

TEMA 8: SISTEMAS DE PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE LAS NECESIDADES DE MATERIALES E INVENTARIOS

**Esteban Fernández Sánchez
Lucía Avella Camarero
Marta Fernández Barcala
20006**

1. Introducción
2. Planteamientos fundamentales acerca de los materiales e inventarios en la empresa
 - 2.1. Fabricación en grandes lotes
 - 2.1.1. El Modelo ABC
 - 2.1.2. El Tamaño Económico de Pedido (EOQ) y de Lote
 - 2.2. Fabricación en pequeños lotes
 - 2.2.1. Células de trabajo
 - 2.2.2. Reducción del tiempo de preparación de las máquinas
 - 2.2.3. Estandarización de las operaciones
 - 2.2.4. Descentralización de materiales y herramientas
3. Métodos de gestión y planificación de las necesidades de materiales e inventarios
 - 3.1. La planificación de los requerimientos de Materiales y su evolución: Del MRP I al ERP
 - 3.2. Sistema *kanban*
 - 3.3. Nuevas tendencias en la planificación de las necesidades de inventarios y materiales: Sistemas híbridos MRP/*kanban*
 - 3.4. Manufactura Sincronizada y Teoría de las Restricciones

1. INTRODUCCIÓN

Se aborda en este capítulo el estudio de una de las decisiones en infraestructura que configuran la estrategia de producción de la empresa: los sistemas de planificación y control de materiales e inventarios. Para ello se comienza con la descripción de los dos planteamientos fundamentales que han coexistido acerca de los inventarios en la empresa. Por un lado, el planteamiento dominante en Occidente, que considera éstos como un activo que acarrea unos costes que es necesario minimizar. Por otro lado, el planteamiento nacido dentro del seno de la producción Just in Time, y adoptado por los fabricantes ágiles, que considera las existencias como la consecuencia de un conjunto de problemas, que es necesario gestionar y, en consecuencia, reducir al mínimo posible. Dichos planteamientos se asocian, además, con la producción en grandes y pequeños lotes, respectivamente, cuyas principales características se analizan en la primera sección del capítulo.

Asimismo, el capítulo continúa con un segundo apartado, donde se analizan los principales métodos de gestión y planificación de las necesidades de materiales: el MRP y el *kanban*, planteándose si son métodos antagónicos o complementarios. Se describen ambos, profundizando en la evolución seguida por el método MRP hasta nuestros días y en el funcionamiento y las consecuencias que conlleva la aplicación del sistema *kanban*. Finalmente, se estudia la producción sincronizada, herramienta cuyo objetivo clave es equilibrar el flujo de materiales en la planta productiva y, a la vez, trata de reducir el nivel de inventarios.

Es importante señalar, antes de entrar en un análisis detallado de los aspectos indicados previamente, que el tema se refiere a la gestión y planificación de materiales e inventarios. Ambos elementos no son exactamente lo mismo. Más bien al contrario, el término materiales es más amplio o genérico que el de inventarios. Así, cuando nos referimos a materiales estamos haciendo mención a la totalidad de elementos que se incorporan como componentes o materias primas a los productos en fabricación o en curso, así como a los productos fabricados, ya sean terminados o en curso. Estos materiales suponen, en algunas industrias, una parte muy importante del coste, y eso justifica sobradamente la transcendencia de su correcta gestión. Así, los materiales suponen un 60 por ciento del coste de venta de los coches y un 85 por ciento del coste de los PCs (Brown, 1996). Los materiales se convierten en inventarios cuando se depositan o almacenan en algún lugar, a la espera de una transformación posterior o de su traslado a otro lugar dentro de la fábrica, pero no dejan de ser materiales por el hecho de estar depositados en el almacén.

2. PLANTEAMIENTOS FUNDAMENTALES ACERCA DE LOS MATERIALES E INVENTARIOS EN LA EMPRESA

Los inventarios no son más que una manifestación física de la falta de coincidencia temporal entre la oferta y la demanda de un producto o material determinado. En este sentido, mejorar los flujos de información y tener una mejor previsión acerca de la demanda es considerada como la medida primaria para reducir el nivel de inventarios (Oliver, 1999).

Puede distinguirse, desde el punto de vista de la demanda, entre inventarios o materiales de demanda independiente y de demanda dependiente. Los materiales o inventarios de

demanda dependiente son aquéllos cuyas necesidades dentro de la empresa van a depender de la cantidad de productos de demanda independiente necesarios. Dentro de este último grupo se encuadrarían los productos finales fabricados por la empresa, así como los componentes que el cliente pudiese demandar (repuestos, por ejemplo). Las materias primas y los componentes que va a utilizar el proceso productivo, sean éstos fabricados por la empresa o adquiridos a proveedores, son inventarios de demanda dependiente, ya que se necesitará más o menos cantidad de los mismos según la demanda del producto final sea mayor o menor. En cualquier caso, todos ellos conllevan costes reales –independientemente de que se incluyan en los de las materias primas, trabajos en curso o productos terminados– y costes de oportunidad –cuando se pierde un cliente por no disponer en almacén del producto que necesita–.

La gestión de los inventarios es uno de los aspectos en los que se hace más patente la diferente concepción de los fabricantes occidentales y japoneses acerca de la dirección de operaciones y que explicaría, en parte, el éxito de los últimos en determinadas industrias. Por ello, muchas empresas occidentales han emulado, en gran medida, algunas de las prácticas seguidas por los fabricantes japoneses respecto a los inventarios, con el fin de lograr similares niveles de éxito.

En Occidente las existencias se han concebido como un activo y se ha tendido a ver la gestión de los inventarios como una actividad táctica. En consecuencia, las decisiones a este respecto se toman en los niveles más bajos de la organización y, generalmente, se adjudican a personal técnico sin muchos conocimientos de gestión. Los inventarios se consideran un problema en sí mismo, por la inversión que suponen y los costes que conlleva su posesión. De ahí que, básicamente, los esfuerzos se hayan dirigido hacia el desarrollo de modelos matemáticos cuyo objetivo es minimizar dicho coste. Sin embargo, en la producción *just in time* se considera la gestión de inventarios como un aspecto estratégico e importante para la obtención de ventajas competitivas, considerando los mismos como una carga que puede debilitar la capacidad competitiva de una empresa (Brown, 1996). Así, esta perspectiva concibe los inventarios como la consecuencia de intentar cubrir o solapar una serie de problemas de fondo que suponen serias dificultades a las empresas. En este sentido, los inventarios ocultan problemas, tales como un tiempo demasiado largo de preparación de las máquinas, la mala calidad de los productos, la alta tasa de averías de las máquinas y el absentismo laboral, entre otros. Para que estos problemas salgan a flote, hay que reducir el nivel de inventarios. De esta forma, la dirección será consciente de su existencia y tendrá la obligación de resolverlos.

En la producción Just in Time (JIT) se representan las existencias con el símil de una corriente de agua (**Figura 1**). En el fondo del río están las rocas, que simbolizan los problemas y, a flote, un barco, que representa la fábrica. El enfoque occidental mantiene el inventario (nivel del agua) lo suficientemente elevado para cubrir las rocas y, de esta manera, conservar navegable el río. El enfoque de los productores just in time disminuye el nivel del agua para dejar visible la parte superior de las rocas y, así, poder pulverizarlas, es decir, resolver los problemas que emergen a la superficie. Posteriormente, se disminuye nuevamente el nivel del agua para dejar descubiertas más rocas. Este proceso se repite hasta que todas las rocas se hacen añicos y la corriente de agua fluye con suavidad al nivel más bajo posible para que el barco siga navegando. La mejora de los procesos es continua y a lo largo de toda la vida de la fábrica. Para que

haya mejora, los problemas deben eliminarse y, para eliminarlos, deben estar visibles, no ocultos.

De esta forma, el sistema productivo Just in Time suprime el ‘colchón de seguridad’ que suponen los inventarios, por lo que la empresa queda expuesta a determinados problemas operativos. Se hace necesario, pues, afrontar y resolver estos problemas. Destacar, por otra parte, que la reducción del nivel de existencias es un desencadenante de la producción Just in Time, no el resultado de ésta.

FIGURA 1: RELACIÓN ENTRE INVENTARIOS Y PROBLEMAS



No debe extraerse como conclusión de lo analizado que las empresas que aplican los principios de la producción Just in Time respecto a los materiales vayan a funcionar con un nivel de inventarios cero, sino que siempre será necesario cierto nivel de inventarios para hacer frente a las oscilaciones cotidianas que pueden aparecer en la demanda. Ha de notarse que no sería posible que el barco navegase sin algo de agua. Sólo se podría funcionar sin inventarios si existiese certeza absoluta acerca de la demanda futura, pero el entorno empresarial actual no es totalmente predecible, ni mucho menos.

La idiosincrasia de cada empresa y su situación particular son las que realmente condicionan el nivel de inventarios con el que ésta va a funcionar, siendo un caso excepcional, en este sentido, el de la empresa fabricante de PCs Dell, cuyo nivel medio de inventarios a lo largo de los años 1999-2001 siempre se mantuvo por debajo del 8 por ciento de la cifra de ventas, mientras que otras empresas de su mismo sector, por ejemplo, Cisco Systems, vieron, en la misma etapa, acercarse su inversión en inventarios paulatinamente a un 40 por ciento de la cifra de ventas¹.

A continuación se señalan una serie de factores que afectan al hecho de que la empresa, –aun con un proceso productivo JIT– mantenga un mayor o menor nivel de inventarios.

¹ The Economist (2001): “A revolution of one”, *The Economist*, 14 de abril, p. 63.

Por un lado, la proximidad y el modo de transporte utilizado por los proveedores para hacer llegar las materias primas es importante. Así, cuanto más lejana sea su localización y más costoso el transporte, mayor será el tamaño de pedido y, en consecuencia, se generarán inventarios de materias primas en mayor medida. Por otro lado, el tipo de flujo de productos (o de distribución en planta) dentro de la fábrica afecta al nivel de inventarios en curso. Así, la posibilidad de crear flujos de producción secuencial (como en una acería, por ejemplo) consigue reducir los inventarios de productos en curso. Por el contrario, si el flujo de productos es funcional (es decir, la producción es por lotes, de mayor o menor tamaño) se generarán, en alguna medida, inventarios de productos en curso. Por último, y con relación a los inventarios de productos finales, éstos pueden existir por razones tecnológicas, pero las que prevalecen son las comerciales. Tanto el tipo de producto (mayor o menor personalización) como el mercado (aceptación por parte de los clientes de un plazo de entrega que incluya, al menos, parte del tiempo del proceso productivo o requieren la entrega nada más pedir el producto) condicionan el nivel de inventarios. A menor personalización y menor plazo de entrega exigidos, una empresa tendrá, probablemente, mayor nivel de inventarios de productos finales (Haan y Yamamoto, 1999).

Existe, además, relación entre la inversión en inventarios y materiales de una empresa y el tamaño de los lotes que fabrica de forma eficiente con su tecnología productiva. Así, cuando el tamaño del lote es mayor, la inversión en inventarios es generalmente más alta que cuando el tamaño del lote es más reducido. Esto se debe a que el objetivo de reducir el nivel de existencias, tan presente en la producción JIT, conlleva que, en cada operación, se fabricará en pequeños lotes, incluso unitarios, es decir, tan sólo lo necesario para satisfacer la demanda del producto de que se trate, evitando la acumulación excesiva de existencias. Esto contrasta con el sistema tradicional de producción en grandes lotes, característico de Occidente, el cual implica seguir un programa fijo y adelantarse a la demanda del mercado (Walleigh, 1986).

A continuación, se analizan ambas situaciones: producción en grandes lotes y en pequeños lotes. Se destacan, por una parte, los modelos matemáticos desarrollados bajo las tecnologías de fabricación que conducen a la producción en grandes lotes para minimizar los costes que supone la tenencia e inversión en existencias y, por otra parte, los mecanismos organizativos desarrollados por las empresas con tecnologías de fabricación que promueven la reducción en el tamaño del lote para conseguir el objetivo de reducir el nivel de inventarios.

2.1. Fabricación en grandes lotes

La producción en masa se caracteriza por fabricar grandes lotes de un producto homogéneo para atender la demanda prevista durante un período de tiempo bastante largo. Para ello, se adquieren en el mercado bienes de equipo no demasiado versátiles (o supermáquinas), muy costosos, pero muy rápidos, que se mantienen continuamente funcionando para lograr una tasa elevada de tiempo de ocupación de la máquina. El argumento racional que apoya la compra en el mercado de bienes de equipo es el de centrar las energías en la planificación, organización y control de la fábrica, antes que en los procesos indirectamente relacionados con ellos, tales como el diseño y el desarrollo de maquinaria. Sin embargo, esta indiferencia por la tecnología del equipo indica una falta de comprensión sobre su importancia en la época actual.

La razón de producir en grandes lotes se debe a los enormes costes de preparación de las supermáquinas. Estas máquinas, en principio, se pueden utilizar en la fabricación de diversos componentes que, posteriormente, se utilizan en el ensamblado de diferentes artículos. Ahora bien, lleva mucho tiempo y recursos financieros la preparación de la supermáquina para pasar de fabricar un componente a otro. De ahí que se puedan calificar como ‘no demasiado versátiles’. En consecuencia, la empresa trata de minimizar el número de preparaciones de máquina y, por eso, fabrica grandes lotes de cada vez. El objetivo es repartir el coste de preparación, que es muy elevado, entre el mayor número posible de unidades producidas. Si tenemos en cuenta sólo la capacidad de la máquina, la utilización de grandes supermáquinas puede considerarse una mejora. Sin embargo, el impacto global sobre la producción es muy distinto. Las existencias se acumularán por delante y por detrás de la máquina, exigiendo un excesivo espacio de almacenamiento, y generando, en consecuencia, costes.

La producción en grandes lotes presenta una serie de ventajas, que la hacen atractiva para los directores de fábricas, y que justifican su existencia, entre las que destacan las siguientes (Shingo, 1985):

1. Al repartir el coste de preparación de la máquina entre un mayor número de unidades de producto, el coste medio se reduce.
2. Las existencias permiten nivelar la carga de trabajo cuando las estaciones de trabajo tienen diferente ritmo de producción.
3. Las existencias sirven de ‘colchón’, amortiguando problemas cuando aparecen defectos, las máquinas se averían o surgen imprevistos, como una huelga de los trabajadores o de transporte.
4. Las existencias pueden usarse para responder ante pedidos urgentes de los clientes.

La producción en grandes lotes para responder a los grandes pedidos resulta eficiente, pero, de hecho, la mayor parte de la producción en grandes lotes resulta de dar respuesta a una combinación de pedidos repetidos de pequeños volúmenes de productos, que hacen crecer en exceso la producción anticipada. Es decir, se produce en el momento actual para atender demandas futuras. De esta forma, las consiguientes existencias de productos terminados se consideran, a menudo, un mal necesario, puesto que hay ventajas asociadas a ellas, tal y como hemos señalado. Sin embargo, no debe olvidarse que, independientemente de lo necesarias que las existencias puedan parecer, un mal es siempre un mal. En concreto, este tipo de producción en grandes lotes acarrea una serie de desventajas, que ocasionan un incremento de los costes, entre las que destacan las siguientes (Shingo, 1985; Suzaki, 1987):

1. Las tasas de rotación de capital caen, aumentando, así, los costes financieros.
2. El almacenamiento de existencias, por sí mismo, no añade valor al producto, con lo cual el espacio físico que ocupan los inventarios se desperdicia en su totalidad porque no es posible obtener ningún rendimiento mediante su uso.
3. El almacenamiento de existencias requiere la instalación de estantes, *pallets* y otros activos, todo lo cual aumenta los costes. Cuando los inventarios se incrementan a niveles elevados, algunas empresas tienden a automatizar tanto el almacenamiento como la entrada y recogida de productos, con los costes que

esto ocasiona.

4. El transporte y almacenamiento de inventarios requiere horas-hombre de manipulación y, además, los productos pueden deteriorarse al manipularlos.
5. Los grandes lotes suponen plazos de ejecución mayores, lo que puede retrasar los nuevos pedidos, no cumpliéndose los plazos de entrega. También desembocan en grandes inventarios de productos en curso.
6. Los inventarios deben eliminarse cada vez que tenga lugar un cambio de modelo, ya sea vendiéndolos con descuento o desechándolos.
7. La calidad de las existencias se deteriora a lo largo del tiempo. Además, a medida que los inventarios van envejeciendo, su valor disminuye por obsolescencia.
8. La planificación será difícil debido al prolongado tiempo de producción.
9. Se incrementa el transporte interno, al tener que desplazar los materiales y componentes desde las diferentes áreas de actividad hasta la supermáquina.
10. La inspección de calidad se realiza una vez fabricado el lote y, si éste es defectuoso, el número de artículos con mala calidad será elevado. Además, se tarda más tiempo en detectar la mala calidad: hay que esperar a que el lote esté terminado para realizar la inspección.

En definitiva, la fabricación en grandes lotes supone la aparición de cantidades importantes de inventarios, que deben gestionarse de la manera más eficiente posible. A continuación se señalan dos herramientas que servirán de apoyo en este sentido. Por una parte, el modelo ABC permite realizar una clasificación de los inventarios según su valor, y prestarles atención en función del mismo. Por otra parte, el modelo EOQ (*Economic Order Quantity*), y su homólogo para la fabricación, asesoran para la toma de estas decisiones y ayudan a determinar lo que se denomina, respectivamente, el ‘tamaño económico del pedido’ y el ‘tamaño económico del lote’, es decir, de cuántas en cuántas deben comprarse las materias primas o componentes y con qué periodicidad a los proveedores (tamaño del pedido), o de cuántos en cuántos deben producirse los outputs (tamaño del lote), de tal forma que los costes de gestión de inventarios sean mínimos.

2.1.1. El Modelo ABC

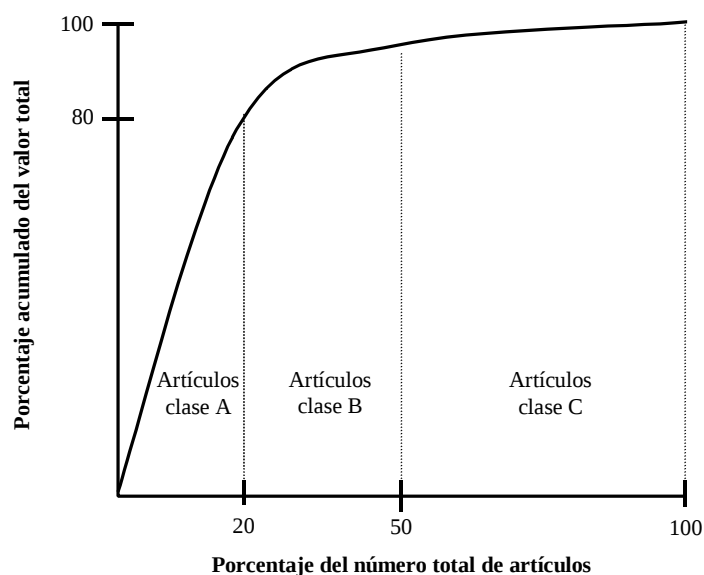
Lo habitual es que las empresas mantengan en inventario diversos artículos; en algunas organizaciones incluso cientos de referencias. Sin embargo, no todos ellos son igualmente importantes. Por ejemplo, algunos pueden tener una tasa de uso alta, por lo que su falta interrumpirá frecuentemente la producción o impedirá atender los pedidos de los clientes. Otros artículos, con un valor alto y que mantengan un gran nivel de inventarios, requerirían una alta inversión. Para discriminar entre los productos almacenados se utiliza el denominado ‘Modelo ABC o de gestión selectiva² de inventarios’, que clasifica las existencias en función de su ‘valor de uso’. El valor de

² Este modelo también se llama ‘ley del 80-20’ o ‘principio de Pareto’. Vilfredo Pareto (1848-1923), ingeniero, sociólogo (se le considera el padre de la sociología italiana) y economista, enunció en 1896 la ley que toma su nombre, al observar que el 20 por ciento de los italianos poseían el 80 por ciento de la riqueza de su país.

uso es el resultado de multiplicar la tasa de uso de un material (el número de artículos consumidos por período) por el valor unitario de ese material o inventario.

El modelo ABC divide los inventarios en tres tipos, de acuerdo con su valor de uso (ver **Figura 2**). Los artículos de clase A se corresponden, más o menos, con el 20 por ciento de los artículos en cuanto a cantidad, pero suponen, aproximadamente, un 80 por ciento del valor total invertido en inventarios. Los artículos de clase B son aquéllos de valor medio, que suponen un 30 por ciento del total de las unidades mantenidas en inventario, si bien en valor son, por término medio, un 15 por ciento de la inversión en materiales. Los artículos de clase C son aquéllos de valor más bajo, un 5 por ciento aproximadamente, si bien en cantidad son cerca del 50 por ciento de los artículos almacenados. Los inventarios con un valor de uso alto (tipo A) requieren un control cuidadoso, mientras que los de valor de uso más bajo (tipo C) no necesitan controlarse con tanto rigor. Los inventarios tipo B requieren una atención mayor que los C, pero no tan exhaustiva como los inventarios tipo A.

FIGURA 2: ANÁLISIS ABC DE INVENTARIOS



2.1.2. El Tamaño Económico de Pedido (EOQ) y de Lote

Los modelos de tamaño económico de pedido y de lote tratan de determinar el tamaño óptimo del lote (a pedir a proveedores o a fabricar) a partir de expresiones matemáticas más o menos complejas, que buscan una minimización de los costes asociados a la gestión de los inventarios.

El modelo del tamaño económico de pedido se apoya en los siguientes supuestos, que sólo son posibles en un contexto de certeza:

1. Demanda (D) constante, uniforme y conocida.
2. Plazo de entrega constante y conocido.
3. Precio de compra (p) constante e independiente del volumen comprado.

4. Coste de realización de un pedido (R) constante e independiente del volumen comprado.
5. Coste de almacenamiento (A) constante.
6. No se permiten rupturas de inventario.

En estas condiciones, la función de costes totales de abastecimiento vendría dada por: a) el coste de la compra ($D \cdot p$), b) el coste de realización de los pedidos ($R \cdot D/Q$), siendo Q el tamaño del pedido, c) el coste de almacenamiento ($A \cdot Q/2$), siendo $Q/2$ el inventario medio y d) los costes financieros ($p \cdot i \cdot Q/2$) donde i representa el coste de oportunidad, y podría asociarse con el coste de capital de la empresa. De forma analítica:

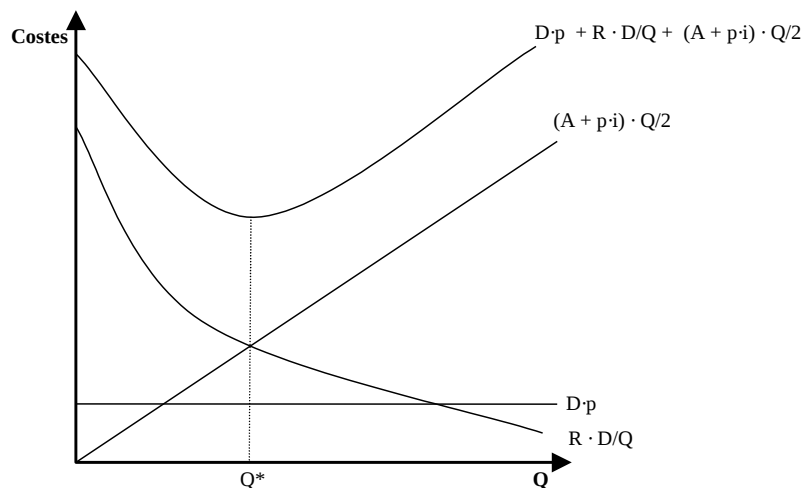
$$\text{Coste Total} = D \cdot p + R \cdot \frac{D}{Q} + (A + p \cdot i) \cdot \frac{Q}{2}$$

Todos los elementos, con excepción de Q, son constantes. Calculando la primera derivada e igualándola a cero, y calculando el signo de la segunda derivada para comprobar que se trata de un mínimo, obtenemos que el tamaño económico del pedido (Q^*). Es:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot R \cdot D}{A + p \cdot i}}$$

También puede determinarse gráficamente el tamaño económico de pedido a partir de las curvas de costes (ver **Figura 3**).

FIGURA 3: TAMAÑO ECONÓMICO DE PEDIDO



Por su parte, el modelo del tamaño económico de lote es muy similar, y también supone un contexto de certeza, que se apoya en los siguientes supuestos:

1. Tasa de producción (TP) constante.
2. Tasa de demanda (D) constante.
3. Precio del componente (p) constante.

4. Coste de almacenamiento (A) constante.
5. Coste de preparación de las máquinas (CP) constante e independiente del tamaño del lote.
6. No se permiten rupturas de inventario.

Bajo estos supuestos los costes totales serían la suma de a) el coste de transferencia ($D \cdot p$), b) el coste de preparación de las máquinas durante todo el período considerado ($CP \cdot D/Q$), siendo Q el tamaño del lote, c) el coste de almacenamiento [$A \cdot Q/2 \cdot (1 - D/TP)$] y d) el coste financiero³ [$p \cdot i \cdot Q/2 \cdot (1 - D/TP)$]:

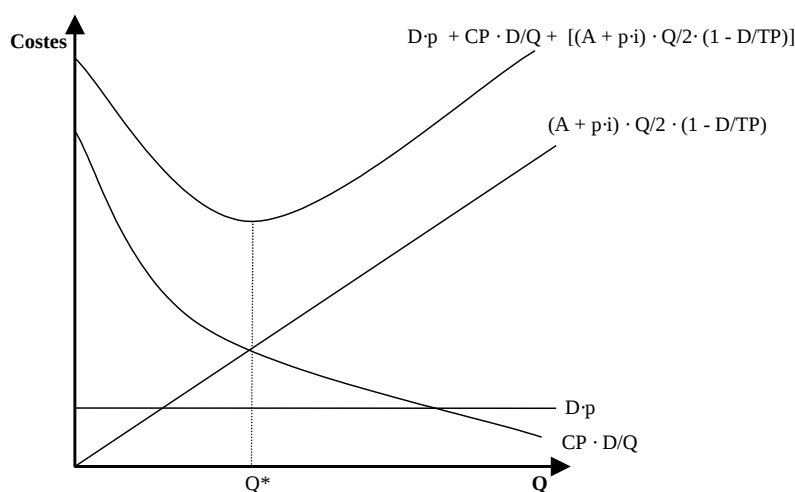
$$\text{Coste Total} = D \cdot p + CP \cdot \frac{D}{Q} + (A + p \cdot i) \cdot \frac{Q}{2} \cdot \left(1 - \frac{D}{TP}\right)$$

Siguiendo idéntico procedimiento que con el modelo anterior, obtenemos que el tamaño óptimo de lote de producción (Q^*) es:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot CP \cdot D}{(A + p \cdot i) \cdot \left(1 - \frac{D}{TP}\right)}}$$

La determinación gráfica del tamaño óptimo de lote se haría de la siguiente manera:

FIGURA 4: TAMAÑO ECONÓMICO DE LOTE



Ha de tenerse en cuenta que el modelo del tamaño económico de lote oculta un punto débil importante: la hipótesis falsa de que las reducciones drásticas en los tiempos de preparación de las máquinas son imposibles (Shingo, 1985). En el apartado siguiente se verá cómo, no sólo es posible, sino también conveniente, reducir esos tiempos de preparación debido a las ventajas que ello conlleva.

³ El coste de almacenamiento se calcula así: la tasa de acumulación de inventarios es $TP - D$. Si Q es el tamaño óptimo del lote, la fabricación del mismo dura Q/TP y, de esta forma, el volumen máximo de inventario se obtiene multiplicando ambos términos, y el inventario medio, dividiendo entre dos dicho producto.

2.2. Fabricación en pequeños lotes

La producción de grandes volúmenes de producto y la producción en pequeños lotes son dos dimensiones compatibles. Aunque la cantidad total producida sea grande, los pedidos pueden fabricarse en el momento en que sean necesarios, en pequeñas cantidades, y sin acumular inventarios. La producción en pequeños lotes permite reducir y controlar las acumulaciones de inventarios. Sin embargo, la producción en grandes lotes siempre conlleva almacenamientos importantes en cualquier período de tiempo, con independencia de la demanda final.

Los mercados actuales se caracterizan cada vez más por una demanda personalizada y exigente. En consecuencia, las empresas deben competir ofertando una mayor variedad de productos con unos plazos de entrega muy cortos para satisfacer demandas específicas de los clientes. La producción en grandes lotes, caracterizada por la fabricación de un volumen elevado de un producto estandarizado, no satisface las nuevas condiciones del mercado. En contraste, la producción en pequeños lotes, característica del sistema de producción Just in Time (JIT), posee una inmejorable flexibilidad para adaptarse a los cambios, siendo, por tanto, capaz de responder al reto de la diversidad de productos. Esta capacidad es el origen de su fuerza, incluso en períodos de bajo crecimiento, cuando la cantidad vendida no aumenta (Ohno, 1988). A este respecto, y no con falta de ingenio, se ha dicho: la industria japonesa produce pequeñas cantidades ‘justo a tiempo’; la industria occidental produce enormes cantidades ‘por si acaso’. Al igual que la calidad perfecta, la producción Just in Time es más bien un ideal que se debe perseguir con dinamismo (Schonberger, 1986).

El sistema de producción Just in Time o sistema de producción Toyota es la antítesis de la producción en grandes lotes, no de la producción de un gran volumen de producto (Shingo, 1989). Así, en la producción JIT los productos también se destinan a un mercado masivo, pero que tiende a la personalización, puesto que se fabrica un elevado volumen total de productos diversos y en pequeños lotes. La producción JIT transforma una pieza de cada vez, siguiendo la secuencia del proceso. Para ello se colocan máquinas de uso general en el mismo orden que la secuencia de las operaciones necesarias para transformar las piezas formando ‘células de trabajo’ en forma de U, donde operarios polivalentes pueden atender varios equipos a la vez sin desplazarse, ya que las máquinas que tiene asignadas están a su frente y a su espalda. Todas las piezas, sean procedentes de procesos en planta o suministradas del exterior, se producen en pequeños lotes y se crean en flujo secuencial continuo pieza a pieza y no en grandes lotes. Este es el principio fundamental del sistema Toyota y una diferencia significativa con el sistema productivo en masa (Ohno, 1988).

LECTURA 1: EL JUST IN TIME LLEGA A ESPAÑA

Si hay algo que ha caracterizado a Japón durante los últimos años ha sido su voracidad vendedora. Y ahora, saturados ya los mercados habituales de artículos '*made in Japan*', empiezan una nueva aventura: la de exportar un sistema de producción.

Se trata del Just in Time (JIT). Sus conocedores aseguran que se trata de una buena herramienta para conseguir producir solamente los artículos necesarios y en la cantidad y el tiempo igualmente necesarios. Algo que, evidentemente, supone un importantísimo ajuste de costes y librarse del engorroso problema de almacenamiento.

El Just in Time empezó en Japón tras la II Guerra Mundial, pero es ahora cuando comienza a extenderse por Europa, después de haberse medio asentado en EE.UU. A España llega de la mano de Price Waterhouse, merced a un acuerdo con Kawasaki Heavy Industries, y también a través de la difusión del libro *El Sistema de Producción Toyota*, que ha editado la firma consultora y el Instituto de Estudios Superiores de la Empresa (IESE). Su autor, el profesor de universidad Tsukuba Yasuhiro Monden, ha estado esta semana en Madrid, en un acto organizado por la Asociación para el Progreso de la Dirección, explicando igualmente los entresijos del sistema.

La cuna del Just in Time es de Toyota. Su promotor, Taiichi Ohno, hoy primer vicepresidente de la firma, decidió en la década de los 50 que había que dar la batalla a las casas automovilísticas occidentales con base en la mejora de la productividad. Para ello investigó una a una las operaciones innecesarias que se realizaban en la empresa y, poco a poco, Ohno fue creando el sistema del que ahora Monden predica su bondad.

"Su presencia es", dice el profesor, "producir con gran flexibilidad para adaptarse a la demanda. La situación actual del mercado requiere producir una gran gama de productos, pero en series cortas. El JIT permite conseguir esto reduciendo costes y controlando cantidades y calidades". Aunque los casos difieren, Monden asegura que los costes de producción pueden rebajarse fácilmente hasta un 30 por ciento, la plantilla reducirse entre el 5 y el 30 por ciento al tercer año de la implantación del JIT y el almacenaje disminuir hasta en un 60 por ciento.

Como ejemplo valga citar que, desde 1980, Toyota Motor Company tiene existencias aproximadamente para sólo cuatro días de ventas y Toyota Sales Company para nueve. Y que en la división de motocicletas de Kawasaki, otra de las firmas con este sistema de producción, 1.400 operarios producen anualmente 420.000 unidades. Cada trabajador toca a casi una moto por cada día al año.

En Japón, casi todas las firmas han adaptado esta forma de producir y en Estados Unidos lo han hecho algunas de las más conocidas. Además de las del automóvil, se fabrica así en Hewlett-Packard, 3M, General Electric o Westinghouse. Pero Monden asegura que el JIT es rentable hasta en las pequeñas y medianas empresas, "porque no requiere cuantiosas inversiones, al basarse en el mejor aprovechamiento de las instalaciones y de los recursos humanos". Monden afirma que el JIT puede aplicarse en todo el mundo.

Fuente: Cebrián, B. (1987): "Justo a tiempo", *El País*, 10 de octubre, p. 15

Esta fabricación en pequeños lotes resultará posible de forma eficiente si se consigue reducir los tiempos de preparación de las máquinas y, como consecuencia, se obtendrá un ciclo de producción más corto y una mayor flexibilidad (variedad) en lo producido. Requisitos básicos son también la estandarización de las operaciones y la descentralización de los materiales y herramientas. Asimismo, se consigue reducir las existencias y tener un *feedback* más rápido ante problemas de calidad, tal y como se ha indicado previamente. A continuación, se analizan algunos de estos elementos implícitos en la fabricación en pequeños lotes: a) células de trabajo, b) reducción de los tiempos de preparación de las máquinas, c) estandarización de las operaciones y d) descentralización de materiales y herramientas.

2.2.1. Células de trabajo

La fabricación en flujo secuencial, en forma de U, se establece con equipos sencillos, modificados para ser flexibles o de uso general, y con trabajadores entrenados para

realizar diferentes tareas (Hall, 1983). Los catálogos de productos cambian, luego las distribuciones por flujo de productos deben ser susceptibles de fácil modificación. La política de inversiones en equipos debe orientarse hacia máquinas de uso general, que son fáciles de desplazar y de reinstalar. Algunas líneas de flujo secuencial pueden dedicarse enteramente a la producción de una pieza única, pero la mayoría debe prepararse para fabricar diferentes piezas. Las máquinas que no se pueden insertar en las líneas de flujo secuencial se colocan en talleres, que tienen muchas de las características del flujo funcional.

- *Flujo secuencial en U*

La producción en flujo secuencial minimiza el transporte interno, al estar colocadas las máquinas unas a continuación de otras y en el orden lógico de realización de las actividades productivas. El trabajador mueve el material automáticamente como una parte de la tarea. El transporte solamente incrementa los costes, nunca añade valor. Habitualmente, los costes de personal en los procesos productivos se distribuyen de la siguiente manera: un 45 por ciento para el proceso productivo en sí, un 5 por ciento para la inspección y otro tanto para las esperas. Mientras, el transporte representa el 45 por ciento restante de dichos costes. Reconvirtiendo el transporte manual en mecánico, los costes de personal se sustituyen por costes de equipo –una inversión sin ingresos–. Con esto en mente, la eliminación absoluta del transporte, a través de la mejora de la distribución en planta, no es un objetivo irrazonable (Shingo, 1989).

Mediante un flujo secuencial, los materiales se desplazan con arreglo a la secuencia de las tareas y no existe confusión acerca de cuál es la tarea que viene a continuación, o cuándo o dónde hay que trasladar el material transformado. Las máquinas y trabajadores que realizan las tareas están próximos entre sí, y la distancia que tiene que recorrer el material para completar la secuencia total de producción es pequeña.

LECTURA 2: TRABAJADORES POLIVALENTES EN TOYOTA

En 1947, distribuimos las máquinas en líneas paralelas en forma de L, e intentamos asignar un trabajador al cuidado de tres o cuatro máquinas a lo largo de la línea de fabricación. Sin embargo, nos encontramos con una fuerte resistencia entre los trabajadores de la fábrica, a pesar de que ese cambio no suponía un incremento del volumen de trabajo ni del horario. A nuestros especialistas no les gustó la nueva disposición, porque requería de ellos una prestación como operarios multi-especializados. No les gustó cambiar de ‘un operario, una máquina’ a un sistema de ‘un operario, varias máquinas en diferentes procesos’. Su resistencia era comprensible.

Fuente: Ohno, T. (1988): *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*, Productivity Press, Cambridge.

El flujo de la planta se organiza a través de células de trabajo con forma de U. Ahora bien, aunque las piezas mecanizadas en la célula en forma de U deben entrar por un brazo y salir por el otro, los trabajos del operario no tienen que ser necesariamente secuenciales. Esto haría perder tiempo en el desplazamiento y exigiría espacio en el centro de la célula para dos operarios, ‘espalda con espalda’. Para ello cada trabajador debe llevar a cabo actividades que están a su frente y a su espalda. Los operarios se asignan a una célula de trabajo, y no a una actividad en particular. Aunque la responsabilidad de cada trabajador no se especifica con detalle, las células tienen un

programa de producción muy estricto, que debe cumplirse diariamente. La responsabilidad del trabajo es de toda la célula, es decir, del equipo de trabajadores que realizan las tareas en la misma. También planifican y controlan las actividades que la dirección asigna a la célula. En este sentido, los incentivos se otorgan al equipo y no a cada trabajador de forma independiente.

Cada operario debe desarrollar varias tareas y dominar el uso de múltiples máquinas. De esta forma, el sistema de producción responderá mucho mejor a los cambios de volumen o en la combinación de productos. Respecto a los cambios de volumen, si el programa de producción se reduce a la mitad para una célula dotada de seis empleados de montaje, tres de ellos deben pasar a otro trabajo; los tres restantes realizarán el doble de tareas –no de trabajo– que realizaban antes (Schonberger, 1986). Las formas en U o serpentin son fáciles de ajustar para diferentes volúmenes de producción, aumentando o disminuyendo el número de trabajadores asignados. Es muy común que, conforme se esté preparando un producto para su lanzamiento, se comience con una pequeña célula, que incluya equipos menos costosos y complejos, y que, conforme se incremente la demanda, la célula se replique (Huge y Anderson, 1988).

- *Máquinas de uso general*

En lugar de comprar una única máquina cara, rápida y flexible, para ser compartida por diferentes familias de productos, una empresa debe diseñar y construir sus propias máquinas baratas con características operativas concretas. Estas máquinas deben ser de uso general, de forma que, con simples modificaciones, puedan usarse para fabricar una gran variedad de productos (Shingo, 1989). La compra de máquinas se realiza cuando se necesitan los conocimientos expertos y avanzados que oferta la industria de máquinas herramienta.

La empresa debería diseñar y fabricar sus máquinas, siempre que sea posible, por las siguientes razones: 1) se pueden hacer máquinas de pequeña capacidad y añadir más a medida que se necesiten, 2) se puede diseñar la máquina teniendo en cuenta las necesidades particulares de la empresa y, quizás, mantener más bajos los costes, 3) los conocimientos así acumulados permiten mejorar constantemente los equipos y hacerlos más seguros (Schonberger, 1986) y 4) los competidores no tienen acceso a estos conocimientos especializados de las máquinas que, por otra parte, pueden suponer una ventaja competitiva para la empresa. Dicho de otra forma, las tecnologías que soportan las máquinas que se ofrecen a través de catálogo están en el mercado a disposición de todos los competidores, por lo que no son fuente de ventajas competitivas.

A su vez, las máquinas poco costosas –fabricadas o compradas– se amortizan en un breve período de tiempo. Una vez que una máquina o un equipo están amortizados, esencialmente están libres de costes. De esta forma, no se producen tantas presiones para fabricar lo que sea (cuando no haga falta) con tal de mantener la máquina ocupada (Schonberger, 1986) y, así, cargar la amortización entre un mayor número de productos. Por ello, no existe sobrecarga alguna en los equipos de producción. Incluso, con frecuencia, las máquinas funcionan a ritmos inferiores a sus posibilidades de diseño. Este planteamiento reduce la posibilidad de atascos y averías, evita que se presione a los trabajadores, elimina los errores de calidad que pudieran deberse al apresuramiento y retrasa el desgaste de piezas y troqueles. Esto hace que los equipos de los fabricantes

japoneses, aunque similares a los de los fabricantes americanos, duren dos o tres veces más (Hayes, 1981).

LECTURA 3: CUIDAR BIEN LOS EQUIPOS VIEJOS

En el lenguaje de economía de empresa, se habla de ‘depreciación’, ‘valor residual’ o ‘valor remanente’, términos subjetivos adoptados en contabilidad, a efectos impositivos y por mera conveniencia. Por desgracia, parece ser que la gente ha olvidado que dichos términos nada tienen que ver con el valor real de la máquina.

Por ejemplo, a menudo oímos: esta máquina se ha depreciado y ha sido amortizada, y, por tanto, podemos desecharla en cualquier momento sin sufrir ninguna pérdida, o el valor de remanente de esta máquina es cero. ¿Por qué gastar dinero en una revisión general cuando podemos reemplazarla por un nuevo modelo y más avanzado? Esta forma de pensar es totalmente errónea.

Si una parte del equipo comprada en la década de los años veinte se mantiene y puede garantizar, en este momento, un índice potencial cercano al 100 por ciento y si, además, puede soportar el peso de la producción que se le ha asignado, el valor de la máquina no se ha reducido en absoluto. Por otra parte, si una máquina comprada el año pasado llega justo al nivel exigido y funciona sólo a la mitad de su índice potencial, deberemos considerar que su valor se ha reducido al 50 por ciento.

El valor de una máquina no debe determinarse por sus años de servicio o su edad. Se determina por su potencial de generación de beneficios que todavía posee.

Fuente: Ohno, T. (1988): *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*, Productivity Press, Cambridge.

La utilización de equipo menos costoso puede compensar una reducida utilización del equipo y, además, permite disponer de capacidad para hacer frente a las contingencias (Huge y Anderson, 1988). El coste por hora de un trabajador es generalmente mayor que el coste por hora de una máquina. Así, desde el punto de vista de reducción de costes, una máquina sin trabajar es preferible a un trabajador parado (Shingo, 1989).

- *Trabajadores polivalentes*

El personal es el que permite el mayor grado de flexibilidad en la fábrica (Huge y Anderson, 1988). La producción JIT contrata y forma operarios polivalentes, que pueden desempeñar varias tareas elementales, además de controlar la calidad de las piezas que fabrican y llevar a cabo las tareas relacionadas con el mantenimiento de las máquinas y la limpieza del lugar de trabajo. Para ello, cada trabajador recibe información y formación para solventar los pequeños problemas que, con frecuencia, se presentan en el curso de la jornada y buscar continuamente formas y modos de eliminar las potenciales interrupciones y mejorar la eficiencia del área de trabajo (Hayes, 1981). El trabajador es el activo más importante y más costoso de la empresa y debe estar permanentemente ocupado en tareas operativas.

LECTURA 4: INACTIVIDAD DE LA MÁQUINA VERSUS INACTIVIDAD DEL TRABAJADOR

Tomemos, por ejemplo, una empresa especializada en la fabricación de objetos mediante plástico inyectado. La fábrica está instalada en un medio rural. Su equipo se compone de máquinas de inyección cuya potencia varía entre las 140 y las 600 toneladas y el precio de compra oscila entre 0,6 y 1,5 millones de francos. Un obrero cuesta, incluidas las cargas sociales, unos 120.000 francos anuales. Se considera en ese tipo de empresa que el coste de salida de fábrica del producto medio se descompone, en porcentajes, de la siguiente manera: coste de la máquina (40 por ciento), coste de la mano de obra directa de producción (20 por ciento) y coste de la mano de obra indirecta y costes de estructura de la fábrica (40 por ciento). A su vez, el coste de las máquinas se desglosa en los siguientes porcentajes: amortizaciones (30 por ciento), impuestos, seguros, superficie (10 por ciento), energía (30 por ciento), reparación y conservación (25 por ciento) y lubricantes (5 por ciento).

Los costes del equipo representan, pues, una media de 30 por ciento + 10 por ciento = 40 por ciento del coste total de maquinaria, es decir, un 16 por ciento del coste de producción total.

Está claro que la no-utilización eventual del equipo tiene, como media, una incidencia menor sobre la explotación general de la fábrica que la no-utilización de su personal.

Fuente: Bounine, J. y Suzuki, K. (1986): *Produire Juste à Temps –Les Sources de la Productivité Industrielle Japonaise*, Masson, París.

2.2.2. Reducción del tiempo de preparación de las máquinas

La preparación de las máquinas, entendida como el intervalo que transcurre entre la salida de la última unidad producida de un tipo de producto y la primera unidad producida de otro tipo o modelo, tradicionalmente ha consumido una gran cantidad de tiempo y los fabricantes han soportado la ineficiencia extrema que ello causa. Las fábricas más costosas y tecnológicamente más sofisticadas se enfrentan, a menudo, con preparaciones de las máquinas tan complicadas que han de ser los ingenieros u otros expertos quienes hagan los ajustes definitivos, mientras que los operarios encargados de manejarlas permanecen inactivos. Esto es una pérdida de tiempo para el trabajador e, incluso, puede resultar humillante (Schonberger, 1986). Además, esas tareas de preparación suelen conllevar mucho tiempo, incluso varias horas lo que supone que la empresa estará pagando a los trabajadores que las manejan por no hacer nada. Esto explica por qué muchas de las tareas de preparación procuran realizarse en algunas empresas fuera del horario de trabajo habitual.

En el ámbito de la producción en masa se encontró una solución a este problema: aumentar el tamaño de los lotes. Así, se conseguía reducir el coste unitario de preparación. Ahora bien, al fabricar toda la cantidad necesaria del producto *A* para conseguir un lote grande, la empresa tal vez no pueda responder a la demanda de otro producto *B* a tiempo. Para poder responder a esa demanda de producto *B* es necesario acortar el tiempo de preparación de las máquinas y los costes asociados a dicha tarea, lo cual permite reducir el tamaño de los lotes y que el coste unitario de preparación siga siendo reducido (Shingo, 1985). Los fabricantes tradicionales, sin embargo, han realizado muy pocos esfuerzos para reducir los tiempos de preparación de las máquinas. Al contrario, buscando aumentar la productividad de la mano de obra directa, han dedicado las fábricas a producir grandes lotes, de forma que el número de preparaciones de máquinas fuese el mínimo posible.

En la práctica, si se reducen los tiempos de preparación de las máquinas se eliminan las ventajas de fabricar en grandes lotes. Así, por ejemplo, si una preparación de cuatro

horas se redujera a cuatro minutos, entonces, incluso sin aumentar el tamaño del lote, la relación entre las horas de preparación y las de operación principal podría hacerse extremadamente pequeña. Siendo esto así, los intentos de mitigar los efectos del tiempo de preparación a base de producir en grandes lotes no tendrían valor alguno (Shingo, 1985). De hecho, gran parte del trabajo necesario para llegar a la producción sin existencias tiene que ver con la mecanización y perfeccionamiento de los procedimientos de preparación de las máquinas, no con el incremento de la velocidad del equipo productivo (Nakane y Hall, 1983).

En la **Tabla 1** se aprecia que, para un tiempo de preparación de 4 horas, el tiempo total de operación cuando se fabrican lotes de 10.000 unidades disminuye un 70 por ciento respecto a la fabricación de lotes de 100 unidades. Sin embargo, si el tiempo de preparación fuera de 4 minutos, la reducción no alcanza el 4 por ciento. Además, para un tiempo de preparación de 4 minutos, la fabricación de lotes de 2 unidades presenta un tiempo de operación total por pieza ligeramente inferior a lotes de 100 unidades cuando el tiempo de preparación es de 4 horas.

TABLA 1: RELACIÓN ENTRE TIEMPO DE PREPARACIÓN Y TAMAÑO DEL LOTE

Tiempo de preparación	Tamaño del lote	Tiempo de operación por pieza	Tiempo de operación total por pieza
4 horas	100	1 minuto	$1 \text{ min.} + \frac{4 \times 60}{100} = 3,4 \text{ min.}$
4 horas	10.000	1 minuto	$1 \text{ min.} + \frac{4 \times 60}{10.000} = 1,024 \text{ min.}$
4 minutos	100	1 minuto	$1 \text{ min.} + \frac{4}{100} = 1,04 \text{ min.}$
4 minutos	10.000	1 minuto	$1 \text{ min.} + \frac{4}{10.000} = 1,0004 \text{ min.}$
4 minutos	2	1 minuto	$1 \text{ min.} + \frac{4}{2} = 3 \text{ min.}$

El tiempo de preparación de las máquinas se puede reducir con la ayuda del sistema *Single Minute Exchange of Die* (SMED), desarrollado por Shingo, que constituye uno de los pilares básicos del sistema de producción Toyota (Shingo, 1989). El objetivo último del SMED es reducir el tiempo de preparación de las máquinas a menos de diez minutos, tal y como refleja su propia denominación (‘Cambio de Útiles en Minutos de un Sólo Dígito’). La disminución del tiempo de preparación permite reducir el tamaño de los lotes y el nivel de existencias, así como el plazo de fabricación (Suzaki, 1987). De igual manera, incrementa la flexibilidad para responder a los cambios de programa, promueve *feedback* más rápidos en los problemas de calidad y permite contar con horizontes de planificación más cortos (Huge y Anderson, 1988).

Los lotes de producción grandes fomentan la previsión de la demanda para períodos de tiempos largos, ya que, de poco serviría prever la demanda para el próximo mes, si ésta fuese de 10 unidades y la producción eficiente por lotes ascendiese a 100 unidades. En consecuencia, como mínimo, para este caso habría que prever la demanda para diez meses. Un mayor horizonte de previsión de la demanda, no sólo incrementa los inventarios, sino que facilita incurrir en errores (O’Grady, 1988). En este sentido, una de las ventajas más importantes de reducir los tiempos de preparación a cifras de un sólo

dígito es que la empresa puede pasar de trabajar contra almacén a fabricar bajo pedido (Harmon y Peterson, 1990). En nuestro ejemplo, si se logra reducir los tiempos de preparación, de forma que resulte eficiente la producción en lotes de 10 unidades, el horizonte de planificación de la producción se reducirá a un mes. En caso contrario, se fabricarían lotes de 100 unidades para atender la demanda de los próximos diez meses, por lo que se incurriría en elevados niveles de inventarios.

La **Tabla 2** compara los tiempos de preparación de máquinas de la empresa Toyota y de otras tres empresas occidentales en los años 70, cuando únicamente la primera estaba aplicando el sistema SMED. Como puede comprobarse, existe una fuerte relación entre el tiempo de preparación y el tamaño del lote.

TABLA 2: COMPARACIÓN DE LOS TIEMPOS DE PREPARACIÓN DE MÁQUINAS ENTRE DIVERSOS FABRICANTES DE AUTOMÓVILES
Sugimori *et al.* (1977)

	Toyota	A (EE.UU.)	B (Suecia)	C (Alemania)
Tiempo de preparación (horas)	0,2	6	4	4
Número de preparaciones al día	3	1	-	0,5
Tamaño del lote (días de uso)	1	10	31	-

La aplicación del sistema SMED consta de cuatro etapas conceptuales (Shingo, 1985):

1. Diferenciar las preparaciones internas de las externas. Las operaciones de preparación que sólo se pueden realizar cuando la máquina está parada se denominan internas y las que pueden completarse mientras la máquina está funcionando se denominan externas. Dominar la distinción entre preparación interna y externa constituye el pasaporte para alcanzar el éxito en la aplicación del SMED.
2. Separar la preparación interna de la externa. El tratamiento de las operaciones externas como tales reducirá el tiempo de preparación entre un 30 y un 50 por ciento.
3. Convertir la preparación interna en externa. Comprende dos pasos importantes:
 - a) Reevaluación de operaciones para verificar si algunos pasos están erróneamente considerados como internos.
 - b) Búsqueda de formas para convertir esos pasos en externos.
4. Perfeccionar todos los aspectos de la operación de preparación. En este sentido han de considerarse los siguientes principios para reducir el tiempo de preparación, tanto interna como externa.
 - La eliminación de ajustes es un elemento clave en la reducción de la preparación interna, ya que el ajuste ocupa, en algunos casos, del 40 al 50 por ciento del tiempo total de preparación. La clave no consiste en reducir el ajuste, sino en ‘eliminarlo’ mediante un pensamiento creativo (Suzaki, 1987). Por ejemplo, ajustando las herramientas en un sólo movimiento (*one touch up*).

- Las operaciones paralelas son otra forma de reducir la preparación interna. Se pueden asignar más personas y máquinas auxiliares a la preparación. A diferencia de la preparación llevada a cabo por un único operario, las operaciones en paralelo desarrollan, asimismo, un espíritu de trabajo en equipo (Suzaki, 1987). En este sentido, la reducción del tiempo de preparación no reduce necesariamente de forma directa los costes unitarios de los productos. En muchos casos, sólo supone un cambio de la categoría de costes. Es decir, para disminuir los tiempos de preparación se utilizan máquinas auxiliares, lo que provoca un incremento de los costes fijos, que viene a compensar la disminución de los costes de preparación (ver **Figura 5**). En cualquier caso, aunque los costes permanezcan igual, se consigue una ventaja competitiva sostenible al disminuir el tamaño del lote eficiente.

LECTURA 5: LA TÉCNICA SMED

Mediante la técnica SMED, empresas de los Estados Unidos están logrando resultados parecidos a los de Toyota en Japón. Hay cientos de ejemplos. Considérense los siguientes:

- NUMMI puede cambiar todos los troqueles en una línea de prensas en unos catorce minutos. El proceso tarda unas cuantas horas en una planta típica de los Estados Unidos.
- Omark Corporation introdujo un programa SMED, y su planta de Oroville, Oregón, redujo el tiempo de preparación de los troqueles de prensas de seis horas y media a cuarenta segundos.

En 1986, la revista *Automotive Industries* organizó un concurso de cambio rápido de troqueles para la industria automovilística. Participaron en la competencia cinco plantas estadounidenses de estampado. Los participantes compitieron en tres categorías definidas por el nivel de automatización de línea: ‘completamente automatizada’, ‘semiautomatizada’ y ‘manual’.

En la categoría ‘completamente automatizada’, en la instalación de Nissan en Smyrna, Tennessee, se cambiaron los troqueles en trece minutos y diecisiete segundos. En 1985, el proceso tardó veinticinco minutos. La instalación completamente automatizada de Buick-Oldsmobile-Cadillac (BOC) de General Motors en North Lansing, Michigan, tardó diez minutos y treinta segundos, frente a cuatro horas en 1985.

En la categoría ‘semiautomatizada’, la planta de Honda en Maryville, Ohio, tardó apenas cinco minutos y catorce segundos, frente a ocho minutos en 1985. Y el equipo BOC de GM en South Lansing, Michigan, cambió los troqueles en trece minutos y siete segundos, frente a noventa minutos en 1985.

En la categoría manual, la planta BOC de GM en Lordstown, Ohio, necesitó veintiséis minutos, en comparación con doce horas en 1985.

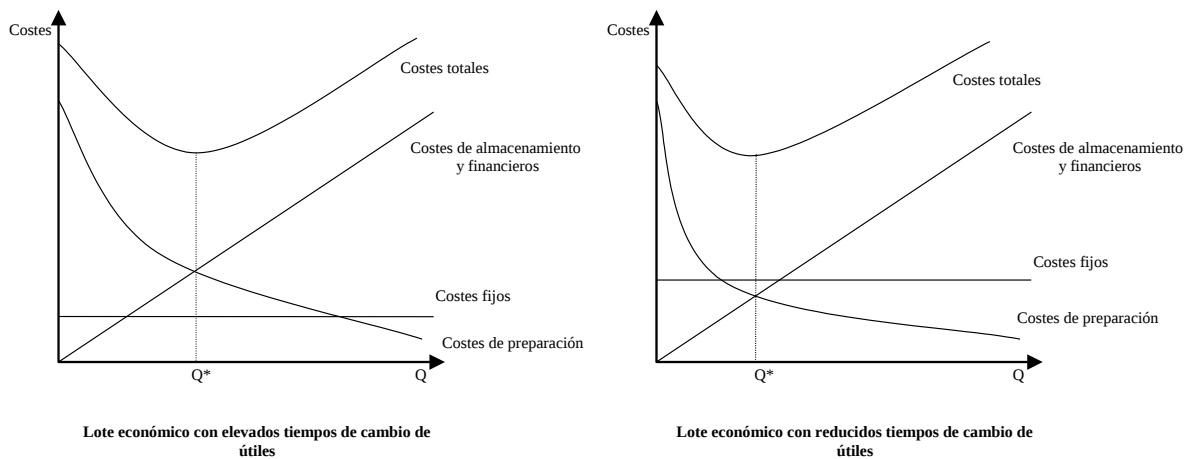
Estas mejoras en los tiempos de cambio, que van desde reducciones del 47 al 96 por ciento, se habrían considerado imposibles hace apenas cuatro años.

Como lo indican estos resultados, los fabricantes pueden disminuir considerablemente el despilfarro reduciendo los tiempos de ajustes y pasando a la producción de lotes pequeños que se ajusten a la demanda del cliente.

Fuente: O’Neal, C. y Bertrand, K. (1990): *Developing a Winning J.I.T. Marketing Strategy: The Industrial Marketer’s Guide*, Prentice Hall, Nueva York.

- La organización del lugar de trabajo es clave también para reducir el tiempo de preparación externa. La utilización de una cámara de vídeo, a menudo, es útil para examinar de modo objetivo las operaciones de preparación y estudiar cuáles de ellas se pueden eliminar.

FIGURA 5: ESTRUCTURA DE COSTES



- Un adecuado proyecto de reducción del tiempo de preparación, en el que intervengan operarios, ingenieros, personal de mantenimiento y de control de calidad, elevará la moral de trabajo y, en la mayoría de los casos, podrán conseguirse tiempos de preparación inferiores a diez minutos.
- La forma ideal de reducir el tiempo de preparación consiste en estandarizar los componentes, las piezas y las materias primas. Si podemos evitar la proliferación de componentes, aumentando el empleo de módulos comunes, la gestión de la producción se beneficiará sensiblemente. En este sentido, una estrecha colaboración en lo referente al desarrollo de nuevos productos entre los encargados del diseño y el personal de producción es un factor esencial para aumentar la estandarización de los componentes (Suzaki, 1987).

En definitiva, los tiempos de cambio de útiles y herramientas pueden reducirse en un 95 por ciento, siguiendo las pautas anteriores, en solamente unos pocos meses (Shingo, 1989). Sin embargo, en Occidente no se utiliza esta técnica, entre otras, por las siguientes razones (Harmon y Peterson, 1990):

1. Demasiados directivos prefieren comprar máquinas nuevas en lugar de mejorar los procedimientos utilizados con las existentes.
2. La mayoría de los ingenieros están acostumbrados a buscar soluciones demasiado complejas y/o automatizadas para reducir el tiempo de preparación de las máquinas.
3. Los métodos convencionales de justificación de costes impiden a algunas empresas la realización de mejoras para reducir los tiempos de cambio de útiles.
4. En algunos casos, un equipo nuevo viene preparado para favorecer el cambio rápido. No obstante, es un error creer que la adquisición de nuevos equipos es la única manera de conseguir una reducción en los tiempos de preparación.

La reducción del tiempo de preparación de las máquinas, además de contribuir a disminuir el tamaño del lote, proporciona ventajas adicionales en dos aspectos relevantes: reducción del ciclo de producción y mayor flexibilidad de la mezcla.

- *Reducción del ciclo de producción*

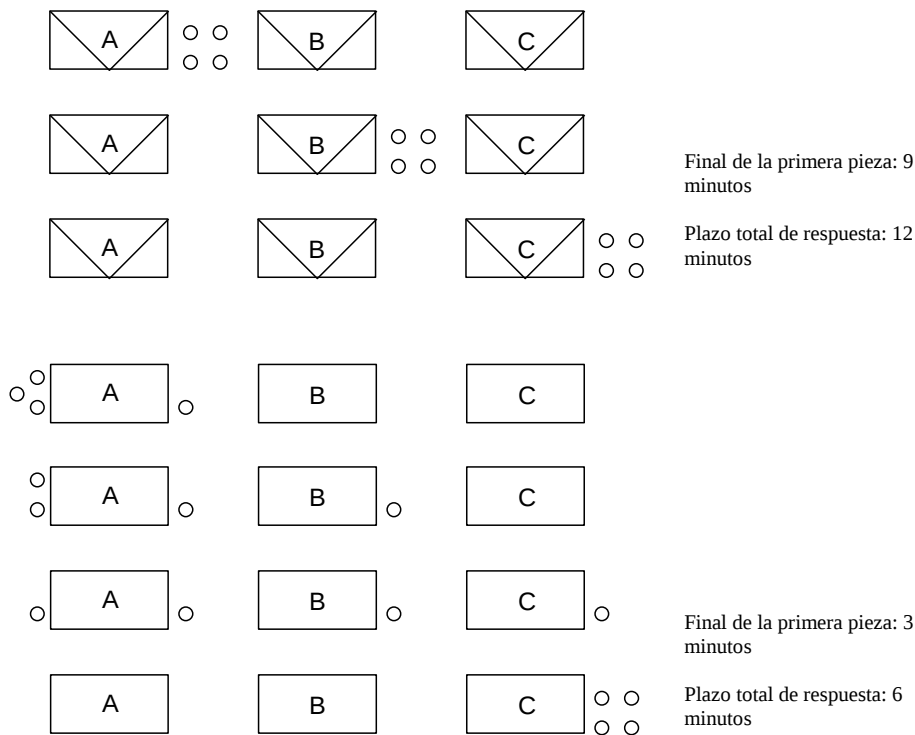
La disminución del tiempo de preparación de las máquinas, y la consiguiente reducción de los inventarios de trabajo en curso, permiten acortar los plazos de respuesta de las fábricas. Es decir, facilitan la reducción del ciclo de producción, definido éste como el tiempo total requerido para la fabricación de un producto, o sea, el tiempo que transcurre entre el inicio de la primera transformación y el final de la última tarea.

En una fábrica convencional, la producción en cada taller se organiza en grandes lotes. En el ejemplo de la **Figura 6**, tres centros (A, B, y C) deben realizar transformaciones consecutivas en un lote de 4 piezas, que son transferidas en bloque de un centro a otro. Se supone un tiempo de procesado de cada pieza en cada máquina de un minuto. El centro de trabajo C comienza su tarea al cabo de 8 minutos y el plazo de respuesta de la fábrica es de 12 minutos para la producción de las cuatro piezas y de 9 minutos para la finalización de la primera pieza.

Con unas existencias elevadas de productos semiterminados, el tiempo real invertido en la transformación del producto representa un pequeño porcentaje (a menudo, inferior al 5 por ciento) del tiempo total correspondiente al ciclo completo de fabricación. Durante la mayor parte de este ciclo, el producto permanece en almacén a la espera de ser transformado. Aunque la aceleración de la producción hace que los productos no permanezcan en cola, una gran fábrica exigiría todo un ejército de personas encargadas de acelerar la producción (Walleigh, 1986).

En una producción en pequeños lotes no existen apenas productos en curso. Las piezas, por el contrario, se transforman y transfieren una tras otra: si cada unidad se traslada al centro siguiente, una vez que sale del anterior, los centros B y C podrán operar al mismo tiempo que el centro A (ver **Figura 6**). El centro B deberá esperar mientras el centro A está actuando sobre la primera unidad, pero sólo un minuto (tiempo de procesado en el ejemplo propuesto). El centro C, asimismo, tendrá que esperar a que el B actúe sobre su primera unidad, pero, nuevamente, un minuto. Así pues, para producir las 4 unidades, procesadas en tres centros diferentes, el tiempo total requerido es de seis minutos y tres minutos para la terminación de la primera pieza. Con la fabricación en pequeños lotes no se producen grandes acumulaciones de existencias, de forma que el ciclo de producción se reduce, generalmente, en un 90 por ciento o más (Walleigh, 1986).

FIGURA 6: PRODUCCIÓN EN GRANDES LOTES Y EN PEQUEÑOS LOTES



- *Mezcla de productos*

La mezcla de productos tiene como objetivo la fabricación de una combinación de productos diferentes durante un intervalo de tiempo preestablecido. Lo que caracteriza este esquema es la discontinuidad en la producción de cada producto (Ohno, 1988). Supongamos que en una empresa se tienen que fabricar 10.000 unidades de producto A, 5.000 unidades de producto B y 5.000 unidades de producto C. Si se utilizara un sistema productivo rígido o en masa se fabricarían primero todas las unidades de un tipo (A, por ejemplo), luego las de otro (B, por ejemplo) y, por último, todas las del tercer tipo. Así, se minimizarían las preparaciones de las máquinas. Con una tecnología productiva donde se hayan conseguido reducir los tiempos de preparación de las máquinas se pueden intercalar los diferentes productos. Si se tienen 20 días de producción en el mes, entonces se podrían producir diariamente 1/20 de cada modelo: 500A, 250B y 250C. Además, las unidades individuales se mezclarían conforme avanzan en la línea de producción. La secuencia, en el límite podría ser AABC/AABC/AABC. Dos unidades de A se producirían por cada unidad de B y C. La secuencia se repetiría continuamente. En algunos casos, no sería posible ni económico alcanzar una producción perfectamente mezclada en la línea de ensamblado final. Aún así, se podrían programar lotes muy pequeños, suponiendo tiempos de preparación reducidos.

La producción de una mezcla de modelos elimina la acumulación de trabajo en proceso, responde rápidamente a las fluctuaciones de la demanda y facilita la planificación, permitiendo conocer al principio del proceso la carga media resultante (Shingo, 1989).

2.2.3. Estandarización de las operaciones

La estandarización de las operaciones es una herramienta para lograr el máximo rendimiento con el mínimo desperdicio. Requiere tres elementos: duración del ciclo, alta calidad en cada centro de trabajo y equilibrado de la línea.

La duración del ciclo impulsa en la línea de producción un flujo uniforme y estable de artículos. Por otra parte, sólo si se lleva a cabo un correcto mantenimiento de las máquinas y se busca la calidad en el origen, la fábrica producirá el resultado deseado. Finalmente, la coordinación de operaciones diferentes –o equilibrado de línea– en una fábrica constituye la clave de un rendimiento correctamente integrado (Suzaki, 1987).

El ciclo de producción de un centro de trabajo es el inverso de la cantidad que se va a producir multiplicado por el tiempo operativo disponible al día.

$$\text{Ciclo de producción} = \frac{\text{Tiempo operativo disponible diario}}{\text{Cantidad diaria a producir}}$$

El hecho de que la cantidad que se prevé producir figure en el denominador de la fracción significa que el ciclo de producción del centro de trabajo ha de poder variar si lo hace la demanda de su cliente, es decir, del centro de trabajo siguiente. En el Just in Time se pueden añadir o quitar trabajadores en una célula de trabajo según se necesite aumentar o disminuir el ritmo de producción de la célula. Se trata, en suma, de tener ocupado al trabajador.

LECTURA 6: MANO DE OBRA FLEXIBLE (SHOJINKA)

Por ejemplo, en una línea de producción, 10 trabajadores producían 100 piezas de productos al día. Se introdujeron mejoras para incrementar la eficiencia. Ahora, 10 trabajadores pueden producir 120 piezas al día, un incremento de la eficiencia del 20 por ciento.

En ese momento aumentó la demanda, por lo que la producción podía incrementarse a 120 piezas por día, sin tener que incrementar la mano de obra. Obviamente, esta reducción de coste aumentaría los beneficios.

Ahora, supongamos que la demanda del mercado, es decir, que la cantidad requerida de producción, baja de 100 a 90 piezas por día. ¿Qué ocurre? Si seguimos fabricando 120 piezas diarias debido a nuestra mejora en la eficiencia, tendremos de 20 a 30 piezas sobrantes diarias. Esto incrementará nuestros gastos de material y trabajo, generando un grave problema de stock. En un caso como éste, ¿cómo podemos mejorar la eficiencia y, al mismo tiempo, reducir costes?

El problema se solventa mejorando el proceso, de forma que 8 trabajadores puedan producir las 100 piezas exigidas diariamente. Si se necesitan 90 piezas, se utilizarán 7 trabajadores. Todo esto requiere que se mejore el proceso.

En Toyota, el incrementar la eficiencia mediante el aumento de la producción, mientras la demanda real o cantidad necesaria permanece estable, o incluso baja, se denomina ‘incremento aparente (incremento de los cálculos) de la eficiencia’.

Fuente: Ohno, T. (1988): *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*, Productivity Press, Cambridge

Mantener los materiales en flujo secuencial constante a través de un proceso de producción totalmente integrado significa, sin duda, que el equipo debe cuidarse bien,

que se debe tener en reserva una cierta capacidad de producción y que las piezas fabricadas han de estar libres de defectos (Nakane y Hall, 1983).

El problema de la capacidad en la célula se resuelve nivelando el volumen de producción: mediante promediación de la variedad y el volumen de las cargas para reducir las fluctuaciones en los procesos (regulación de la producción). Además, todas las operaciones deben precisar, aproximadamente, el mismo tiempo para su ejecución. Si las operaciones no están equilibradas, tiende a constituirse inventario alrededor de las operaciones más rápidas. No es bueno, por lo tanto, hacer nada más rápido que la operación más lenta del conjunto del proceso. Cuando la producción se nivela y se establece una duración del ciclo, se comienza a establecer una disciplina en toda la fábrica.

2.2.4. Descentralización de materiales y herramientas

Un buen diseño de células, no sólo incluye la organización de las máquinas, también conlleva almacenes descentralizados de materiales, piezas y herramientas para cada célula o grupo de células. Las ventajas de tener un almacén descentralizado son las siguientes: 1) aumentar la responsabilidad sobre el inventario para evitar faltas inesperadas y 2) reducir los costes de transporte relacionados con la recepción y el almacenamiento de materiales. Dado que estos dos costes no añaden valor al producto, se deben eliminar o, por lo menos, reducir al mínimo (Harmon y Peterson, 1990).

La organización en células de trabajo hace posible volver a los sencillos y económicos métodos de gestión de los materiales de la fábrica pequeña: en cuanto eran recibidos los materiales y componentes, se transportaban y almacenaban cerca del proceso en el que se utilizaban. Así, los operarios y montadores tenían los materiales a mano, podían ver todos los materiales utilizados, controlar su disponibilidad y avisar de antemano sobre posibles carencias. Con la fábrica grande se introdujo una función de almacén de materiales, por lo que se perdieron las ventajas de la descentralización.

De forma similar a los materiales y componentes, se debe proceder a la descentralización de las herramientas, planteamiento que fue ideado por Henry Ford: cuando se necesitan útiles, hay que obtenerlos inmediatamente. Es fácil de imaginar lo ineficaz que sería que un operario se detuviera después de montar cada unidad, devolviera las herramientas que usaba al almacén y volviera a recogerlas para montar la siguiente unidad. Las herramientas para el cambio de máquinas deben constituir una parte integrante de la instalación de montaje. Más aún, deben situarse lo más próximas posible a sus puntos de utilización para minimizar el tiempo y los movimientos perdidos (Harmon y Peterson, 1990). Además, en la medida en que los operarios realizan algunas de las tareas de mantenimiento, también deberían estar descentralizadas determinadas piezas de repuesto.

3. MÉTODOS DE GESTIÓN Y PLANIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES DE MATERIALES E INVENTARIOS

Como se ha señalado previamente, la cantidad de inventarios es generalmente mayor bajo una tecnología productiva apoyada en la fabricación de grandes lotes. Los primeros modelos desarrollados para tratar de gestionar estos materiales de forma eficiente se basan en que dichos inventarios son de demanda independiente (su demanda depende de

la demanda del mercado). Sin embargo, muchos de los materiales que se gestionan en una organización son de demanda dependiente, es decir, su demanda depende de la de otros productos, componentes o materiales, que también forman parte del inventario. Así, por ejemplo, para un fabricante de relojes, la demanda de manecillas es dependiente, mientras que la del producto final (el reloj) es independiente. Cuantos más relojes se demanden, más manecillas serán necesarias para el montaje. Por tanto, la demanda de estas manecillas depende de la demanda final de relojes. Los modelos como el del Tamaño Económico de Pedido no son adecuados para planificar las necesidades de materiales de demanda dependiente. Con el fin de gestionar dichos inventarios surge la Planificación de los Requerimientos de Materiales, que fue evolucionando y perfeccionándose con el tiempo, tal y como se describe en este apartado, para ir paulatinamente englobando más aspectos.

Los materiales han de gestionarse también en aquellas plantas productivas caracterizadas por producir con menores tamaños del lote y menor cantidad de existencias. Los mecanismos más destacables desarrollados con este fin se relacionan, de nuevo, con las técnicas de producción JIT: en concreto, con el conocido sistema *kanban*. El funcionamiento del mismo se explica también en este apartado.

Tradicionalmente los enfoques de la Planificación de los Requerimientos de Materiales (MRP) y el sistema *kanban* se han contemplado como sistemas antagónicos para gestionar los inventarios y materiales en las fábricas. Sin embargo, las nuevas tendencias señalan la posible conciliación e, incluso complementariedad, de ambas técnicas o visiones.

Finalmente, la última sección de este apartado se detiene en el estudio de la Fabricación Sincronizada y la Teoría de las Restricciones, que plantean un enfoque alternativo a la gestión de los materiales en la planta productiva, basándose en la idea de equilibrar el flujo de materiales a lo largo de la misma y permitiendo la acumulación de existencias únicamente en determinados puntos: los cuellos de botella y los recursos de capacidad restringida.

3.1. La Planificación de los Requerimientos de Materiales y su evolución: Del MRP I al ERP

Las técnicas desarrolladas bajo este enfoque se encuadran dentro de los sistemas de empuje o *push*. Esto significa que se inicia la producción anticipándose a la demanda futura. Cronológicamente, el MRP I es la primera de estas técnicas y la más sencilla, aunque también la que más problemas presenta, porque no tiene en cuenta elementos relevantes, como la capacidad real de las secciones productivas. El MRP II, por su parte, supone un paso más, e incluye en la planificación más aspectos adicionales que el MRP I, esto es, más elementos que, únicamente, los requerimientos de materiales propiamente dichos. Por último, el ERP es un amplio elenco de herramientas, que pretenden equilibrar demanda y oferta a lo largo de toda la cadena de valor añadido, interconectando la empresa, sus proveedores y sus clientes mediante sistemas de información.

La Planificación de los Requerimientos de Materiales (*Material Requirements Planning* –MRP–) surgió en los años 60 con el fin de gestionar los materiales y componentes. El texto básico que desarrolla el MRP se debe a Joseph Orlicky (1975) y fue la APICS

(*American Production and Inventory Control Society*) quien contribuyó a su expansión y conocimiento. La lógica básica del MRP trata de dar respuesta a las cuestiones siguientes (Wallace y Kremzar, 2001):

1. ¿Qué tenemos que fabricar y cuándo?
2. ¿Qué componentes necesitamos para ello?
3. ¿Qué materiales tenemos disponibles?
4. ¿Qué necesitamos comprar o fabricar y cuándo?

La Planificación de los Requerimientos de Materiales se apoya en el programa maestro de fabricación (qué tenemos que fabricar y cuándo), la lista de materiales (qué componentes necesitamos) y los registros de inventarios (qué materiales tenemos disponibles), con el fin de determinar los requerimientos futuros de materiales (qué necesitamos comprar o fabricar y cuándo).

Veamos cómo funciona el MRP con un ejemplo. Sea una carpintería metálica que fabrica percheros con un diseño como el mostrado en la **Figura 7**. La lista de materiales para el ensamble de dicho perchero, las existencias disponibles de componentes y los plazos de fabricación o ensamble se muestran, respectivamente, en la **Figura 8** y en la **Tabla 3**. Se necesita determinar los requerimientos de materiales, tanto de los percheros como de cada una de sus partes, sabiendo que la demanda de percheros es de 150 unidades en el período 6 y 250 en el período 8.

En la **Tabla 4** se muestra cuándo y en qué cuantía deben ser emitidas las órdenes de fabricación, o los pedidos a proveedores en su caso, para cada una de las piezas y componentes del perchero, así como para el producto final. Para la elaboración de esta tabla se han considerado las necesidades brutas de materiales a las que se han restado las existencias disponibles y se ha determinado cuándo emitir las órdenes de fabricación o realizar los pedidos en función de los plazos de producción o de entrega de los proveedores.

Realmente la aplicación de un MRP I requiere la utilización de un ordenador, ya que en una empresa pueden fabricarse muchos artículos distintos con cientos de componentes intermedios y, sólo así, puede gestionarse tal cantidad de información. Es por este motivo que todo su potencial de aplicación no pudo aprovecharse hasta que la disponibilidad y coste de los ordenadores resultaron asequibles para las empresas. Así pues, podemos entender el MRP como un *software* que permite calcular la cantidad que se necesita de cada componente y cuándo se necesita. Su objetivo es realizar un número determinado de productos finales en un período especificado de tiempo.

El MRP requiere que cada implicado en el proceso productivo sea completamente consciente de la necesidad de introducir en el sistema de información cualquier novedad que se produzca respecto al nivel de inventarios, los pedidos y la demanda prevista, con el fin de actualizar la información disponible en el sistema. El objetivo es evitar la acumulación de errores con respecto a los inventarios, las cantidades necesarias de cada componente y qué partes son necesarias para cada producto (Aggarwal, 1985).

FIGURA 7: DISEÑO DEL PERCHERO

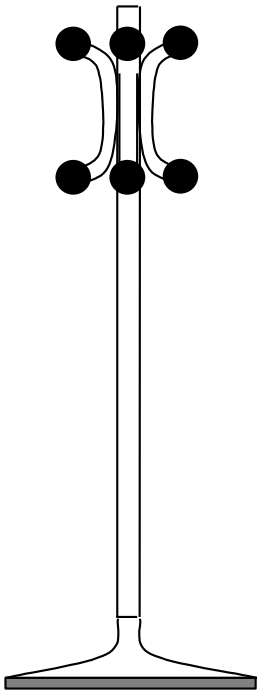


FIGURA 8: LISTA DE MATERIALES DEL PERCHERO

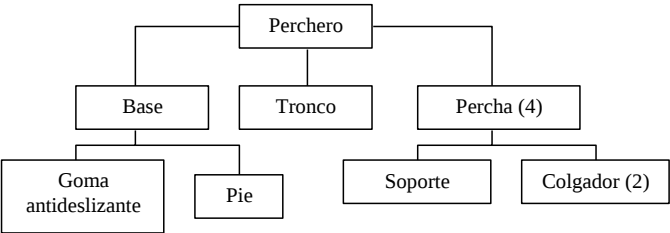


TABLA 3: EXISTENCIAS DISPONIBLES Y PLAZOS DE FABRICACIÓN

Elemento	Existencias	Plazo fabricación
Perchero	20	1
Bases	10	1
Pies	5	2
Gomas antideslizantes	15	3
Tronco	3	2
Perchas	12	1
Soportes	2	2
Colgadores	7	2

TABLA 4: EXPLOSIÓN DE LAS NECESIDADES DE MATERIALES

		1	2	3	4	5	6	7	8
Perchero	Requerimientos brutos	-	-	-	-	-	150	-	250
	Existencias	20	20	20	20	20	-	-	-
	Requerimientos netos	-	-	-	-	-	130	-	250
	Órdenes	-	-	-	-	130	-	250	-
Base	Requerimientos brutos	-	-	-	-	130	-	250	-
	Existencias	10	10	10	10	-	-	-	-
	Requerimientos netos	-	-	-	-	120	-	250	-
	Órdenes	-	-	-	120	-	250	-	-
Goma antideslizante	Requerimientos brutos	-	-	-	120	-	250	-	-
	Existencias	15	15	15	-	-	-	-	-
	Requerimientos netos	-	-	-	105	-	250	-	-
	Órdenes	105	-	250	-	-	-	-	-
Pie	Requerimientos brutos	-	-	-	120	-	250	-	-
	Existencias	5	5	5	-	-	-	-	-
	Requerimientos netos	-	-	-	115	-	250	-	-
	Órdenes	-	115	-	250	-	-	-	-
Tronco	Requerimientos brutos	-	-	-	-	130	-	250	-
	Existencias	3	3	3	3	-	-	-	-
	Requerimientos netos	-	-	-	-	127	-	250	-
	Órdenes	-	-	127	-	250	-	-	-
Perchas	Requerimientos brutos	-	-	-	-	520	-	1000	-
	Existencias	12	12	12	12	-	-	-	-
	Requerimientos netos	-	-	-	-	508	-	1000	-
	Órdenes	-	-	-	508	-	1000	-	-
Soporte	Requerimientos brutos	-	-	-	508	-	1000	-	-
	Existencias	2	2	2	-	-	-	-	-
	Requerimientos netos	-	-	-	506	-	1000	-	-
	Órdenes	-	506	-	1000	-	-	-	-
Colgadores	Requerimientos brutos	-	-	-	1016	-	2000	-	-
	Existencias	7	7	7	-	-	-	-	-
	Requerimientos netos	-	-	-	1009	-	2000	-	-
	Órdenes	-	1009	-	2000	-	-	-	-

El MRP I no tiene en cuenta, al realizar la planificación de materiales, las restricciones de capacidad del sistema productivo. De esta forma, puede pedir en un momento dado que se emita una orden de fabricación que exceda de la capacidad del taller o sección que tiene que ejecutar dicha orden. La Planificación de los Requerimientos de Capacidad (*Capacity Requirements Planning –CRP–*) pretende acoplar el plan de requerimientos de materiales a la capacidad de la planta. Utilizando las fechas de emisión de órdenes del MRP I, la CRP se basa en los tiempos de procesamiento y preparación para estimar la carga de trabajo en cada sección de la planta. Las secciones de trabajo críticas serán aquellas cuya carga de trabajo prevista supere su capacidad productiva actual. Una vez identificadas las secciones críticas, la programación de órdenes propuesta por el MRP I puede cambiarse, quizá emitiendo algunas órdenes antes de lo planeado, cambiando el tamaño del lote de algunos elementos, recurriendo a horas extra, subcontratando parte de la producción, o transfiriendo parte de la carga de

trabajo a otra sección. En caso de no poder atender a tiempo todos los pedidos planificados, deberá establecerse cuáles son prioritarios.

La Planificación de las Necesidades de Manufactura (*Manufacturing Requirements Planning* –MRP II–) es un sistema de información que enlaza el sistema básico MRP I con el sistema financiero de la empresa. Realmente, incorpora tres elementos adicionales:

1. Planificación de las operaciones y las ventas: Se trata de una herramienta que trata de establecer el equilibrio entre la demanda y la oferta en cuanto al volumen y que permite un gran control de la operativa productiva.
2. Traslado de los planes operativos a términos financieros, es decir, de unidades físicas a unidades monetarias.
3. Simulación: Se puede observar el comportamiento del sistema ante distintos escenarios. Con el equipamiento informático disponible actualmente pueden realizarse simulaciones con un gran nivel de detalle.

En el fondo, el MRP II supone la sincronización de los sistemas de información dentro de una organización. Con el surgir en los últimos años de la gestión de la cadena de suministro, el comercio electrónico y la globalización se ha creado la necesidad de intercambiar información de forma directa con otras empresas, con los proveedores y con los clientes. En algunas empresas el MRP II está evolucionando y ha dado lugar a lo que se denomina Planificación de los Recursos de la Empresa (*Enterprise Resource Planning* –ERP–). Respecto al MRP II supone capacidades adicionales, entre las que destacan las siguientes: gestión de la calidad, gestión del mantenimiento, distribución, marketing y gestión de proveedores. Se trata de una herramienta de gestión con el potencial necesario para mejorar las operaciones, pero es un sistema bastante complejo que requiere reconstruir las bases de datos MRP II existentes en la empresa. Los sistemas ERP pueden proporcionar una importante ventaja competitiva a las empresas y su aplicación está muy extendida, principalmente en las empresas de fabricación, si bien se han desarrollado algunas aplicaciones para el sector servicios.

El objetivo del ERP es coordinar la totalidad de las actividades de una empresa y para ello utiliza una base de datos centralizada que facilita el flujo de información entre los diferentes departamentos. Así, en un sistema ERP los datos se introducen una sola vez en una base de datos muy completa, compartida por toda la organización. Generalmente, las empresas disponen de aplicaciones ERP personalizadas para sus necesidades concretas. Además, dado el rápido crecimiento de Internet y del comercio electrónico, los proveedores de *software* ERP han ido incorporando el acceso a la información a través de Internet como un complemento más al *software* de clientes.

No obstante lo expuesto, los sistemas ERP presentan algunas limitaciones: (a) tiene un elevado coste de adquisición y personalización, (b) su implantación requiere importantes cambios en la organización, (c) su complejidad impide su aplicación en algunas empresas, (d) su implantación exige un proceso continuo y (e) existen pocos expertos en ERP, lo cual dificulta su aplicación eficaz. Estos sistemas están dirigidos a empresas medianas y grandes, donde el volumen de la información y el número de usuarios justifica la necesidad de un sistema de estas características.

Actualmente, un elemento importante es la conexión entre los sistemas ERP de distintas organizaciones en lo que se conoce como ‘gestión de la cadena de suministros’, que supone el intercambio de información y contenidos por todos los agentes implicados en un canal logístico, desde las materias primas hasta los productos terminados. En este sentido, la evolución de los sistemas de intercambio electrónico de datos (*Electronic Data Interchange* – EDI–) ha proporcionado diferentes posibilidades para conectar los sistemas de gestión entre empresas.

Las redes de EDI permiten el intercambio por medios electrónicos de un conjunto coherente de datos, estructurados conforme a normas de mensaje previamente acordadas, preparados en un formato que el ordenador puede leer y procesar de forma automática y sin ambigüedades⁴. Los datos o la información intercambiada, con independencia de su tipo (generalmente comercial, aunque también industrial, financiera, médica, administrativa, etc.), debe reconocerse en cuanto su contenido, significado y formato, para poder procesarse mediante aplicaciones informáticas. La información permanece en forma digital y, de esta manera, se elimina la necesidad de leer datos en papel y capturarlos. La utilización del EDI minimiza las transacciones sobre papel, así como la intervención humana, dado que se reducen considerablemente las tareas relativas a la reintroducción de datos, impresión y envío de documentos vía correo o vía fax.

El EDI ha provocado un gran impacto en la forma de procesar el movimiento de información en las empresas. Las facturas o las órdenes de compra son ejemplos de datos EDI. Su aplicación resulta de utilidad para facilitar el intercambio de información en sectores tales como la distribución (entre supermercados y clientes), automoción (entre fabricantes, proveedores y concesionarios) o farmacéutico (entre farmacias y laboratorios), entre otros. Asimismo, a través del EDI, las Administraciones Públicas pueden incrementar la eficiencia de las operaciones diarias y mejorar las relaciones con agentes externos, como empresas, instituciones económicas y financieras, así como con otras Administraciones Públicas.

Otro reto que enfrentan las empresas actualmente es transformar las relaciones basadas en el intercambio de datos en otras basadas en la utilización de información y conocimientos compartidos. Es de esperar que el desarrollo de los sistemas ERP ofrezca un soporte adecuado para estos fines y consiga modificar las relaciones entre las empresas, convirtiéndolas en más cooperativas (Delgado y Marín, 2000).

⁴ <http://www.monografias.com/trabajos/edi/edi.shtml>

LECTURA 7: PLANIFICACIÓN PERO FLEXIBLE

Avanzaban ya los años 70, cuando Joseph Orlicky, un consultor de la compañía IBM, publicaba un libro: *Material Requirements Planning. The New Way of Life in Production and Inventory Management* (McGraw-Hill, Inc. 1975). Un libro que hablaba de los, por aquel entonces, emergentes sistemas de planificación que iban a revolucionar las maneras de proceder tradicionales en las áreas de producción y logística de la mayoría de las compañías del mundo. Muy enfocado a la planificación de materiales y operaciones en las fábricas con el fin de optimizar unos recursos que, por definición, son siempre escasos, rápidamente se hizo un hueco entre el compendio de técnicas modernas de gestión. Su sencilla lógica de planificación basada en determinar el momento en que las cosas debían estar listas para poder iniciar la subsiguiente etapa fabril; el descuento de los materiales ya disponibles en stock (*netting*) para determinar las cantidades a comprar y fabricar y, por encima de todo, tomar en consideración que hacer las cosas siempre requiere su tiempo (*offsetting for lead time*). Y permitiendo, de esta manera, fijar anticipadamente fechas de inicio, para todas y cada una de las actividades, se retomaba con nuevo brío al poderse acelerar considerablemente, gracias a los ordenadores, el tedioso proceso de recálculo asociado.

Decía J. Orlicky las siguientes palabras: “La planificación de las necesidades de material ha representado un nuevo enfoque en la gestión de la producción e inventarios... No me cabe ninguna duda de que éste va ser el enfoque del futuro”.

Cuán acertada era su predicción, pues el sistema MRP I del que J.Orlicky hablaba dio rápidamente paso al MRP II (*Manufacturing Resources Planning*), abarcando, ya no sólo el sistema de gestión de inventarios y materiales, sino también la planificación de las capacidades y la gestión de las órdenes en planta, permitiendo, además, cerrar el bucle de planificación a partir de los resultados que se derivaban de la ejecución, lo que posibilitó a los directivos, confirmar, de manera anticipada, si los objetivos operacionales y, en consecuencia, los objetivos financieros, se iban a poder alcanzar. Implantados los sistemas MRP II, el siguiente paso a seguir fue la llegada de los ERP (*Enterprise Resources Planning*). Se trataba de sistemas integrados de planificación y gestión, que ya no sólo alcanzan al área de operaciones, sino también a las demás áreas de la empresa (Recursos Humanos, Finanzas, Marketing, etc.), con el fin último de ayudar a llevar a cabo la gestión de la empresa como si se tratase de un todo. Simplificando, podríamos decir que los sistemas ERP consisten en modelos que basan su éxito en permitir un uso eficiente y rápido de la información para facilitar y acelerar la toma de decisiones, cualquiera que sea el área en que deban tomarse. Y no sólo consiste en poder compartir información. Estos sistemas de gestión se han desarrollado con el objetivo claro de proporcionar un soporte a los procesos en las mejores empresas del mundo. Son, en definitiva, sistemas que soportan lo que se conocen como las mejores prácticas. Por tanto, ya no se trata sólo de un sistema, un algoritmo, una fórmula de cálculo. No, no; es algo sustancialmente diferente, ya que estamos hablando de adoptar nuevas formas de actuar... y ahí es donde empiezan, precisamente, las principales dificultades. La implantación de un sistema ERP requiere decisión, esfuerzo y tiempo. Y el tiempo, ya saben, ¡es dinero!

Fuente: E. S. (2002): “Planificación, pero flexible”, *Cinco Días*, 12 de julio (<http://www.5dias.com>).

3.2. Sistema *kanban*

En contraposición al MRP, que actúa por empuje (sistema *push*), el método de gestión de materiales típico de la producción JIT procede por arrastre (sistema *pull*). El sistema *pull* significa que una operación no hace nada hasta que no lo señale la siguiente operación del proceso. De hecho, el desarrollo de este sistema se inspiró en el funcionamiento de los supermercados. El proceso final (cliente) acude al proceso inicial (supermercado) para obtener las piezas requeridas (artículos en venta) en el momento adecuado y en el volumen necesario. Posteriormente, se reponen las estanterías, pidiendo al almacén el suministro del volumen equivalente a los productos que el cliente retiró (Ohno, 1988).

Una vez realizada la previsión de las ventas para las próximas semanas, se deja que la demanda de piezas surja por sí misma a cada paso del flujo retrospectivo de la cantidad de producto imprescindible. En otras palabras: el personal que desempeña su actividad en una sección dada, habrá de acudir a la sección anterior para recoger el tipo de

producto requerido, en la cantidad necesaria y en el momento adecuado, en tanto que dicha sección anterior producirá sólo unidades en la cantidad suficiente para reemplazar a las del tipo que haya suministrado (Monden, 1983). La producción se planifica para un corto período de tiempo y, durante ese intervalo, aunque las condiciones del mercado cambien, los factores de producción no se modifican (Shingo, 1989). El sistema *kanban* presupone que la tasa de producción es constante, tolerando mal fluctuaciones en la misma por encima o por debajo del 10 por ciento (Monden, 1984). Además requiere que la cantidad producida de cada pieza o componente permanezca más o menos igual cada día (Aggarwal, 1985).

El *kanban* es una técnica para implantar el JIT, que constituye el ‘nervio autónomo’ de la línea de producción (Ohno, 1988). El *kanban* se refiere literalmente a un bloque de madera (o una tarjeta en una funda rectangular de plástico). Cada pieza (o contenedor de piezas, si éstas son muy pequeñas) tiene asociada una tarjeta (o *kanban*), que describe el origen, destino, identidad y cantidad necesarias de la pieza (o piezas) en cuestión. Estas tarjetas, que se utilizan para poner en marcha el sistema, son de dos clases (Nakane y Hall, 1983):

1. Tarjetas de movimiento: Autorizan la transferencia de un contenedor, que contiene un lote de tamaño estándar de una pieza específica o un componente, desde el lugar de almacenamiento de productos terminados de un centro de trabajo hasta el lugar de almacenamiento de materias primas de otro centro de trabajo posterior en el proceso productivo (ver **Figura 9**).
2. Tarjetas de producción: Autorizan la fabricación de un lote de tamaño estándar de una pieza específica o componente para reemplazar a otro lote recién transferido desde el lugar de almacenamiento de productos terminados de un centro de trabajo a la zona de almacenamiento de materias primas de una sección posterior (ver **Figura 10**).

FIGURA 9: TARJETA DE MOVIMIENTO

Suzaki (1987)

Proceso (desde)	Lugar de almacenamiento		Proceso (a)	
Sección A	C-2-3		Sección B	
	Pieza N°	17634-22631-12		
	Nombre de la pieza	Aro de pistón		
Lugar de expedición N°	Tipo de contenedor	S10	No. Issued	Lugar de recepción N°
Prensa 107	Capacidad de contenedor	200	3/5	Montaje 18

FIGURA 10: TARJETA DE PRODUCCIÓN

Suzaki (1987)

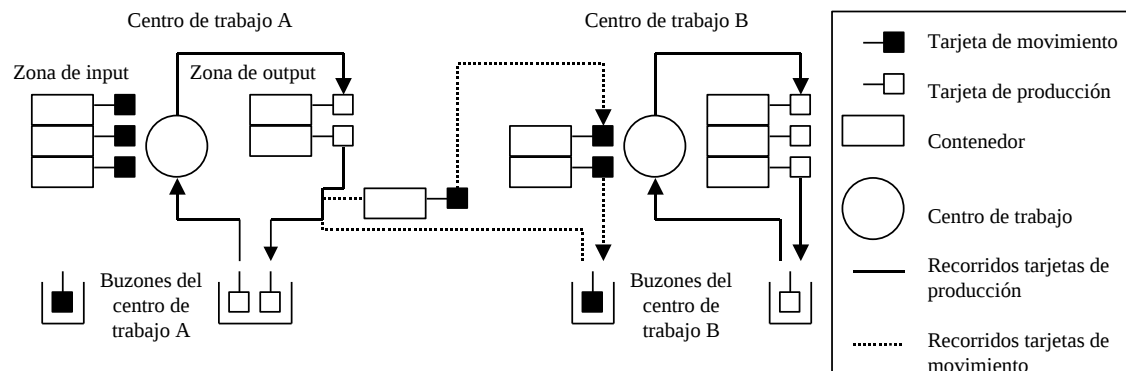
 Aspecto	Pieza N°	17634-22631-12		Proceso
	Nombre del producto	Aro de pistón		Mecanización MC-12
	Tipo de contenedor	S10C	N° Emitido	
	Capacidad de contenedor	200	25	

A continuación, se describe el funcionamiento del sistema *kanban* a través de un ejemplo (ver **Figura 11**). Sean dos centros de trabajo A y B, tales que los outputs del centro A sean, a su vez, inputs del centro B. Ambos talleres o células de trabajo tienen unos niveles de inventarios mínimos de outputs e inputs en sus lugares respectivos de almacenamiento. Los outputs, en condiciones de equilibrio, tienen colocado un *kanban* de producción y los inputs un *kanban* de movimiento. Si el centro de trabajo B realiza

una transformación, lógicamente consumirá materiales que están almacenados en su almacén de inputs. Vamos a suponer que consume el equivalente a un lote (un contenedor estándar). Al pasar ese lote de inputs a fabricación se le retira su *kanban* de movimiento, que es colocado en el buzón de las tarjetas de movimiento. Un trabajador recoge la tarjeta del buzón y la coloca en un lote de output (contenedor) del centro A. Este contenedor tiene, a su vez, colocado un *kanban* de producción que, al serle colocado el *kanban* de movimiento, debe retirarse y colocarse en el buzón de tarjetas de producción.

Posteriormente, un trabajador entrega dicho *kanban* de producción al responsable de fabricación del centro A. Asimismo, un trabajador encargado de vigilar la producción y las zonas de almacenamiento, al observar un *kanban* de movimiento situado en uno de los contenedores que están en el lugar correspondiente al almacenamiento de outputs del centro A, será quien transporte ese lote de productos al lugar de almacenamiento asignado para todos aquellos contenedores que tengan colocado un *kanban* de movimiento y que es, en este caso, el lugar de almacenamiento de inputs del centro B. Por su parte, el responsable de producción del centro A, al tener ahora en su poder un *kanban* de producción, procederá a fabricar las piezas necesarias para llenar un contenedor con un nuevo lote de productos al que, después de colocarle el *kanban* de producción, trasladará a su almacén de outputs. Para fabricar las piezas, el centro A consumirá los correspondientes inputs de su zona de almacenamiento de inputs y, de esta forma, se vuelve a repetir el proceso con el centro C, que sería el proveedor del centro A. El proceso puede generalizarse para varios centros y una diversidad de productos.

FIGURA 11: FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA KANBAN



El *kanban* es un sistema de flujos de información directa, muy sencillo y próximo a las personas encargadas de tomar las decisiones correspondientes. Por lo tanto, facilita una retroalimentación inmediata, así como una rápida acción correctora. Las reglas que rigen el empleo de las tarjetas son muy estrictas, y se pueden sintetizar en las siguientes (Monden, 1983):

1. Cada proceso recogerá del anterior los productos necesarios en las cantidades precisas, del lugar adecuado y en el momento oportuno. Esta regla se acompaña de los siguientes corolarios:
 - a) Deberá prohibirse cualquier retirada de piezas o elementos sin la utilización del

kanban.

- b) Deberá prohibirse cualquier retirada de *kanban*.
 - c) Un *kanban* deberá siempre adherirse al producto físico o a un contenedor con un lote de productos.
2. El proceso precedente deberá fabricar sus productos en las cantidades recogidas por el proceso siguiente. Esto exige que:
 - a) Ha de prohibirse una producción mayor que el número de tarjetas o *kanban*.
 - b) Cuando en un proceso anterior deban producirse varios tipos de piezas, su producción habrá de seguir la secuencia con que se han entregado los diversos tipos de *kanban*.
 3. Los productos defectuosos nunca deben pasar al proceso siguiente.
 4. El *kanban* habrá de utilizarse para lograr la adaptación a pequeñas fluctuaciones de la demanda: en la medida en que se incrementa la demanda, aumentaría el número de *kanban*, y viceversa.
 5. El número de *kanban* debe minimizarse. Por un lado, el sistema no sería operativo con un número ilimitado de tarjetas. De ahí que, además, cuando las piezas sean muy pequeñas (y numerosas), se asigne un *kanban* a cada contenedor de piezas. Por otro lado, el *kanban* ayuda a sacar a la luz los problemas existentes en las operaciones de fabricación. Para lograrlo, el número de tarjetas *kanban* tiene que minimizarse, para que disminuyan los niveles de existencias y se pongan de relieve los problemas que hay que mejorar.

Dado que hay solamente una tarjeta por cada lote de productos (contenedor), las existencias de productos en curso se hallan siempre limitadas por el número de tarjetas emitidas para cada pieza. Un medio de control de las existencias tan visible y flexible actúa como estímulo para una reducción deliberada de éstas. En algunas empresas se alcanza el nivel de inventarios y materiales mínimo mediante la experimentación, siguiendo el procedimiento descrito a continuación. Se retiran paulatinamente tarjetas (*kanban*) y se observa cómo evolucionan las existencias, así como sus repercusiones positivas o negativas en el sistema de fabricación. Un programa de esta naturaleza ha de incluir lo siguiente (Nakane y Hall, 1983):

- Retirada de las tarjetas necesarias para reducir los niveles de existencias en los centros de trabajo.
- Retirada de una o más tarjetas adicionales y estudio de los problemas resultantes.
- Observación de la causa real de estos problemas.
- Experimentación: Introducir cambios, empezando por los más simples y menos costosos, hasta que el sistema pueda funcionar sin dificultad.
- Repetición del procedimiento.

También existen expresiones matemáticas que permiten determinar el número ideal de tarjetas. Como ejemplo, una de las fórmulas empleadas para determinar el número de *kanban* necesario entre dos procesos sucesivos es la siguiente:

$$N = \frac{D(TE + TM)(1 + a)}{P}$$

N = número de tarjetas: todas las tarjetas de movimiento más todas las tarjetas de producción

D = nivel de producción diario (número de piezas por día)

TE = tiempo de espera para la primera tarjeta antes de empezar el mecanizado

TM = tiempo de mecanizado

P = número de piezas transferidas en cada contenedor (tamaño del lote)

a = coeficiente de seguridad

El *kanban* es una señal para dar órdenes de producción o transporte. Ahora bien, esta señal puede hacerse por cualquier medio de comunicación, desde un timbre hasta una luz que se enciende, indicando una cantidad determinada a producir (si la calidad está convenida de antemano) o a colocar en una posición definida (Huge y Anderson, 1988).

La puesta en práctica de los principios de gestión promovidos desde la producción JIT ha de ser lenta y cuidadosa, precedida de una concienzuda preparación. A Toyota le llevó veinte años desarrollar plenamente este sistema de producción, y a otros, copiándolo, les puede exigir entre cinco y diez años como mínimo para obtener resultados satisfactorios (Aggarwal, 1985). Con todo, es posible aplicar el método *kanban* con éxito en seis meses (Shingo, 1989). Sin embargo, hay que tener en cuenta que no todas las operaciones permiten un sistema de tipo *pull*.

3.3. Nuevas tendencias en la planificación de las necesidades de inventarios y materiales: Sistemas híbridos MRP/*kanban*

Hemos mencionado la existencia de dos sistemas, en principio distintos, para gestionar los inventarios y materiales en la empresa: el MRP y el *kanban*, sistemas *push* y *pull*, respectivamente. La diferencia básica entre ambos es que en un sistema *pull* la producción se inicia como respuesta a la demanda actual, mientras que en un sistema *push* la producción se inicia anticipándose a la demanda futura. Así, bajo un MRP las partes se fabrican en respuesta a instrucciones centrales sin importar si el siguiente proceso las necesita en ese momento. En la **Tabla 5** se detallan las diferencias entre ambos métodos de gestión de los inventarios y materiales. Realmente, no existe nada inherente en un sistema *push* que lo haga incompatible con la producción JIT ni nada en los sistemas *pull* los convierte en únicamente aplicables a la producción JIT. De hecho, el MRP no entra en conflicto con la producción JIT (Karmarkar, 1989). Y, por otra parte, en la producción JIT también se utiliza información agregada para la planificación de la producción a largo plazo (Benton y Shin, 1998).

TABLA 5: DIFERENCIAS ENTRE MRP Y KANBAN
Ho y Chang (2001)

Características	MRP	JIT
<i>Aspecto principal</i>	Sistema de información automatizado	Operaciones en la planta productiva
<i>Función principal</i>	Planificación de partes y componentes	Planificación de las operaciones
<i>Autorización al nivel de planta productiva</i>	Sistema 'push'	Sistema 'pull' (<i>kanban</i>)
<i>Tasa de producción</i>	Variable	Nivelada, programación estable
<i>Capacidad requerida</i>	Determinada mediante CRP	Visual
<i>Control</i>	Dirección media	Trabajadores de la planta productiva

La clave reside en determinar cuál de los dos métodos es superior al otro para gestionar los materiales o en qué circunstancias productivas y del entorno del área productiva se materializa dicha superioridad. Se han realizado muchos estudios comparativos a este respecto, aunque con resultados contradictorios, porque aparecen dificultades al comparar ambos sistemas, debido a que el MRP ha sido diseñado como una herramienta de planificación, mientras que el *kanban* es un mecanismo de control (Benton y Shin, 1998). Así, el MRP fija el plan de producción y el programa detallado de cuándo y en qué cuantía emitir las órdenes de fabricación, pero no se ocupa de la actividad diaria en la planta productiva.

Lo realmente importante es que la elección del método de gestión de materiales depende de la naturaleza del sistema productivo. Así, si el proceso productivo se caracteriza por una tasa de producción constante y predecible, donde las órdenes de fabricación no cambian de semana a semana, no es necesaria la aplicación de un MRP ni una planificación de los materiales muy compleja. En estas condiciones un sistema *kanban* es efectivo y suficiente para la gestión de los materiales. Si el proceso productivo es relativamente estable, pero existe una complejidad importante de componentes y listas de materiales, la combinación de *kanban* y MRP puede resultar lo más adecuado: la planificación de las órdenes de producción puede necesitar un MRP si los cambios son frecuentes o, si es necesario coordinar plazos de entrega largos, o una adquisición de componentes que resulte compleja y, en el ámbito de la planta productiva, un sistema *pull* resultaría adecuado. Conforme el entorno del sistema productivo se va haciendo más dinámico y variable, el MRP se convierte en una herramienta muy valiosa para la planificación de los materiales. Las técnicas *pull* no pueden gestionar de forma eficiente una demanda y unos plazos de entrega muy variables. Si la gestión de los materiales es demasiado compleja y poco previsible, es difícil que un *kanban* funcione eficientemente (Karmarkar, 1989).

Realmente no existe una necesidad imperiosa de optar entre un sistema *pull* y uno *push*, porque no son incompatibles. Además, la mejor solución pasa, en ocasiones, por adoptar un sistema híbrido, que aproveche las fortalezas de ambas concepciones. Los sistemas *pull* son más económicos de poner en marcha, ya que no necesitan recursos informáticos (*hardware* ni *software*). Ceden el control y la responsabilidad a la planta productiva y ofrecen incentivos poderosos para la reducción de los plazos de fabricación y entrega. Por su parte, el MRP realiza una buena labor de planificación y gestión de los materiales, y supone una vía natural e interfuncional de comunicación y de gestión de datos.

Un sistema híbrido MRP/*kanban* permitiría aprovechar las potencialidades de ambos. Estos sistemas híbridos son, además, la evolución natural que deriva de la implantación de los sistemas de producción JIT en Occidente (y del MRP en Japón).

3.4. Manufactura Sincronizada y Teoría de las Restricciones

A finales de los años 70 aparece un programa de *software* denominado OPT (*Optimized Production Technology*), que trata de programar las tareas de fabricación, teniendo en cuenta las restricciones en las instalaciones, las máquinas, el personal y los materiales que pueden afectar a la capacidad del sistema. El desarrollo de dicho *software* está condicionado porque su creador, Elí Goldratt, creía que los fabricantes no estaban haciendo un buen trabajo al controlar sus materiales e inventarios. A finales de los años 80, los mismos conceptos básicos se conocen como manufactura sincronizada (Umble y Srikanth, 1990), y el propio Goldratt refinó y amplió el alcance de sus ideas en lo que ahora se conoce como Teoría de las Restricciones (Goldratt, 1990).

El objetivo prioritario de la manufactura sincronizada es equilibrar el flujo de materiales a través del sistema productivo, generando un movimiento uniforme y continuo de materiales de una operación a la siguiente, reduciendo, así, el tiempo de espera de los materiales en cola –inventarios– y el plazo de entrega. En la manufactura sincronizada se identifican los ‘cuellos de botella’, y se utilizan para determinar la tasa de flujo del sistema productivo. Quizá debido al relativo éxito que tenían las recomendaciones básicas de OPT en el sistema productivo de las empresas de fabricación, Goldratt comenzó a ampliar sus estudios con el objetivo de conformar un nuevo cuerpo teórico que sirviese para mejorar la gestión de todos los sistemas de cualquier organización, ya fuese industrial o de servicios. Por ello, siguió el mismo esquema básico de análisis que ya utilizaba OPT, es decir, descubrir las limitaciones del sistema y hacer girar todo el proceso de gestión sobre la base de ellas. A la teoría que, poco a poco, iba conformando le dio el nombre de Teoría de Restricciones (*Theory of Constraints*, TOC).

Así, pues, la Teoría de las Restricciones ensancha el concepto, de manera que queden incluidos, además de los cuellos de botella, las restricciones de mercado, de materiales, de capacidad y de logística, entre otras. La base de la Teoría de las Restricciones es que toda organización posee restricciones que deben identificarse y manejarse de forma tal que consigan mejorarse los resultados. Además, generalmente existe un número limitado de restricciones. Esta teoría puede aplicarse para resolver problemas que afectan a múltiples áreas de las empresas.

Esta sección se centra en el estudio de los elementos fundamentales de la manufactura sincronizada, la cual trata de coordinar la totalidad de recursos productivos para que operen juntos de forma armónica o sincronizada. La base de la misma está conformada por las nueve reglas reflejadas en la **Tabla 6**.

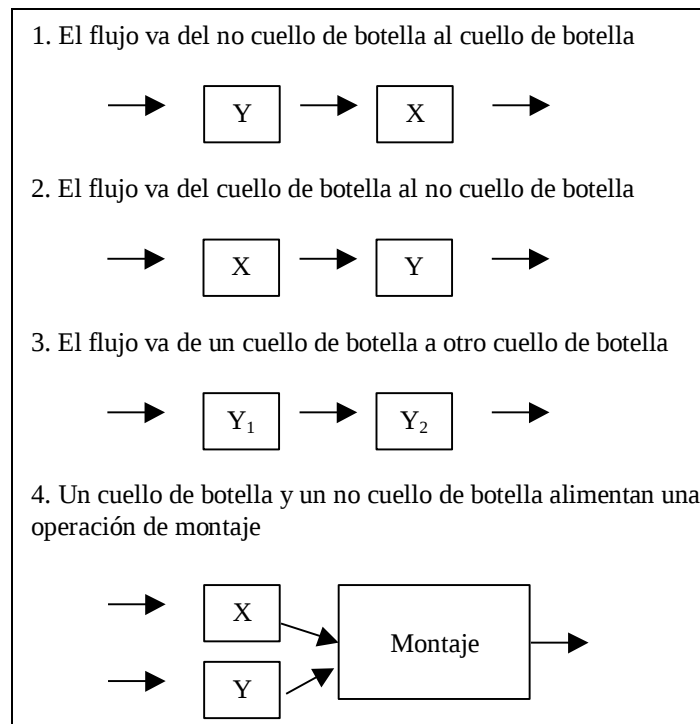
TABLA 6: REGLAS DE GOLDRATT PARA LA PRODUCCIÓN SINCRONIZADA

Narasimhan et al. (1995)

1. No equilibre la capacidad, equilibre el flujo.
2. El nivel de utilización de un recurso sin cuello de botella no se determina por su propio potencial, sino por alguna otra restricción del sistema.
3. La utilización y la activación de un recurso no son la misma cosa.
4. Una hora perdida en un cuello de botella es una hora perdida para todo el sistema.
5. Una hora ahorrada en un no embotellamiento es un espejismo.
6. Los cuellos de botella rigen tanto el *throughput* o demanda atendida como el inventario en el sistema.
7. El lote de transferencia no puede, y muchas veces no debe, ser igual al lote de proceso.
8. Un lote de proceso debe ser variable tanto a lo largo de su ruta como en el tiempo.
9. Las prioridades pueden fijarse únicamente examinando las restricciones del sistema. El plazo se deriva del programa.

Un cuello de botella es aquel recurso cuya capacidad es igual o menor que su demanda. Los cuellos de botella se designan generalmente como recursos *X* y los recursos sin cuello de botella como recursos *Y*. Un cuello de botella puede estar originado por una máquina, por el personal o por alguna herramienta especializada. Además de los cuellos de botella, existe otro tipo de recursos que requieren una especial atención: los recursos de capacidad limitada (*capacity constrained resources*). Un recurso de capacidad limitada es aquél que trabaja cerca de su capacidad máxima. Son posibles cuatro iteraciones básicas donde están implicados recursos cuello de botella en una planta productiva, las cuales están representadas en la **Figura 12**.

FIGURA 12: ITERACIONES BÁSICAS DE LOS CUELLOS DE BOTELLA



En la primera iteración y suponiendo una jornada laboral de ocho horas y un tiempo de operación para *X* de una hora y para *Y* de media hora, es fácil darse cuenta de que la

producción diaria máxima de X es de 8 unidades de producto y la de Y de 16. Para que X sea realmente un cuello de botella la demanda diaria debe exceder de esas 8 unidades. En la primera de las situaciones reflejada en la **Figura 12**, si el recurso Y se programa de forma tradicional para producir 16 unidades, esto ocasionará una acumulación de inventarios de 8 unidades diarias, dado que el recurso X puede gestionar, únicamente, 8 unidades cada jornada laboral. En consecuencia, y para equilibrar el flujo, el recurso Y debe sincronizarse con el recurso X. Es decir, el recurso Y deberá programarse para trabajar al 50 por ciento de su capacidad y producir 8 unidades diarias, evitándose, así, la acumulación de existencias.

Para la segunda situación el flujo va del cuello de botella al no cuello de botella, y todo lo que X produce puede ser procesado por Y, dado que éste tiene mayor capacidad. Esta situación permite ilustrar el concepto de tamaño del lote de transferencia, que es el número de unidades que se transfieren a la operación siguiente. Definamos el lote de proceso como las 8 unidades diarias que pueden procesarse en este sistema productivo. Si las 8 unidades se procesan primero en X y, luego, se transfieren como lote a Y, tendremos un ciclo de producción de 12 horas. Si suponemos ahora un lote de transferencia unitario, el primer lote (que coincide con la primera unidad finalizada al ser el lote de transferencia unitario) estará finalizado en hora y media y el total de las 8 unidades en nueve horas y media, lo cual supone un ahorro de tiempo de casi un 21 por ciento. Esto justifica la regla 7 reflejada en la **Tabla 6**.

La tercera de las situaciones representadas en la **Figura 12** refleja la existencia de dos cuellos de botella consecutivos, es decir, dos recursos cuya capacidad es inferior a la demanda, con independencia de que su capacidad sea la misma o no. En cualquier caso, ambos recursos deben sincronizarse para evitar la acumulación de inventarios. El flujo del proceso se corresponderá con el recurso cuello de botella de menor capacidad. De esta manera, se evita también la acumulación de existencias.

Por último, el caso cuatro de la **Figura 12** refleja la situación en que dos recursos, un cuello de botella y un no cuello de botella, abastecen a una operación de montaje. Para evitar la acumulación de existencias antes de la operación de montaje el recurso Y debe sincronizarse con el recurso X.

Bajo la óptica de la producción sincronizada, para garantizar el flujo de productos a través del sistema productivo, se necesita algún punto de control. Estos puntos de control se denominan ‘tambor’ y el mejor lugar para establecerlos es un cuello de botella o un recurso con capacidad restringida. Lo que se trata de garantizar mediante un tambor es que el cuello de botella tenga siempre trabajo por hacer y que, por otra parte, no exista una acumulación de inventarios excesiva antes del mismo. En definitiva, se trata de establecer un punto de almacenamiento de productos en curso justo antes del cuello de botella o del recurso de capacidad restringida, el cual se denomina ‘amortiguador’. Simultáneamente, se debe establecer algún tipo de comunicación con los centros de trabajo previos para que éstos no suministren material en exceso que provoque una acumulación excesiva de inventarios antes del cuello de botella. Esta comunicación, que puede ser formal o informal, se denomina ‘cuerda’. En este sentido, al hacer referencia a la producción sincronizada, se habla también de la técnica ‘tambor-amortiguador-cuerda’.

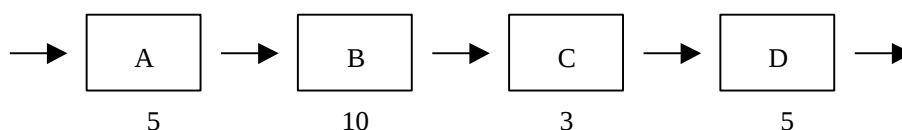
Cabe señalar, finalmente, que la Teoría de las Restricciones utiliza el término restricción en un sentido más amplio que el de cuello de botella, en referencia a cualquier cosa que limita el desempeño de un sistema y que impide la consecución de los objetivos. Los elementos básicos de dicho enfoque se señalan en la **Tabla 7** y son de aplicación a cualquier área de una organización. Dichos elementos trata de conseguir una organización sincronizada, con todas sus partes trabajando en armonía y apoyándose entre sí.

TABLA 7: ELEMENTOS BÁSICOS DE LA TEORÍA DE LAS RESTRICCIONES
Goldratt (1994)

1.	Identificar las restricciones del sistema. No es posible mejorar nada, a no ser que se determine cuál es la limitación más importante o el nexo más débil.
2.	Decidir en qué forma se deben explotar las limitaciones del sistema. Se trata de hacer las restricciones tan efectivas como sea posible.
3.	Supeditar todo lo demás a esa decisión. Se debe alinear cada una de las partes del sistema para apoyar las restricciones, aun cuando ello pueda reducir la eficiencia de los recursos no limitados.
4.	Elevar las restricciones del sistema. Si la producción sigue siendo inadecuada, adquirir mayor cantidad de ese recurso para que no actúe como restricción.
5.	Si en los pasos anteriores se han eliminado las restricciones, volver al paso 1, pero sin permitir que la inercia se convierta en la restricción del sistema.

CUESTIONES TEÓRICO-PRÁCTICAS

1. Una empresa que tradicionalmente ha producido en grandes lotes se está planteando reducir su nivel de inventarios para poder reducir los costes asociados a los mismos. Elabore un informe donde señale qué medidas podría introducir esta empresa para reducir dicha inversión en inventarios y las ventajas derivadas de dicha reducción.
2. Realice una comparación entre las características básicas de las células de trabajo en U descritas en este capítulo y las mostradas por una cadena de montaje convencional descritas en el capítulo 1, deteniéndose especialmente en las características del personal, de la maquinaria y del flujo de materiales.
3. Analice la posibilidad real de que una empresa pueda operar con un nivel de inventarios cero. ¿Qué circunstancias tendrían que darse?
4. Una fábrica tiene 35 horas a la semana disponibles en la línea de producción que se muestra a continuación. El tiempo que aparece debajo de cada centro de trabajo muestra los minutos que requiere dicha operación. Solucione las siguientes cuestiones:



- a) Identifique el recurso cuello de botella.
- b) ¿Cuál es la producción total máxima semanal para esa línea productiva?

- c) Si cada centro de trabajo es utilizado a la velocidad del cuello de botella, ¿cuáles serán los tiempos de utilización para cada centro de trabajo?
 - d) ¿Qué sucederá si cada centro de trabajo trabaja a su capacidad máxima?
 - e) ¿Dónde se localizará el amortiguador?
5. Recopile información acerca de empresas reales que utilicen o hayan utilizado el MRP, el *kanban* y la manufactura sincronizada, y compare las características de sus procesos productivos, haciendo especial hincapié en el aspecto relativo a la gestión de los inventarios, de materiales, de materias primas, de productos en curso y de productos terminados.
6. Tomando como referencia la información contenida en este capítulo y en el capítulo 1, compare el trabajo en equipo de una célula Just in Time con el trabajo en equipo de la fábrica de Volvo en Uddevalla y con la división Saturn de General Motors ¿Dónde es más fácil que se produzca el aprendizaje organizativo? ¿Y la ampliación de la base de conocimientos personales?
7. ¿Qué políticas de recursos humanos son apropiadas para un sistema de producción Just in Time?
8. ¿Cómo afecta la producción Just in Time a las relaciones con los proveedores?
9. Analice, justificando su razonamiento, si son ciertas las siguientes afirmaciones realizadas por la dirección de una empresa:
- a) “Nosotros operamos a pequeña escala, así que no podemos beneficiarnos del método JIT”.
 - b) “Nuestra fábrica ya funciona bien. No tenemos por qué molestarnos en transformar nuestro sistema productivo en JIT”.

RECURSOS EN INTERNET

- Instituto Goldratt: <http://www.goldratt.com>
- *Center for Quick Response Manufacturing*- University of Wisconsin-Madison: <http://www.engr.wisc.edu/centers/cqrm>
- Just in Time en *Superfactory*: http://www.superfactory.com/lean_concepts/jit.htm
- *Enterprise Resource Planning Research Center*: <http://www.cio.com/research/erp/>
- International Society for Inventory Research: <http://www.isir.hu/>

FABRICACIÓN POR LOTES EN LA EMPRESA RIOSELLANA

La empresa Riosellana produce en su fábrica de Riosella una familia de productos, en fase de madurez, utilizando producción por lotes. La fábrica no es rentable. Por ello, el presidente de la empresa asignó a la misma un director de producción muy dinámico, y le pidió que obtuviese beneficios en un plazo de tres años. De lo contrario, se cerraría la fábrica. También le comentó que durante ese tiempo no pensaba realizar ninguna inversión ni en maquinaria, ya que la actual era bastante moderna; ni en nuevos productos ni en nuevas líneas de productos, ya que esas inversiones las realizaría en otras fábricas de la empresa mucho más competitivas. El presidente tampoco está dispuesto a realizar inversiones para introducirse en nuevos mercados, ya que considera que la fábrica tiene la dimensión suficiente para atender los mercados a los que está sirviendo. Es de destacar que la empresa fue pionera en esta línea de productos, por lo que mantiene una cuota de mercado aceptable. El problema es que, en los últimos años, coincidiendo con la madurez del producto, aumentó la competencia en el sector, espoleada por la penetración de empresas extranjeras. Así, pues, el director de producción tiene que hacer rentable una fábrica que produce una familia de productos relativamente madura, si bien estos productos tienen una relativa aceptación en el mercado, donde su cuota de participación es significativa.

Una vez que tomó posesión del puesto, el director de producción configuró un equipo directivo para que le asesorase en el análisis y la toma de decisiones estratégicas. El equipo pronto se dio cuenta de que la fábrica no tenía una estrategia clara, si bien los productos de la empresa resultaban atractivos para los clientes.

Por tanto, el equipo pasó a analizar los objetivos de producción. Consideró que podrían ser tres: calidad, plazo de entrega y coste. Se descartó la flexibilidad como objetivo a lograr, porque el presidente no estaba dispuesto a realizar inversiones de ningún tipo en la empresa, y la familia de productos era relativamente madura y con una apreciable cuota de mercado. A continuación, estableció diferentes metas para cada uno de los objetivos.

El equipo directivo recogió también datos de los productos de los competidores. A partir de ellos, se estimaron las metas correspondientes al producto medio del mercado y al del competidor más fuerte.

Después de una investigación de mercados exhaustiva y de entrevistas personalizadas con los clientes, el equipo consideró que el plazo de entrega debería ser un criterio ‘ganador de pedidos’ y que los costes y la calidad deberían ser criterios ‘cualificados por el mercado’. En este sentido, estableció como meta la entrega del producto en un plazo de 3 semanas con una fiabilidad del 80 por ciento. Esta meta estaba por encima de la media del sector y, si se alcanzaba el valor fijado, se consideraba que las ventas aumentarían. El equipo estableció para los criterios cualificados por el mercado las siguientes metas: a) costes de producción: 40 euros y b) tasa de productos defectuosos: 1 por ciento. Los valores de estas metas eran similares a los de la competencia. Los clientes no les daban demasiada importancia, siempre y cuando se mantuvieran dentro de unos límites. Por tanto, su logro no iba a atraer nuevos clientes. No obstante, si no se alcanzaban esos valores, la empresa podría tener problemas competitivos.

El equipo estaba satisfecho con la elección de criterios cualificados por el mercado y ganador de pedidos. Estos eran realmente los objetivos que valoraban los clientes. Establecieron que sería necesario que, dentro de los 12 meses siguientes, todos los objetivos se logaran a un nivel más alto que el actual, mientras uno de ellos, el cualificado por el mercado (o tarea de fabricación), obtuviera un valor excelente. El

equipo trabajó entonces para determinar ‘cómo’ organizaría el sistema productivo para alcanzar el valor fijado para el criterio ganador de pedidos.

Si bien el equipo sabía qué quería lograr, no sabía cómo alcanzar los objetivos fijados. El sistema productivo de la fábrica (producción por lotes) resultó muy eficaz en el pasado, cuando la empresa introdujo esta nueva línea de productos en el mercado. En esa época, fabricar una gran variedad de productos en pequeños lotes resultaba esencial para ganar cuota de mercado. Sin embargo, se pensaba que este sistema no era el mejor en el momento actual, ya que el producto se encuentra en su fase de madurez y la competencia es muy intensa en los mercados. Uno de los miembros del equipo, que había estado trabajando en una empresa del sector del automóvil, propuso abandonar la producción por lotes y pasar a una producción en masa. Otro propuso presionar al presidente de la empresa para que invierta en nuevas tecnologías.

En este momento, el director de producción y su equipo no saben muy bien qué hacer. Por tanto, contratan a un experto en estrategia de producción, para que les asesore en la toma de decisiones.

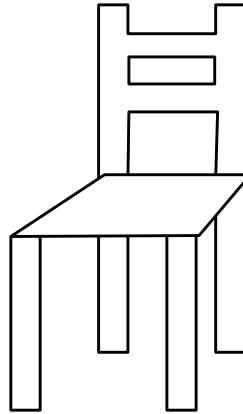
CUESTIONARIO

Suponga que usted es el experto en estrategia de producción:

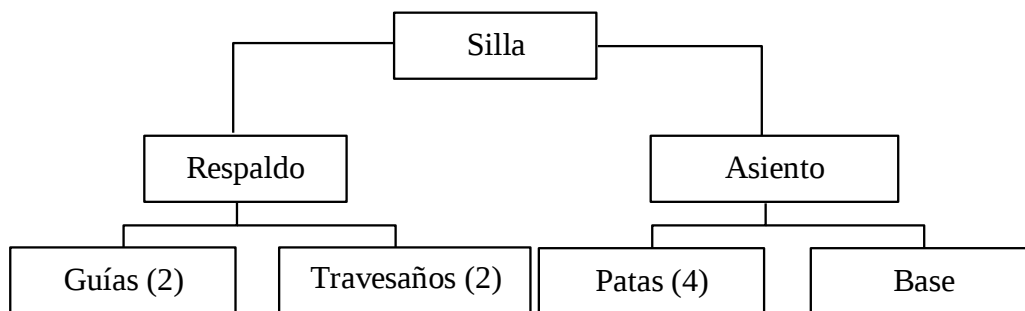
1. ¿Qué propuesta presentará al director de la fábrica respecto a la posible modificación del tipo de proceso utilizado?
2. ¿Qué consecuencias tendrá dicha propuesta en la cantidad y tipo de inventarios manejados por la empresa?
3. Si la empresa no ha venido utilizando hasta la fecha ninguna herramienta para la gestión y planificación de los inventarios y materiales, ¿qué le propondría al respecto?
4. ¿Le parece adecuado descartar el objetivo de flexibilidad considerando la situación de la empresa y el mercado?
5. Establezca un modelo detallado de los pasos a seguir para formular una estrategia de producción eficaz y coherente con sus anteriores respuestas. Perfíle las principales decisiones de producción a tomar, tanto estructurales como infraestructurales.

CARPINTERÍA SILLERÍA TRADICIONAL

La carpintería Sillería Tradicional fabrica varios modelos de sillas. Uno de los modelos tiene un diseño como el mostrado en la figura:



La lista de materiales para el ensamble de dicha silla se muestra a continuación:



Por su parte, las existencias disponibles de componentes y los plazos de fabricación o ensamble se muestran también a continuación.

Elemento	Existencias	Plazo fabricación
Sillas	24	2
Respaldos	20	2
Guías	50	1
Travesaños	15	1
Asientos	5	3
Patas	30	2
Bases	4	1

Se pide determinar los requerimientos de materiales, tanto de las sillas como de cada una de sus partes, sabiendo que la demanda de sillas es de 250 unidades en el período 5 y 675 en el período 7.

BIBLIOGRAFÍA

- AGGARWAL, S. C. (1985): "MRP, JIT, OPT, FMS? Making sense of production operations systems", *Harvard Business Review*, vol. 63, nº 5, pp. 8-16.
- ASHTON, J. E. y COOK, F. X. (1989): "Time to reform job shop manufacturing", *Harvard Business Review*, marzo-abril, pp. 106-111.
- BENTON, W. C. y SHIN, H. (1998): "Manufacturing planning and control: The evolution of MRP and JIT integration", *European Journal of Operational Research*, vol. 110, pp. 411-440.
- BOUNINE, J. y SUZAKI, K. (1986): *Produire Juste à Temps –Les Sources de la Productivité Industrielle Japonaise*, Masson, París.
- BROWN, S. (1996): *Strategic Manufacturing for Competitive Advantage. Transforming Operations from Shop Floor to Strategy*, Prentice Hall, Londres.
- DELGADO, J. y MARÍN, F. (2000): "Evolución en los sistemas de gestión empresarial. Del MRP al ERP", *Economía Industrial*, nº 331, pp. 51-58.
- GOLDRATT, E. M. (1990): *What is this Thing Called Theory of Constraints?*, North River Press, Nueva York.
- GOLDRATT, E. M. (1994): *El Síndrome del Pajar*, Díaz de Santos, Madrid.
- HAAN, J. de y YAMAMOTO, M. (1999): "Zero inventories management: Facts or fiction? Lessons from Japan", *International Journal of Production Economics*, vol. 59, pp. 65-75.
- HALL, R. W. (1983): *Zero Inventories*, Dow Jones-Irwin, Homewood.
- HARMON, R. L. y PETERSON, L. D. (1990): *Reinventing the Factory*, Basic Books, Nueva York.
- HAYES, R. H. (1981): "Why Japanese factories work", *Harvard Business Review*, julio-agosto, pp. 57-66.
- HO, J. C. y CHANG, Y. (2001): "An integrated MRP and JIT framework", *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 41, pp. 173-181.
- HUGE, E. C. y ANDERSON, A. D. (1988): *The Spirit of Manufacturing Excellence*, Dow Jones-Irwin, Homewood.
- KARMARKAR, U. (1989): "Getting control of Just in Time", *Harvard Business Review*, septiembre-octubre, pp. 122-131.
- MONDEN, Y. (1983): *Toyota Production System. Practical Approach to Production Management*, Industrial Engineering and Management Press, Atlanta.
- MONDEN, Y. (1984): "A simulation analysis of the Japanese just-in-time technique (with kanbans) for a multiline, multistage production system: A comment", *Decision Sciences*, vol. 15, verano, 445-447.
- NAKANE, J. y HALL, R. W. (1983): "Management specs for stockless production", *Harvard Business Review*, mayo-junio, pp. 84-91.
- NARASIMHAN, S.; MCLEAVEY, D. W. y BILLINGTON, P. (1995): *Production Planning and Inventory Control (2nd Edition)*, Prentice-Hall, Nueva York.
- O'GRADY, P. J. (1988): *Putting the Just-In-Time Philosophy Into Practice*, McGraw-Hill,

Nueva York.

- OHNO, T. (1988): *Toyota Production System: Beyond Large-scale Production*, Productivity Press, Cambridge.
- OLIVER, R. W. (1999): "Real time strategy. The end of inventory?", *Journal of Business Strategy*, enero-febrero, pp. 8-11.
- O'NEAL, C. y BERTRAND, K. (1990): *Developing a Winning J.I.T. Marketing Strategy: The Industrial Marketer's Guide*, Prentice Hall, Nueva York.
- ORLICKY, J. (1975): *Material Requirements Planning*, McGraw-Hill, Nueva York.
- SCHONBERGER, R. J. (1986): *World Class Manufacturing*, Free press, Nueva York.
- SHINGO, S. (1985): *A Revolution in Manufacturing. The SMED System*, Productivity Press, Cambridge.
- SHINGO, S. (1989): *A Study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering Viewpoint*, Productivity Press, Cambridge.
- SUGIMORI, Y.; KUSUNOKI, K.; CHO, F. y UCHIKAWA, S. (1977): "Toyota production system and kanban system. Materialization of just-in-time and respect for-human-system", *International Journal of Production Research*, vol. 15, nº 6, pp. 553-564.
- SUZAKI, K. (1987): *The New Manufacturing Challenge: Techniques for Continuous Improvement*, Free Press, Nueva York.
- UMBLE, M. M. y SRIKANTH, M. L. (1990): *Synchronous Manufacturing*, South-Western, Cincinnati.
- WALLACE, T. F. y KREMZAR, M. H. (2001): *ERP: Making it Happen. The Implementers' Guide to Success with Enterprise Requirements Planning*, Wiley, Nueva York.
- WALLEIGH, R. C. (1986): "What's your excuse for not using JIT?", *Harvard Business Review*, marzo-abril, pp. 38-54.