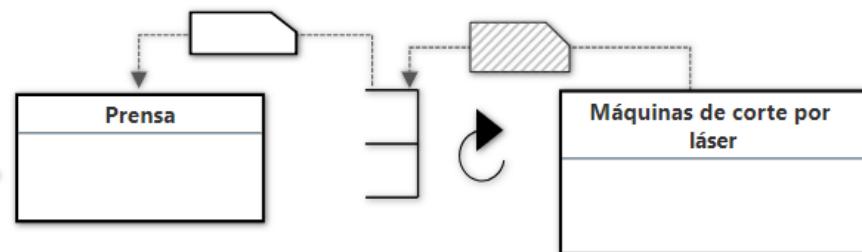


Ilustración 14 : Ciclo Prensa-Máquinas de corte por láser

El almacén debe estar diseñado en función de las características de prensa, del tiempo de reposición de esta y considerando a las máquinas de corte por láser como cliente (su producción determina la demanda semanal).

7.2.1. Características del ciclo en la prensa

Paradas planificadas

Lo primero a definir en esta línea son las paradas planificadas. Por un lado, de igual manera que ocurría en la línea de parches, el mantenimiento se realiza durante el fin de semana o en festivos. Sin embargo, parte de los descansos que realizan los operarios si repercuten en la línea, en concreto repercuten el descanso de 15 minutos por turno (el otro descanso realizado en el turno se compensa con un relevista).

OEE

Otra característica a tener en cuenta son los cambios de referencia y su repercusión en el OEE.

Al ser una línea en la que los cambios de referencia no están estandarizados completamente, estos producen variaciones significativas en el OEE. Es por esto que, no solo se supondrá la media de tiempo que se debe tener parada la prensa para determinar la duración de cada cambio, si no que se empleará ese mismo valor para determinar la reducción en el OEE.

Tras un breve estudio sobre las paradas de la prensa se determina que los cambios de matriz afectan en un 4% al OEE final.

$$OEE \text{ sin cambios} = 74\% + 4\% \rightarrow OEE \text{ sin cambios} = 78\%$$

Matrices

La prensa fabrica un tipo de producto u otro en función de la matriz que tenga acoplada, en este caso la prensa dispone de 3 tipos diferentes de matriz:

- Matriz A: esta matriz fabrica por cada golpe un pilare A derecho y otro izquierdo de la marca Volkswagen.
- Matriz B: en cada golpe fabrica un pilar B derecho, un pilar B izquierdo y dos refuerzos (uno de cada lado y unidos por el centro) de la marca Volkswagen.
- Matriz S: esta matriz, en cada golpe, fabrica una pareja de pilares A (izquierdo y derecho) de cada modelo de la marca Seat, es decir, en cada golpe saca 4 piezas diferentes.

El tiempo de ciclo de cada matriz es específico de la misma, sin embargo, el tiempo de cambio es el mismo para cualquiera de ellas.

En base a esta distribución se calcula un nuevo valor para la demanda expresado como: número de golpes necesarios que debe dar la prensa con cada matriz para obtener la cantidad de piezas del pedido semanal. Es con este valor con el que se va a trabajar en el resto de los cálculos. En la prensa se trabaja por número de golpes, no por cantidad de piezas.

Tamaño de lote y distribución de cambios de matriz

El tamaño de lote en la prensa se entiende como el número mínimo de golpes que se debe dar con una matriz concreta antes de cambiar a otra.

Se ha considerado que todas las matrices sufrirán el mismo número de cambios a la semana y que será el tamaño de lote lo que varíe para cada una.

Primero se determina el número máximo de cambios posibles a la semana:

$$Nº \text{máximo de cambios de matriz} = \frac{\text{Capacidad disponible para el cambio}}{\text{Tiempo por cambio}}$$

A continuación, se escoge la distribución de cambios que se desea llevar a cabo, en este caso 3 por cada matriz (9 en total) y se calcula el tamaño de lote para cada matriz (redondeado a un número entero de tarjetas):

$$\text{Tamaño de lote real} = \frac{\text{Demanda}}{\text{nº de cambios por ref. a la semana}}$$

Por último, se debe comprobar que con los tamaños de lote ajustados se sigue teniendo capacidad disponible para realizar la distribución de cambios escogida:

$$\frac{(\text{Tiempo real} - \sum(\text{Tamaño de lote real} \cdot \text{nº de cambios por ref. a la semana} \cdot \text{Tiempo de ciclo})_i)}{\text{Tiempo por cambio}} \geq 9$$

Tiempo de reposición (RT_{LOOP})

- RT₂: se calcula como la suma del tiempo que tarda en realizarse el lote en las otras dos matrices
 - Ejemplo: RT₂ para el pilar A del modelo 1 de Seat
$$RT_2 = LS_{matriz\ B} \cdot TC_{matriz\ B} + LS_{matriz\ A} \cdot TC_{matriz\ A}$$
- RT₃: al hacer un tipo de cambio denominado “dinámico”, la preparación de los pilares en la entrada del horno se realiza mientras se está produciendo el cambio de matriz; es decir, el tiempo de preparación se puede considerar nulo (se solapa con el tiempo de cambio de matriz)
- RT₄: se toma 42 minutos de tiempo de cambio de matriz

Cálculo de tarjetas Kanban

Todos los resultados derivados de las características de la línea, así como, el tiempo de reposición y la cantidad final de tarjetas Kanban en circulación, se recogen en la *Tabla 5*.

PRENSA																
	Seat				Volkswagen											
	Modelo 1		Modelo 2													
Modelo	Pilar A Left	Pilar A Right	Pilar A Left	Pilar A Right	Pilar A Left	Pilar A Right	Pilar B Left	Pilar B Right	Pilar B refuerzo							
TT	0,87 min		0,77 min		0,81 min											
Nº de matrices	3															
NPK	90 uds.		90 uds.		105 uds.	105 uds.	60 uds.	60 uds.	100 uds.							
Demandas	1512 uds.	1512 uds.	1512 uds.	1512 uds.	3570 uds.	3570 uds.	3540 uds.	3540 uds.	3600 uds.							
Demandas	34 tarjetas		34 tarjetas		34 tarjetas	34 tarjetas	59 tarjetas	59 tarjetas	36 tarjetas							
Demandas enviadas diariamente	7 tarjetas		7 tarjetas		7 tarjetas	7 tarjetas	12 tarjetas	12 tarjetas	7 tarjetas							
Demandas	1530 golpes				3570 golpes		3600 golpes									
Tiempo de Ciclo (TC)	0,60 min/golpe				0,53 min/golpe		0,57 min/golpe									
Tiempo mínimo requerido	918,0 min				1904,0 min		2040,0 min									
Tiempo mínimo requerido total	4862,0 min															
Tiempo total	7200,0 min															
Paradas planificadas	225,0 min															
Tiempo planificado	6975,0 min															
OEE sin cambios de matriz	78%															
Tiempo real	5440,5 min															
Tiempo real menos paros imprevistos	5440,5 min															
Tiempo para cambio	578,5 min															
Tiempo por cambio	42,0 min															
Nº Máx. de cambios por semana	13,8															
Nº de cambios elegido	9															
Nº de cambios por ref. a la semana	3				3		3									
Tamaño de lote ficticio	510 golpes				1190 golpes		1200 golpes									
Tamaño de lote real	540 golpes				1260 golpes		1200 golpes									
Piezas por lote	540 uds.	540 uds.	540 uds.	540 uds.	1260 uds.	1260 uds.	1200 uds.	1200 uds.	1200 uds.							
Contenedores por lote	6,0	6,0	6,0	6,0	12,0	12,0	20,0	20,0	12,0							
Nº de cambios posibles tras	9,8															
RT1	10,0 min	10,0 min	10,0 min	10,0 min	10,0 min	10,0 min	10,0 min	10,0 min	10,0 min							
RT2	1314,7 min	1314,7 min	1314,7 min	1314,7 min	1004,0 min	1004,0 min	996,0 min	996,0 min	996,0 min							
RT3	0,0 min	0,0 min	0,0 min	0,0 min	0,0 min	0,0 min	0,0 min	0,0 min	0,0 min							
RT4	42,0 min	42,0 min	42,0 min	42,0 min	42,0 min	42,0 min	42,0 min	42,0 min	42,0 min							
RT5	54,0 min	54,0 min	54,0 min	54,0 min	56,0 min	56,0 min	34,0 min	34,0 min	34,0 min							
RT6	10,0 min	10,0 min	10,0 min	10,0 min	10,0 min	10,0 min	10,0 min	10,0 min	10,0 min							
RTLOOP	1430,7 min	1430,7 min	1430,7 min	1430,7 min	1122,0 min	1122,0 min	1092,0 min	1092,0 min	1092,0 min							
RTLOOP	23,8 horas	23,8 horas	23,8 horas	23,8 horas	18,7 horas	18,7 horas	18,2 horas	18,2 horas	18,2 horas							
RE	18 tarjetas	18 tarjetas	18 tarjetas	18 tarjetas	14 tarjetas	14 tarjetas	22 tarjetas	22 tarjetas	13 tarjetas							
LO	5 tarjetas	5 tarjetas	5 tarjetas	5 tarjetas	11 tarjetas	11 tarjetas	19 tarjetas	19 tarjetas	11 tarjetas							
WA	10 tarjetas	10 tarjetas	10 tarjetas	10 tarjetas	7 tarjetas	7 tarjetas	13 tarjetas	13 tarjetas	13 tarjetas							
WI	0 tarjetas	0 tarjetas	0 tarjetas	0 tarjetas	0 tarjetas	0 tarjetas	0 tarjetas	0 tarjetas	0 tarjetas							
K sin factor de seguridad	23 tarjetas	23 tarjetas	23 tarjetas	23 tarjetas	25 tarjetas	25 tarjetas	41 tarjetas	41 tarjetas	24 tarjetas							
Máxima pérdida acumulada de OEE	18%															
SA1SUP	2 tarjetas	2 tarjetas	2 tarjetas	2 tarjetas	2 tarjetas	2 tarjetas	3 tarjetas	3 tarjetas	3 tarjetas							
SA1process	Variaciones por encima en la planificación de pedidos de cliente en el RT loop				7% 7% 7% 7% 7%											
SA2SUP	Variaciones por debajo en la planificación de pedidos de cliente en el RT loop				1 tarjetas 1 tarjetas 1 tarjetas 1 tarjetas 1 tarjetas											
SA2PROCESS	15%	15%	15%	15%												
SA	3 tarjetas	3 tarjetas	3 tarjetas	3 tarjetas	2 tarjetas	2 tarjetas	4 tarjetas	4 tarjetas	4 tarjetas							
K (número de tarjetas Kanban en circulación)	27	27	27	27	27	27	46	46	29							

Tabla 5 : Cálculo del número de tarjetas Kanban en circulación en la prensa

7.3. Tercer ciclo: Máquinas de corte por láser-Ensamble

Este ciclo está compuesto por las 6 máquinas de corte por láser y por tres clientes: la línea de ensamble (para el pilar A y el B de Volkswagen), la línea de tuercas (para el refuerzo del pilar B de Volkswagen) y Seat (para los productos de Seat). Las Ilustraciones 13, 14 y 15 representan el ciclo con sus correspondientes clientes.

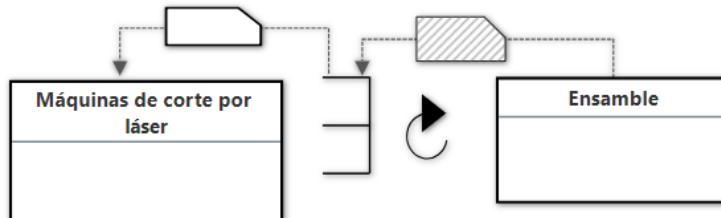


Ilustración 15 : Ciclo Máquinas de corte por láser-Ensamble

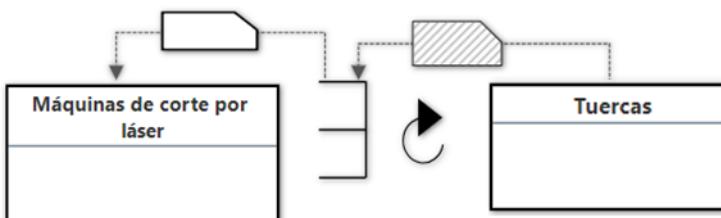


Ilustración 16 : Ciclo Máquinas de corte por láser-Línea de tuercas

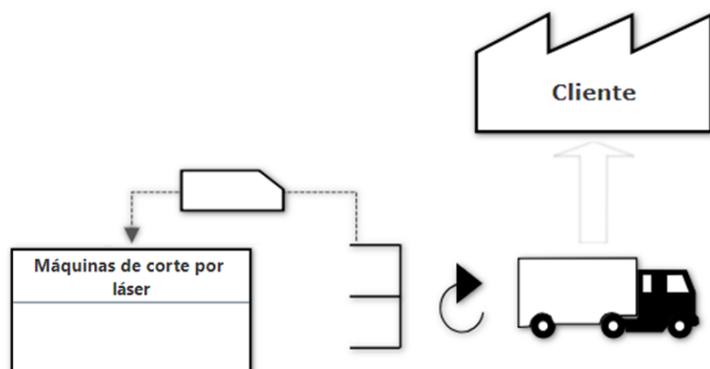


Ilustración 17 : Ciclo Máquinas de corte por láser-Cliente

Físicamente son tres almacenes diferentes pero el funcionamiento del ciclo es similar al del resto: la orden de producción se produce por la retirada de producto del almacén SM y las características de dicho almacén SM dependen de las características de las máquinas de corte por láser.

7.3.1. Características del ciclo en las máquinas de corte por láser

Utilajes

Cada referencia trabajada tiene un par de utilajes disponibles. Cada láser tiene dos mesas de corte, es decir, en cada láser se pueden tener los dos utilajes de una misma referencia o un utilaje de una y otro de otra. El tiempo de cambio de utilaje es el mismo para todas las referencias (42 min) y lo único que cambia entre ellas es el tiempo de ciclo.

Paradas planificadas

Para el funcionamiento óptimo de la máquina de corte por láser, el operario realiza una limpieza de la zona al principio de turno y se somete a un mantenimiento preventivo semanal y mensual. Estas circunstancias junto a los descansos de los operarios son las que generarán las paradas planificadas en la línea.

- Preventivo: para cada máquina de corte por láser se realizan 4 horas cada semana y 2 horas cada mes.

$$\text{Preventivo} = 6 \text{ equipos} \cdot \left(\frac{4 \text{ horas}}{\text{semana}} \cdot \frac{4 \text{ semanas}}{\text{mes}} + \frac{2 \text{ horas}}{\text{mes}} \right) = 108 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}$$
$$\rightarrow \text{Preventivo} = 1620 \frac{\text{minutos}}{\text{semana}}$$

- Descansos: como hay un relevista solo afectan 5 de los 6 descansos realizados

$$\text{Descansos} = 5 \text{ operarios} \cdot \frac{3 \text{ turnos}}{\text{día}} \cdot \frac{5 \text{ días}}{\text{semana}} \cdot \frac{10 \text{ min}}{\text{turno}} = 750 \frac{\text{min}}{\text{semana}}$$

- Limpieza = $6 \text{ equipos} \cdot \frac{3 \text{ turnos}}{\text{día}} \cdot \frac{5 \text{ días}}{\text{semana}} \cdot \frac{10 \text{ min}}{\text{turno}} = 900 \frac{\text{min}}{\text{semana}}$

$$\text{Paradas planificadas} = 1620 + 750 + 900 = 3270 \frac{\text{minutos}}{\text{semana}}$$

Tiempos

Los tiempos referidos como “total” consideran la marcha de los 6 láseres. El único tiempo específico de este proceso es el denominado “Tiempo planificado según la distribución de cambios” que es el que se empleará para el cálculo del Takt Time.

$$\text{Tiempo planificado según distribución cambios} = \frac{\text{Distribución cambios por ref} \cdot \text{Tiempo en hacer un lote}}{\text{OEE sin cambios de utilaje}}$$

OEE sin cambios de utilaje

Es una línea muy estandarizada y constante por lo que estos cambios no son tan significativos como en la prensa. Considerando el tiempo que se tarda en realizar un cambio y la proporción de este frente al resto de paradas, se estima que dichos cambios afectan en un 2% al OEE.

$$\text{OEE sin cambios} = 83\% + 2\% \rightarrow \text{OEE sin cambios} = 85\%$$

Tamaño de lote y distribución de cambios de utilaje

Cuando hablamos de cambio de utilaje en los láseres, nos referimos al cambio en un láser de ambas mesas de corte.

Se ha considerado que todos los utilajes sufrirán el mismo número de cambios a la semana y que será el tamaño de lote lo que varíe para cada referencia.

Primero se determina el número máximo de cambios posibles a la semana:

$$Nº \text{máximo de cambios} = \frac{\text{Capacidad disponible para el cambio}}{\text{Tiempo por cambio}} = 23 \text{ cambios}$$

A continuación, se escoge la distribución de cambios que se desea llevar a cabo, en este caso 2 por cada referencia excepto para el refuerzo del Pilar B que serán 3 cambios (19 en total); esta distribución pretende aprovechar el máximo número de cambios posible. Con esta distribución se calcula el tamaño de lote para cada referencia (redondeado a un número entero de tarjetas Kanban):

$$Tamaño de lote con distribución = \frac{\text{Demanda}}{nº \text{ de cambios por ref. a la semana}}$$

Por último, se debe comprobar que con los tamaños de lote ajustados se sigue teniendo capacidad disponible para realizar la distribución de cambios escogida:

$$\frac{(Tiempo real total - \sum(Tamaño lote distribución \cdot distribución cambios por ref. \cdot Tiempo ciclo)_i)}{Tiempo por cambio} \geq 19$$

Tiempo de reposición (RT_{LOOP})

- RT_2 de la referencia X: partimos del supuesto de que están todas las máquinas de corte por láser ocupadas y la referencia X es la última que ha saltado a producción y tiene por delante las dos referencias de menor tiempo en hacer un lote. Esto quiere decir que como máximo deberá esperar a que acabe la referencia que se esté cortando más rápida, luego que acabe la segunda más rápida y por último cuando acabe la tercera más rápida podrá entrar a cortar. En conclusión, este tiempo será el 5º menor tiempo en hacer un lote (sin considerar el tiempo que tarda la referencia X).
- RT_3 : no hay tiempo de preparación de material ya que nada más realizar el cambio de utilaje se introduce la pieza a cortar.
- RT_4 : se toma 42 minutos de tiempo de cambio de utilaje (ambas mesas de corte de la máquina).

Cálculo de tarjetas Kanban

Todos los resultados derivados de las características de la línea, así como, el tiempo de reposición y la cantidad final de tarjetas Kanban en circulación, se recogen en la *Tabla 6*.

MÁQUINAS DE CORTE POR LÁSER									
	Seat				Volkswagen				
	Modelo 1		Modelo 2						
Modelo	Pilar A Left	Pilar A Right	Pilar A Left	Pilar A Right	Pilar A Left	Pilar A Right	Pilar B Left	Pilar B Right	Pilar B refuerzo
TT	1,7 min	1,7 min	1,7 min	1,7 min	1,6 min	1,6 min	1,7 min	1,7 min	1,5 min
Nº de utilajes	2	2	2	2	2	2	2	2	2
NPK	36 uds.	36 uds.	36 uds.	36 uds.	105 uds.	105 uds.	60 uds.	60 uds.	120 uds.
Demanda	1500 uds.	1500 uds.	1500 uds.	1500 uds.	3507 uds.	3507 uds.	3504 uds.	3504 uds.	3540 uds.
Demandas	42 tarjetas	42 tarjetas	42 tarjetas	42 tarjetas	34 tarjetas	34 tarjetas	59 tarjetas	59 tarjetas	30 tarjetas
Demandas enviadas diariamente	8 tarjetas	8 tarjetas	8 tarjetas	8 tarjetas	7 tarjetas	7 tarjetas	12 tarjetas	12 tarjetas	6 tarjetas
Producción ajustada NPK	1512 uds.	1512 uds.	1512 uds.	1512 uds.	3570 uds.	3570 uds.	3540 uds.	3540 uds.	3600 uds.
Tiempo de ciclo	1,4 min/ud.	1,3 min/ud.							
Tiempo mínimo requerido	2116,8 min	2116,8 min	2116,8 min	2116,8 min	4879,0 min	4879,0 min	5074,0 min	5074,0 min	4560,0 min
Tiempo mínimo requerido total	32933,2 min								
Tiempo total	43200,0 min								
Paradas planificadas	3270,0 min								
Tiempo planificado	39930,0 min								
Tiempo planificado según distribución de cambios	2490,4 min	2490,4 min	2490,4 min	2490,4 min	5740,0 min	5740,0 min	6070,6 min	6070,6 min	5364,7 min
OEE sin cambios de utilaje	85%								
Tiempo real total	33940,5 min								
Capacidad disponible para el cambio	1007,3 min								
Tiempo por cambio	42,0 min								
Nº Máx. de cambios	23,98								
Nº de cambios por semana elegido	19								
Distribución cambios por ref.	2	2	2	2	2	2	2	2	3
Tamaño de lote con distribución	21,0 tarjetas	21,0 tarjetas	21,0 tarjetas	21,0 tarjetas	17,0 tarjetas	17,0 tarjetas	30,0 tarjetas	30,0 tarjetas	10,0 tarjetas
Tiempo en hacer un lote	1058,4 min	1058,4 min	1058,4 min	1058,4 min	2439,5 min	2439,5 min	2580,0 min	2580,0 min	1520,0 min
Tiempo sobrante tras producción	37,3 min								
RT1	10,0 min								
RT2	2439,5 min	2439,5 min	2439,5 min	2439,5 min	1520,0 min	1520,0 min	1520,0 min	1520,0 min	2439,5 min
RT3	0,0 min								
RT4	42,0 min								
RT5	50,4 min	50,4 min	50,4 min	50,4 min	143,5 min	143,5 min	86,0 min	86,0 min	152,0 min
RT6	10,0 min								
RTLOOP	2551,9 min	2551,9 min	2551,9 min	2551,9 min	1725,5 min	1725,5 min	1668,0 min	1668,0 min	2653,5 min
RTLOOP	42,5 horas	42,5 horas	42,5 horas	42,5 horas	28,8 horas	28,8 horas	27,8 horas	27,8 horas	44,2 horas
RE	42,7 tarjetas	42,7 tarjetas	42,7 tarjetas	42,7 tarjetas	10,0 tarjetas	10,0 tarjetas	16,0 tarjetas	16,0 tarjetas	14,6 tarjetas
LO	20,0 tarjetas	20,0 tarjetas	20,0 tarjetas	20,0 tarjetas	16,0 tarjetas	16,0 tarjetas	29,0 tarjetas	29,0 tarjetas	9,0 tarjetas
WA	23,0 tarjetas	23,0 tarjetas	23,0 tarjetas	23,0 tarjetas	8,6 tarjetas	8,6 tarjetas	14,5 tarjetas	14,5 tarjetas	11,5 tarjetas
WI	0,0 tarjetas								
K sin factor	62,7 tarjetas	62,7 tarjetas	62,7 tarjetas	62,7 tarjetas	26,0 tarjetas	26,0 tarjetas	45,0 tarjetas	45,0 tarjetas	23,6 tarjetas
Máxima pérdida acumulada de OEE en el Rloop	24%								
SA1SUP	4,2 tarjetas	4,2 tarjetas	4,2 tarjetas	4,2 tarjetas	2,3 tarjetas	2,3 tarjetas	3,9 tarjetas	3,9 tarjetas	3,1 tarjetas
Máximo aumento acumulado de OEE en el Rloop									
SA1PROCESS									
Variaciones por					14%	14%	14%	14%	14%
SA2SUP					1,2 tarjetas	1,2 tarjetas	2,0 tarjetas	2,0 tarjetas	1,6 tarjetas
Variaciones por	30%	30%	30%	30%					
SA2PROCESS	6,9 tarjetas	6,9 tarjetas	6,9 tarjetas	6,9 tarjetas					
SA	11,1 tarjetas	11,1 tarjetas	11,1 tarjetas	11,1 tarjetas	3,5 tarjetas	3,5 tarjetas	5,9 tarjetas	5,9 tarjetas	4,7 tarjetas
K (número de tarjetas Kanban en circulación)	74	74	74	74	30	30	51	51	29

Tabla 6: Cálculo del número de tarjetas Kanban en circulación en las Máquinas de corte láser

7.4. Cuarto ciclo: Línea de Tuercas-Ensamble

El cuarto ciclo a controlar está compuesto por la línea de tuercas y la línea de ensamble: la línea de ensamble retira los productos del almacén SM entre ambos cuando los necesita y, esa retirada, produce una orden de fabricación en la línea de tuercas; el ciclo con ambos procesos queda representado en la Ilustración 16. La línea de tuercas está suministrada por un almacén de materia prima de inventario incontrolado (de ahí coge la pieza galvanizada y las tuercas) y por un almacén tipo supermercado (suministro del refuerzo del pilar B proveniente del láser).

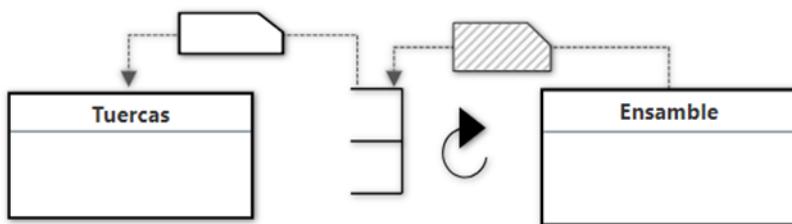


Ilustración 18 : Ciclo Línea de tuercas-Línea de ensamble

7.4.1. Características del ciclo en la línea de tuercas

Paradas planificadas

Esta línea precisa de un operario para su constante funcionamiento, además al principio de cada turno se realiza una limpieza de la zona, el mantenimiento preventivo se reserva para los festivos y los fines de semana. Por lo que el grupo de acciones que generará las paradas planificadas serán:

- $Descansos = \frac{20 \text{ min}}{\text{turno}} \cdot \frac{3 \text{ turnos}}{\text{día}} \cdot \frac{5 \text{ días}}{\text{semana}} = 300 \frac{\text{min}}{\text{semana}}$
- $Limpieza = \frac{3 \text{ turnos}}{\text{día}} \cdot \frac{5 \text{ días}}{\text{semana}} \cdot \frac{10 \text{ min}}{\text{turno}} = 150 \frac{\text{min}}{\text{semana}}$

Como la línea está compartida, se procesan dos referencias y para ambas se destina el mismo tiempo, las paradas planificadas se distribuirán de manera que sean mitad en una referencia y mitad en otra. Esta consideración se realiza también para el resto de tiempos.

$$Paradas planificadas = \frac{300 + 150}{2} = 225 \frac{\text{minutos}}{\text{semana}}$$

OEE

Esta línea no precisa de cambios de utilaje por lo que el OEE empleado en el diseño será el OEE medio de la línea (80%).

Tiempo de preparación de material (RT₃)

El tiempo de ciclo permite al operario situar la pieza en la zona en la que se van a colocar las tuercas mientras sigue funcionando la máquina, por lo tanto, el tiempo de preparación del material se considera nulo.

Cálculo de tarjetas Kanban

Todos los resultados derivados de las características de la línea, así como, el tiempo de reposición y la cantidad final de tarjetas Kanban en circulación, se recogen en la *Tabla 7*.

TUERCAS				
Pilar B de Volkswagen				
Modelo	Galvanizada Right	Galvanizada Left	Refuerzo Right	Refuerzo Left
TT	0,95 min	0,95 min	0,95 min	0,95 min
NPK	87 uds.	87 uds.	60 uds.	60 uds.
Demanda	3567 uds.	3567 uds.	3540 uds.	3540 uds.
Demanda	41,0 tarjetas	41,0 tarjetas	59,0 tarjetas	59,0 tarjetas
Demanda enviada diariamente	8,2 tarjetas	8,2 tarjetas	11,8 tarjetas	11,8 tarjetas
Tiempo de ciclo	0,32 min/unidad	0,32 min/unidad	0,53 min/unidad	0,53 min/unidad
Tiempo mínimo requerido	1129,6 min	1129,6 min	1888,0 min	1888,0 min
Tiempo total	3600,0 min	3600,0 min	3600,0 min	3600,0 min
Paradas planificadas	225,0 min	225,0 min	225,0 min	225,0 min
Tiempo planificado	3375,0 min	3375,0 min	3375,0 min	3375,0 min
OEE	80%			
Tiempo real	2700,0 min	2700,0 min	2700,0 min	2700,0 min
Tamaño de lote real	3567 uds.	3567 uds.	3540 uds.	3540 uds.
RT1	10,0 min	10,0 min	10,0 min	10,0 min
RT2	0,0 min	0,0 min	0,0 min	0,0 min
RT3	0,0 min	0,0 min	0,0 min	0,0 min
RT4	0,0 min	0,0 min	0,0 min	0,0 min
RT5	27,6 min	27,6 min	32,0 min	32,0 min
RT6	10,0 min	10,0 min	10,0 min	10,0 min
RTLOOP	47,6 min	47,6 min	52,0 min	52,0 min
RE	0,6 tarjetas	0,6 tarjetas	0,9 tarjetas	0,9 tarjetas
LO	1,7 tarjetas	1,7 tarjetas	2,9 tarjetas	2,9 tarjetas
WA	0,3 tarjetas	0,3 tarjetas	0,5 tarjetas	0,5 tarjetas
WI	0,0 tarjetas	0,0 tarjetas	0,0 tarjetas	0,0 tarjetas
K sin factor seguridad	2,3 tarjetas	2,3 tarjetas	3,8 tarjetas	3,8 tarjetas
Máxima pérdida acumulada de OEE en Rtloop	20%			
SA1sup	0,7 tarjetas	0,7 tarjetas	1,0 tarjetas	1,0 tarjetas
Máxima aumento acumulado de OEE en Rtloop				
SA1process				
Variaciones en la planificación de pedidos de cliente en el Rtloop	7%			
SA2sup	0,0 tarjetas	0,0 tarjetas	0,0 tarjetas	0,0 tarjetas
SA2process				
SA	0,7 tarjetas	0,7 tarjetas	1,0 tarjetas	1,0 tarjetas
K (número de tarjetas Kanban en circulación)	4	4	5	5

Tabla 7 : Cálculo del número de tarjetas Kanban en circulación en la línea de Tuercas

7.5. Quinto ciclo: Ensamble-Cliente

El quinto ciclo a controlar, representado en la Ilustración 17, está compuesto por la línea de ensamblaje y el cliente final (Volkswagen): el camión de reparto retira los productos del almacén tipo supermercado para llevarlos al cliente, es esa retirada la que provoca una orden de fabricación en las líneas de ensamblaje.

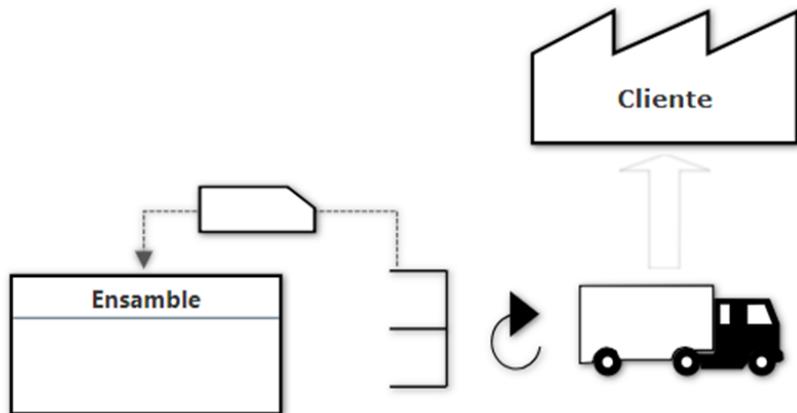


Ilustración 19 : Ciclo Línea de ensamblaje-Cliente

7.5.1. Características del ciclo en la línea de ensamblaje

Paradas planificadas

Esta línea está dividida en cuatro zonas, en cada uno se ensambla un tipo de referencia y son independientes entre sí. Cada zona requiere de un operario para llevar a cabo el ensamblaje y, además se realiza una limpieza de la zona en cada turno; estas circunstancias producirán las paradas planificadas.

- $Descansos = \frac{20 \text{ min}}{\text{turno}} \cdot \frac{3 \text{ turnos}}{\text{día}} \cdot \frac{5 \text{ días}}{\text{semana}} = 300 \frac{\text{min}}{\text{semana}}$
- $Limpieza = \frac{3 \text{ turnos}}{\text{día}} \cdot \frac{5 \text{ días}}{\text{semana}} \cdot \frac{10 \text{ min}}{\text{turno}} = 150 \frac{\text{min}}{\text{semana}}$

$$\text{Paradas planificadas} = 300 + 150 = 450 \frac{\text{minutos}}{\text{semana}}$$

OEE

Esta línea no precisa de cambios de utillaje por lo que el OEE empleado en el diseño será el OEE medio de la línea (82%).

Tiempo que permanece en la zona de espera de Kanban (RT₂)

Esta línea precisa de pequeños almacenes intermedios, dentro de cada zona, que se tienen que llenar para comenzar a sacar pieza. El tiempo que tardan en llenarse esos pequeños almacenes es lo que se considerará como el tiempo de espera de Kanban, ya que hasta su llenado no sale ninguna pieza ya ensamblada.

- Almacén interno de Pilar A: 3 piezas

$$RT_{2\ Pilar\ A} = 3 \cdot TC_{Pilar\ A} = 3 \cdot 1.56 = 4.7\ min$$

- Almacén interno de Pilar B: 5 piezas

$$RT_{2\ Pilar\ B} = 5 \cdot TC_{Pilar\ B} = 5 \cdot 1.56 = 7.8\ min$$

Tiempo de preparación de material (RT₃)

El tiempo de ciclo permite al operario situar la pieza en la zona en la que se ensambla mientras sigue funcionando la máquina, por lo tanto, el tiempo de preparación del material se considera nulo.

Cálculo de tarjetas Kanban

Todos los resultados derivados de las características de la línea, así como, el tiempo de reposición y la cantidad final de tarjetas Kanban en circulación, se recogen en la *Tabla 8*.

ENSAMBLE				
Volkswagen				
Modelo	Pilar A Left	Pilar A Right	Pilar B Left	Pilar B Right
TT	1,9 min	1,9 min	1,9 min	1,9 min
NPK	21 uds.	21 uds.	12 uds.	12 uds.
Demanda	3507 uds.	3507 uds.	3504 uds.	3504 uds.
Demanda	167 tarjetas	167 tarjetas	292 tarjetas	292 tarjetas
Demanda enviada diariamente	33,4 tarjetas	33,4 tarjetas	58,4 tarjetas	58,4 tarjetas
Tiempo de Ciclo	1,6 min/ud.	1,6 min/ud.	1,6 min/ud.	1,6 min/ud.
Tiempo mínimo requerido	5494,3 min	5494,3 min	5489,6 min	5489,6 min
Tiempo total	7200,0 min	7200,0 min	7200,0 min	7200,0 min
Paradas planificadas	450,0 min	450,0 min	450,0 min	450,0 min
Tiempo planificado	6750,0 min	6750,0 min	6750,0 min	6750,0 min
OEE	82%			
Tiempo real	5535,0 min	5535,0 min	5535,0 min	5535,0 min
Tamaño de lote real	3507,0 min	3507,0 min	3504,0 min	3504,0 min
RT1	10,0 min	10,0 min	10,0 min	10,0 min
RT2	4,7 min	4,7 min	7,8 min	7,8 min
RT3	0,0 min	0,0 min	0,0 min	0,0 min
RT4	0,0 min	0,0 min	0,0 min	0,0 min
RT5	364,7 min	364,7 min	364,4 min	364,4 min
RT6	10,0 min	10,0 min	10,0 min	10,0 min
RTLOOP	389,4 min	389,4 min	392,2 min	392,2 min
RE	9,6 tarjetas	9,6 tarjetas	17,0 tarjetas	17,0 tarjetas
LO	32,4 tarjetas	32,4 tarjetas	57,4 tarjetas	57,4 tarjetas
WA	11,9 tarjetas	11,9 tarjetas	20,9 tarjetas	20,9 tarjetas
WI	0,0 tarjetas	0,0 tarjetas	0,0 tarjetas	0,0 tarjetas
K sin factor seguridad	42,0 tarjetas	42,0 tarjetas	74,4 tarjetas	74,4 tarjetas
Máxima pérdida acumulada de OEE en Rtloop	7%			
SA1sup	1,0 tarjetas	1,0 tarjetas	1,7 tarjetas	1,7 tarjetas
Máxima aumento acumulado de OEE en Rtloop	-			
SA1process				
Variaciones en la planificación de pedidos de cliente en el Rtloop	7%			
SA2sup	0,8 tarjetas	0,8 tarjetas	1,5 tarjetas	1,5 tarjetas
SA2process				
SA	1,8 tarjetas	1,8 tarjetas	3,1 tarjetas	3,1 tarjetas
K (número de tarjetas Kanban en circulación)	44	44	78	78

Tabla 8 : Cálculo del número de tarjetas Kanban en circulación en la línea de ensamble

8. Reglas de gestión

Como ya se ha comentado en capítulos anteriores, el número de tarjetas en circulación corresponde al número de contenedores necesarios en la línea.

La primera regla, que se debe cumplir para el correcto funcionamiento del sistema, es que el número máximo de contenedores lleno en cada uno de los almacenes diseñados debe ser el “K” calculado para cada referencia.

Por otro lado, se establece un mínimo de contenedores, cuando los suministros del almacén disminuyan hasta dicho mínimo se generará la orden de producción para la referencia en cuestión. Este mínimo se determina como:

$$\text{Mínimo} = WA + SA_{1sup} + SA_{2sup}$$

Esta suposición cubre al proceso durante el tiempo que tarda en sacar el primer contenedor procesado (RT_{LOOP}) y considera las características del proceso y del cliente que puedan producir una mayor retirada en el almacén y/o una producción por debajo de lo dispuesto.

Sin embargo, debido a las características especiales del ciclo de la Línea de parches: con el OEE tan bajo que tiene no llega a la producción requerida; en el almacén correspondiente a este proceso el mínimo será igual al máximo. Esto quiere decir que, en el momento que se retire algún contenedor del almacén, se debe comenzar la producción en la línea.

Según lo establecido, la distribución de mínimos y máximos de cada almacén supermercado quedará según lo especificado en la *Tabla 9*.

REFERENCIAS			PROCESOS QUE RELACIONA EL ALMACÉN DE TIPO SUPERMERCADO											
			Parches		Prensa		Corte por láser		Corte por láser		Corte por láser		Línea de tuercas	
			Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Seat	Modelo 1	Pilar A Left	-	-	12	27	28	74	-	-	-	-	-	-
		Pilar A Right	-	-	12	27	28	74	-	-	-	-	-	-
	Modelo 2	Pilar A Left	-	-	12	27	28	74	-	-	-	-	-	-
		Pilar A Right	-	-	12	27	28	74	-	-	-	-	-	-
	Pilar A	Pilar A Right	48	48	10	27	-	-	-	-	13	30	-	-
		Pilar A Left	48	48	10	27	-	-	-	-	13	30	-	-
	Volkswagen	Pilar B Left	-	-	17	46	-	-	-	-	21	51	-	-
		Pilar B Right	-	-	17	46	-	-	-	-	21	51	-	-
		Refuerzo Left	-	-	17	29	-	-	17	29	-	-	1	5
		Refuerzo Right	-	-	-	-	-	-	17	29	-	-	1	5
		Galvanizada Right	-	-	-	-	-	-	-	-	2	4	-	-
		Galvanizada Left	-	-	-	-	-	-	-	-	2	4	-	-

Tabla 9 : Número máximo y mínimo de contenedores para cada almacén supermercado

Por otro lado, hay que diseñar la distribución física del almacén. Para asegurar el FIFO, el almacén estará dividido en dos columnas: una para contenedores llenos y otra para vacíos; a priori la capacidad de ambas columnas debe ser igual al máximo del almacén.

Es decir, el área reservada a cada almacén debe ser suficiente para albergar el doble de contenedores de los que se han dispuesto al calcular el número de tarjetas Kanban (K).

Además de esta distribución, hay que establecer prioridades con respecto a las referencias, para saber cuál comenzar a producir en el caso de que varias órdenes de producción salten a la vez. La siguiente lista recoge las distintas referencias de mayor a menor importancia a la hora de comenzar la producción:

- Volkswagen Pilar A
- Volkswagen Pilar B
- Volkswagen Pilar B refuerzo
- Seat Modelo 1
- Seat Modelo 2

La lógica de la lista otorga prioridad a las referencias cuya demanda, según el histórico de datos, es mayor y, si dentro de ese grupo hay varias, se organizan de manera que las que tengan un tiempo de ciclo mayor van primero.

Dentro de cada tipo de referencia la mano con la que empezar el ciclo de producción, si en el mismo se realizan las dos intercaladas, es indiferente. Si una de las dos manos tiene menos stock que la otra habrá saltado la orden de producción primero, con lo que no será necesario acudir a la lista de prioridades.

Por último, es importante destacar que, en los procesos de capacidad compartida (con cambios de referencia), una producción de una referencia no acaba hasta que se alcanza el tamaño de lote, a partir de ese volumen se puede decidir si seguir produciendo dicha referencia o cambiar a otra, dependiendo de las circunstancias. La Tabla 10 recoge los diferentes tamaños de lote para cada referencia y proceso.

REFERENCIAS		TAMAÑO DE LOTE PARA CADA REFERENCIA SEGÚN EL PROCESO				
		Parches	Prensa	Corte por láser	Línea de	Ensamble
Volkswagen	Modelo 1	Pilar A Left	540 golpes	21 contenedores	-	-
		Pilar A Right		21 contenedores	-	-
	Modelo 2	Pilar A Left		21 contenedores	-	-
		Pilar A Right		21 contenedores	-	-
	Pilar A	Pilar A Right	1260 golpes	17 contenedores	-	-
		Pilar A Left		17 contenedores	-	-
Seat	Pilar B	Pilar B Left	1200 golpes	30 contenedores	-	-
		Pilar B Right		30 contenedores	-	-
		Refuerzo Left		10 contenedores	-	-
		Refuerzo Right		10 contenedores	-	-
		Galvanizada Right		-	-	-
		Galvanizada Left		-	-	-

Tabla 10 : Tamaños de lote para cada referencia según el proceso

8.1. Ejemplo de gestión

Para aclarar la metodología a seguir durante la gestión de la producción se explica un ejemplo, tomando el ciclo de Prensa-Máquinas de corte por láser (Ilustración 20).

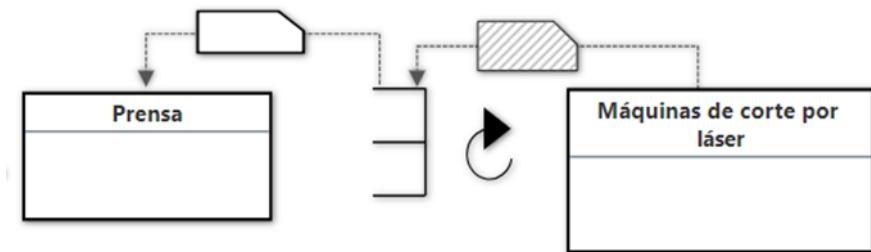


Ilustración 20 : Ciclo Prensa-Máquinas de corte por láser

Partimos de que se ha alcanzado el mínimo del almacén en el Pilar B de Volkswagen (17 contenedores) y que la prensa comienza la producción del mismo. Tras 1000 golpes con la matriz del Pilar B, salta una orden de producción para Seat, como aún no se ha alcanzado el tamaño de lote del Pilar B se sigue produciendo esa referencia. Al acabar el tamaño de lote del Pilar B (1200 golpes), se realizaría un cambio de matriz y comenzaría la producción de Seat.

Imaginemos que se llegase al tamaño de lote del Pilar B y que no hubiese saltado ninguna orden de producción. En este caso, se seguiría produciendo Pilar B hasta que se alcanzase el máximo del almacén o hasta que saltase alguna orden de producción, momento en el cual se cortaría la producción de Pilar B para realizar la otra referencia.

Otro caso, opuesto al anterior sería que, tras 1000 golpes con la matriz del Pilar B, saltan a la vez la orden de producción de Seat y la del Pilar A de Volkswagen. En este caso, tras realizar los 1200 golpes que comprenden el lote del Pilar B se debe comenzar con la producción del Pilar A de Volkswagen; esta referencia, según las normas de prioridad descritas, tiene preferencia con respecto al resto.

9. Conclusiones y trabajos futuros

Tras el diseño de los almacenes se realizó una simulación sencilla mediante la cual se demostraba que el sistema es perfectamente viable, siempre y cuando no se produzcan paradas de más de 1 día de duración, ya que este es el stock mínimo de entre todos los mínimos posibles de los diferentes almacenes.

Tal y como se ha comentado anteriormente, hay una continuación posterior a este proyecto. Ahora que ya se han establecido las bases y discernido lo necesario para la implementación, el siguiente paso sería la simulación de este sistema y del sistema real (ahora con más procesos) empleando un software dedicado que permita considerar alteraciones estadísticas y que permita probar todos los casos posibles.

Una de las principales actividades a desarrollar durante la simulación será determinar si las dimensiones del almacén, así como, los mínimos y máximos establecidos son adecuados para el proceso. Dentro de este escenario se pueden dar dos situaciones críticas: el almacén tiene la mayor parte del tiempo el máximo de contenedores lleno o, por el contrario, la cantidad de contenedores llenos es siempre igual o inferior al mínimo establecido. Ambas situaciones crean inestabilidades en la línea, la primera por paradas continuadas para no sobresaturar el almacén y la segunda por la posibilidad de un aumento de demanda no considerado que deje el almacén vacío. La labor durante la simulación será asegurar que ninguna de esas situaciones pueda llegar a producirse y, en el caso de que se produzcan, realizar un ajuste en el número de tarjetas Kanban y realizar un nuevo diseño del almacén.

Una vez obtenidos los resultados de la simulación, el paso final sería la implementación física del sistema de gestión en la propia fábrica.

En resumen, se ha demostrado que la gestión de la planta es perfectamente realizable mediante el “Consumption Control”. Siguiendo todos los pasos descritos y mientras las características de los procesos y sus relaciones estén dentro de todos los parámetros explicados, se podrá implantar este tipo de gestión por mucho que aumente o disminuya el volumen de producción y procesos.

10. Bibliografía

- [1] Libro: Lean Thinking; Womack, James P. y Jones, Daniel T.
- [2] Artículo de la “2ND International Conference on Innovations, Recent Trends and Challenges in Mechatronics, Mechanical Engineering and New High-Tech Products Development”: Cellular Manufacturing with Kanbans Optimization in Bosch Production System; Salgado, Pedro y Varela, Leonilde R.
- [3] Formación interna durante la realización de las prácticas en la empresa Magna Automotive Spain S.A.U.