

SISTEMAS DE PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE LA FABRICACIÓN: ANÁLISIS COMPARATIVO

Crespo Franco, T.
García Vázquez, J.M.
Universidad de Vigo

RESUMEN:

En este trabajo se presenta una comparación, desde distintos puntos de vista, de diferentes sistemas de planificación, programación y control de la producción, con la finalidad de profundizar en su comprensión y, al mismo tiempo, destacar las potencialidades de este tipo de sistemas en la generación y consolidación de las competencias distintivas de la empresa.

PALABRAS CLAVE: Sistemas de planificación y control, MRP, TOC, OPT, JIT, Kanban.

INTRODUCCIÓN

La planificación de la producción e inventarios y su control se ha desarrollado rápidamente a partir de las primeras décadas de este siglo. Aunque originariamente era sólo una herramienta para ayudar a los supervisores de primera línea, después ha pasado a ser utilizada por niveles organizacionales de superior nivel, que asumen la responsabilidad en todas las actividades de planificación y control. En la actualidad, se reconoce como una de las claves para el correcto funcionamiento de las operaciones productivas y de la empresa en su conjunto(1). Sin embargo, la alta dirección continúa dejando las decisiones de este ámbito en manos de sus subordinados, obviando, en muchos casos, las potencialidades de este tipo de decisiones en la generación y consolidación de las competencias distintivas y, por ende, de las ventajas competitivas de la empresa.

Puesto que existen muchas posibles formas de afrontar los problemas de utilización efectiva de la capacidad y del movimiento de los inventarios de productos en curso, una de las más importantes cuestiones a resolver, sino la principal, de cualquier instalación productiva es la de seleccionar e implementar los sistemas más apropiados de coordinación y control de la producción para cumplir con sus objetivos empresariales(2), teniendo en cuenta que éstos tienen que evolucionar en el tiempo atendiendo a su tecnología de fabricación –incluyendo tanto equipos como procesos–, al continuo flujo de nuevos productos y al dinamismo del mercado.

Por ello, en la literatura se han desarrollado distintos sistemas que, por su desconocimiento respecto tanto a su filosofía y modo de funcionamiento como a sus posibilidades estratégicas, constituyen una fuente de confusión importante. Así, unos métodos controlan pequeños buffers de inventarios en cada estación de trabajo como una forma de controlar el comportamiento global de la instalación productiva; otros métodos ejercitan un control de la instalación productiva a través de la regulación de las tasas de producción en cada uno de los centros de trabajo del sis-

tema; mientras que otros utilizan un buffer y una tasa para controlar el comportamiento de toda la instalación productiva, etc.

Sin embargo, como consecuencia del desconocimiento de estos sistemas, a menudo, sucede que los utilizados para efectuar la planificación y el control de las operaciones no son los idóneos. Por tanto, un adecuado conocimiento de los mismos y su apropiada elección tiene importantes consecuencias sobre la manera en que una empresa será capaz de satisfacer las necesidades de sus mercados actuales y futuros.

Por ello, en este trabajo se examinarán algunas de las maneras en las que se puede regular el flujo de materiales dentro de la instalación productiva, que dependerán del tipo de empresa y del tipo particular de filosofía de administración de la producción que la empresa esté utilizando(3), efectuando una comparación de los sistemas citados, a través del análisis de su implantación y de una serie de actividades relacionadas entre sí que constituyen las decisiones básicas de planificación y control de materiales y que determinan el modo de funcionamiento de los mismos.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS DE PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE LA FABRICACIÓN

Durante muchos años los sistemas clásicos, como el método de la cantidad económica de pedido (EOQ, Economic Order Quantity) o el método de la cantidad de pedido periódica (POQ, Periodic Order Quantity), fueron empleados para superar los problemas surgidos como consecuencia de la incertidumbre de la demanda y de las dificultades en la correcta predicción de los plazos de realización de las tareas. Posteriormente, a partir de estos conceptos, se desarrollaron nuevos métodos que planteaban mejores soluciones a problemas más complejos de planificación y control de la producción(4).

Así, en la década de los setenta varios autores argumentaron en contra de los métodos clásicos de planificación y control, defendiendo que, para un período de planificación predeterminado, las piezas solamente deberían ser fabricadas en la cantidad adecuada para atender a las necesidades existentes. Se desarrollaron diferentes teorías para modelar y analizar la dinámica de los inventarios en los sistemas productivos multiproducto y multietápicos tratando, entre otros aspectos, de establecer la manera de hacer frente a los problemas que dentro la instalación productiva genera la incertidumbre de la demanda y de los plazos de entrega.

Desde esta perspectiva, una posible solución para efectuar la planificación y el control de la fabricación distribuida en el tiempo se puede obtener mediante el empleo del sistema de planificación de las necesidades de fabricación (MRP, Manufacturing Resource Planning). Este sistema partiendo de las necesidades futuras de los productos terminados, utiliza ésta y otra información para generar las necesidades de submontajes, componentes y materiales necesarios para completar los productos finales, de acuerdo a las fechas de entrega y programas creados para cumplirlos(5).

Otro procedimiento alternativo es un sofisticado sistema de planificación y control de la producción(6), que ha sido implementado en un sistema informático denominado Tecnología de la

Producción Optimizada (OPT, Optimized Production Technology), basado en procedimientos de carga finita que se concentra en un subconjunto de centros de trabajo –cuellos de botella–. Los principios que subyacen a la filosofía (TOC, Theory Of Constraints) de este sistema tienen aplicación universal, por lo que se pueden utilizar para mejorar muchos sistemas de planificación y control de la producción, así como para ayudar a mejorar la efectividad de la gestión de la función de producción.

Se podría alcanzar otra posible solución mediante el sistema Kanban/Just-in-Time (JIT). Este sistema no requiere la utilización del computador y, en algunos casos, puede ofrecer un mayor control que las alternativas basadas sobre éstos. Fundamentalmente, éste método se basa en que dentro del centro de trabajo las piezas sólo sean fabricadas cuando realmente exista una demanda de los clientes o de la subsiguiente estación de trabajo; por lo que la idea consiste en producir y entregar los items justo en el momento en que son necesarios con el propósito de que todos los materiales se encuentren “activos” dentro del conjunto del proceso. Por tanto, se basa en el concepto de producir pequeñas cantidades “justo a tiempo”(7).

Una observación a simple vista sobre el modo de funcionamiento de estos sistemas permite comprobar que existen diferencias entre ellos. Por ejemplo, en la forma de ejecutar las órdenes de pedido de los materiales; así, atendiendo a ésta se puede realizar una categorización de los mismos: el sistema revisión continua y el de dos depósitos se pueden considerar como sistemas de cantidad fija de pedido o basados en la cantidad, los sistemas de reposición periódicos y opcionales se pueden clasificar como sistemas de intervalo fijo de pedido o basados en el tiempo; y el MRP, JIT y TOC, sistemas derivados de cantidad de pedido para entornos productivos, se puede decir que son sistemas basados en la producción. El comportamiento de estos sistemas varía; los sistemas basados en la cantidad son comprobados continuamente -con cada demanda- para determinar si se debe colocar una orden; en los sistemas basados en el tiempo solamente se efectúa un recuento del inventario en determinadas fechas denominadas de revisión y los pedidos, si son necesarios, se colocan en ese momento, mientras que los sistemas basados en la producción ordenan inventario únicamente para cumplir con las necesidades de fabricación.

A continuación, se presenta una comparación de estos sistemas de planificación y control de la producción, analizando su comportamiento desde distintos puntos de vista:

LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE LA FABRICACIÓN

A la hora de decidir qué sistema de planificación y control de la producción hay que implantar, se debe estudiar para cada uno cuáles son los requisitos mínimos con los que debe contar el sistema productivo para que se puedan obtener las mejores prestaciones.

Cualquiera que sea el sistema de planificación y control de la producción que se quiera implantar es imprescindible, evidentemente, que éste vaya acompañado por el impulso y el apoyo continuo de la alta dirección de la empresa facilitando, de esta manera, la implicación del resto del personal con el nuevo sistema; por un adecuado plan de formación y educación para toda la empresa que permita conocer las ventajas que se pueden obtener del sistema que se está

implementando, así como también sus puntos débiles con la finalidad de mitigar sus inconvenientes; por una actitud que permita desechar algunos hábitos y comportamientos que hasta ese momento se encontraban fuertemente arraigados en la empresa y que son incompatibles o perjudican el buen funcionamiento del sistema; etc.

Los sistemas clásicos de planificación y control de la producción pueden ser empleados tanto en un proceso de producción enfocado al producto como en uno enfocado al proceso, y necesitan poca información acerca de los consumidores, proveedores y proceso de fabricación; no obstante, la constante evolución y abaratamiento de las tecnologías de comunicación y de los sistemas de información hacen que este hecho no suponga una gran ventaja sobre los demás sistemas de planificación y control de la fabricación(8).

Entre los requisitos para una correcta implantación del sistema MRP está la necesidad de contar con una lista de materiales extremadamente precisa –con respecto a ésta el sistema no tolera imprecisiones–, por lo que se debe revisar cuidadosamente y asegurarse de que está elaborada correctamente. Esta precisión también la deben tener las rutas de procesamiento, los datos acerca de los tiempos de procesamiento, los inventarios de items en toda la instalación productiva, etc.; además, se debe instaurar una serie de nuevos métodos y procedimientos que permitan mantener actualizada toda esta información. Por todo ello, el tiempo medio que necesita una empresa para implementar eficazmente un sistema MRP es muy largo –de 18 a 24 meses(9)–, debido, por un lado, a los preparativos que hay que realizar y, por otro, al imprescindible proceso de capacitación del personal que se debe llevar a cabo(10).

El sistema OPT también presenta varias dificultades en su proceso de implantación. En general, este sistema no es para usuarios inexpertos, dado que se precisan comprender los conceptos básicos de la programación finita. Sin embargo, se considera que el tiempo necesario para la implantación del sistema OPT normalmente es bastante corto –inferior a seis meses–, teniendo en cuenta que para la construcción del grafo representativo del proceso de producción se utiliza toda la información de los ficheros de datos del sistema MRP(11), por lo que no es necesario crear los ficheros que recojan las entradas que requiere el sistema(12). Así, algunas de las ventajas del OPT son que no necesita ni el cambio de los equipos ni las modificaciones en los actuales sistemas de información de la empresa(13).

Además, el sistema OPT no tiene la misma necesidad de exactitud en los datos que la programación MRP(14), puesto que ésta sólo es vital para la información relativa a las secciones cuello de botella y para aquellos centros de trabajo que se encargan de alimentar de piezas a los centros cuello de botella; mientras que para el resto de los centros de trabajo que no son críticos, el sistema OPT puede funcionar con datos menos exactos que los sistemas MRP(15). Sin embargo, esto es cierto sólo en parte. El proceso seguido por el OPT en la identificación de los centros de trabajo que actúan como cuellos de botella tiene lugar a partir de la explosión de necesidades de un programa maestro de producción, teniendo en cuenta las limitaciones de capacidad. Por tanto, en la mayoría de los casos, los cuellos de botella aparecen como consecuencia de un programa de producción concreto que se quiere llevar a la práctica. Si se modifica el programa de producción, éstos pueden variar. En consecuencia, el esfuerzo en la identificación de los recursos cuellos de botella, para, a continuación, fijar los datos de los centros de trabajo –los centros cuello de botella y los que los alimentan de items– que requieren una mayor precisión, lleva

a que tanto para el sistema MRP como para el OPT se necesiten datos con idéntico grado de precisión para todas las etapas del sistema productivo.

Por tanto, el MRP y el sistema OPT presentan como características comunes para su implantación un conocimiento detallado de la estructura de los productos y del proceso, y el procesamiento exacto de las transacciones.

Otro aspecto importante relacionado, en este caso, con el algoritmo que se utiliza para programar la instalación productiva, es que no resulta nada transparente y es difícil de entender(16). Esto es consecuencia de que el programa BRAIN –el mecanismo central del sistema que se encarga de generar los programas de producción y las necesidades de materiales– es mantenido en secreto por los creadores del sistema, por lo que el usuario únicamente sabe los datos de entrada que utiliza y la información que obtiene, pero desconoce totalmente el proceso de cálculo que utiliza. Se debe tener en cuenta que siempre hay dificultades de implantación si la base para programar no resulta clara para el personal encargado de su ejecución. Además, esta limitación hace que el usuario, ante cualquier problema que pueda surgir en la aplicación del sistema, dependa excesivamente de la casa suministradora del software(17). Esta situación es totalmente opuesta a la de los sistemas MRP, que son de sobra conocidos y sobre los cuales existe abundante literatura, lo que permite al usuario, incluso, desarrollar su propia aplicación MRP, si así lo desea.

Aunque la implantación de sistemas MRP y todavía más de los sistemas OPT puede ser enormemente beneficiosa para muchas actividades de transformación, es necesario realizar previamente un análisis adecuado de la situación con la finalidad de asegurarse que la solución se ajusta a las necesidades existentes; puesto que los costes de adquisición –no tanto para el MRP– y de implantación de estos sistemas son muy elevados, ya que supone modificar todos los usos anteriores de la empresa resultando, entonces, de extrema importancia asegurarse de que el esfuerzo va a ser positivo para la misma.

Por otro lado, en el JIT existe una preferencia por la utilización de kanbans frente al control mediante computador, lo que permite una gran capacidad de respuesta y una fácil y rápida identificación de los cuellos de botella de la instalación productiva. Por tanto, los sistemas kanban suponen sistemas sencillos y próximos al personal de fábrica que permiten una adecuada utilización de la fuerza de trabajo, aunque también cuentan con dificultades en su proceso de implementación, puesto que éste sólo rinde beneficios en ciertas circunstancias:

Así, no es aplicable a la producción por unidad, sino a la producción repetitiva de piezas o productos. Además, esta producción no debe ser irregular ni en tiempo ni en cantidad, puesto que el grado de estabilidad es crítico para usar el sistema kanban con niveles mínimos de inventarios(18).

Por otro lado, el kanban no puede funcionar por sí sólo, sino que debe ser un elemento del JIT. Pues resulta necesario, entre otras cuestiones, que cada ítem tenga una ruta perfectamente definida a lo largo de la instalación productiva; que los centros de trabajo que constituyen el proceso de fabricación sean flexibles y capaces de producir los ítems en pequeñas series; que se organice el centro de trabajo de forma que las existencias se mantengan en el mismo y no en almacenes, como consecuencia de que el funcionamiento del sistema exige un corto período de

tiempo para obtener los materiales necesarios para el centro de trabajo productor, dado que los tiempos de preparación son cortos y el tamaño de los lotes son pequeños.

Además, los items incluidos en el sistema kanban no deben ser muy costosos ni muy grandes, y deben ser usados cada día –por ello, generalmente, sólo se aplica a piezas que tienen una elevada utilización–.

Otro factor crítico en la implementación exitosa de un sistema de planificación y control es la participación del elemento humano de la empresa, dado que son los trabajadores los responsables de que estos sistemas funcionen adecuadamente. En este sentido, los investigadores consideran que el sistema kanban es el más ventajoso puesto que es relativamente sencillo y fácil de implementar(19). Dado que el sistema MRP tiene mayores problemas debido a que los empleados son ajenos a la toma de decisiones y carecen de visión de cómo su trabajo contribuye a la mejora de la planificación y la reducción de inventario. Por otro lado, el OPT, al necesitar ciertas modificaciones de procedimientos y métodos de trabajo antes de su implementación, provoca, como consecuencia, una mayor implicación de los empleados, por lo que el sistema OPT –aún teniendo en cuenta la opacidad del sistema– plantea menos problemas humanos en éstas tareas que el MRP.

ELABORACIÓN DEL PROGRAMA DE FABRICACIÓN

El sistema MRP, que programa la producción y elabora las órdenes de pedido de los items, y el sistema OPT, que a través de la combinación Drum-Buffer-Rope efectúa la programación de las actividades de fabricación, contrastan con los sistemas clásicos y con los sistemas kanban que únicamente tiran de los materiales a través de la instalación productiva(20). En este sentido, los sistemas kanban y los sistemas clásicos –tanto los de revisión continua como los de revisión periódica– tienen un funcionamiento similar, puesto que ambos tipos son sistemas reactivos(21); es decir, están diseñados para reponer el inventario tan pronto como éste se agote y no para adelantarse a los pedidos que se puedan realizar(22).

Si se emplean los métodos clásicos sin contar con un sistema de planificación de la producción, pueden conducir a un exceso de inventarios, dado que la producción se lleva a cabo por lotes con la finalidad de optimizar los costes combinados de los inventarios; además, esto puede suponer un significativo incremento en el flujo de trabajo. Por tanto, una consecuencia de estas políticas clásicas es que cuando se emplea la capacidad de producción para reponer lotes de items que en ese momento no van a ser necesarios, se puede provocar una situación en la que no se disponga de capacidad suficiente para hacer frente a la fabricación de los items realmente necesarios.

El sistema MRP(23), a partir del programa maestro de producción, la lista de materiales, las rutas de fabricación y datos de los centros de trabajo e inventarios, efectúa el proceso de explotación de necesidades considerando que la capacidad es infinita y que los lotes y plazos de fabricación son constantes, lo que da lugar a un programa de actividades que identifica las piezas y materiales específicos que se necesitan para obtener los productos finales, las cantidades precisas necesarias y las fechas en las que hay que recibir los pedidos de esos materiales o proceder

a fabricar dentro del ciclo de producción(24). Este sistema, una vez que se concluye la fase de planificación y se determina que los planes son realistas y alcanzables, también realiza funciones de control de fábrica tales como control input/output, seguimiento y control de compras, informes de posibles retrasos, etc.(25). Así pues, el sistema MRP trata todos los recursos como si tuvieran capacidad infinita, y únicamente sigue el ritmo establecido por las órdenes, «empujando» los materiales a través de toda la fábrica.

En el sistema OPT el programa de producción resultante no está dirigido ni por las órdenes ni por el programa maestro de producción, sino por el «tambor» –el centro de trabajo cuello de botella– que es el que se encarga de guiar el ritmo de la fábrica.

Para construir el programa de producción el sistema OPT identifica y diferencia los centros de trabajo críticos y no críticos(26), y desarrolla distintos programas para cada sección. Una cuestión importante en el OPT es la forma en que programa los recursos cuello de botella, que son los únicos para los que el OPT crea programas finitos(27). A continuación, las operaciones que se encuentran antes del cuello de botella se programan hacia atrás a partir de los datos de la estación cuello de botella empleando una lógica MRP, mientras que las que se encuentran después se programan hacia adelante basándose en la capacidad de los recursos cuello de botella(28). Cuando se termina de hacer la carga finita a través de todos los recursos críticos, se obtiene un programa maestro de producción válido(29); con una alta probabilidad de ser realizado por la empresa, al basarse en los parámetros de capacidad usados en la programación.

Como fácilmente se puede inferir de este proceso, el programa de producción resultante es muy robusto, como consecuencia de la consideración de las limitaciones de capacidad, en lugar de partir de capacidad infinita(30). Además, debido a la consideración de lotes y plazos de fabricación variables(31), los programas que resultan de este tipo de sistemas suelen ser más respetados que los derivados de los sistemas MRP que dan lugar a programas de producción no realistas y que habría que modificar a posteriori(32).

La consideración de capacidad finita en el sistema MRP no viene a mejorar el sistema, puesto que lo que hace es modificar, si ello fuese necesario, el programa de producción manteniendo la consideración de lotes y plazos de fabricación constantes; por tanto, simplemente desplaza las órdenes en períodos completos para respetar las limitaciones de capacidad conservando el tamaño de los lotes.

Otra contribución importante del sistema OPT es que se logra un programa de producción alcanzable a través de la programación finita de solamente unos pocos centros de trabajo, y se da lugar a muy pocos conflictos en la prioridad entre el programa MRP y la carga finita(33); además, el tiempo de computador requerido para hacer la carga finita debería reducirse notablemente al tratar sólo con un subconjunto de órdenes y de centros de trabajo(34), por lo que los programas resultantes del sistema OPT no solamente requerirían un período más corto de tiempo para su elaboración, sino que también se podrían modificar rápidamente(35).

Otra ventaja del sistema OPT respecto al MRP es que la identificación de los cuellos de botella permite ver fácilmente dónde se debe centrar la atención y los esfuerzos para mejorar la calidad y la productividad de los procesos(36).

El sistema OPT intenta maximizar la producción de materiales actuando únicamente sobre el tamaño de los lotes de fabricación y transferencia y sobre los plazos de fabricación; sin embargo, en ninguno de los módulos de cálculo de OPT son específicamente considerados los costes de posesión de inventario que se generan, ni los costes de lanzamiento de los órdenes de producción, ni los costes unitarios de procesado en cada centro de trabajo(37).

Por otro lado, el sistema kanban se puede definir como un medio de información para despachar la cantidad correcta del elemento necesario en el momento oportuno, cuyo principal objetivo es el de mejorar la comunicación y el control visual(38). Por tanto, como ya se indicó, el kanban no es un sistema de planificación de la producción. De hecho, para su correcto funcionamiento el sistema kanban requiere la utilización de programas diarios de producción uniformes(39). En un programa de este tipo, para adaptarse a las variaciones de la demanda los cambios en la cantidad de producción de los productos se permiten en una base mensual, aunque la producción durante cada día del mes se debe mantener nivelada. De esta manera, se puede programar diariamente la producción de cada uno de los productos en pequeños lotes de fabricación, y al final del mes se tendrá la producción total necesaria. Además, al utilizar en las operaciones diarias pequeños lotes de producción en todos los centros de trabajo, este principio de programación minimizará la capacidad ociosa tanto de trabajadores como de equipos.

TAMAÑO DEL LOTE DE FABRICACIÓN

Otro aspecto a estudiar tiene que ver con la decisión del tamaño de lote, que se refiere a la cantidad que se debe fijar al llevar a cabo una determinada serie de producción.

Normalmente es en los sistemas push(40) donde se observan unos mayores tamaños de lote. La motivación fundamental de este hecho es que en estos sistemas se pretenden minimizar los costes de dejar de fabricar un ítem e iniciar la producción de otro; mientras que en los sistemas pull, con la finalidad de poder responder rápidamente a la variabilidad del mercado, se sacrifica algún coste para tener unos menores tamaños de lote realizando un mayor número de preparaciones(41).

Los modelos establecidos en base a la teoría clásica de gestión de inventarios postulan que la preparación y ajuste de máquinas produce un incremento de los costes que hace que la producción por lotes resulte eficiente, desarrollando, como consecuencia, una filosofía de fabricación por lotes.

En todas las políticas clásicas la información que se utiliza para fijar el tamaño de lote de producción o pedido tiene carácter local para la estación de trabajo que efectúa el pedido; entonces, las estaciones de trabajo determinan el tamaño de su orden basándose en sus costes locales y en otra información también local. Así, por ejemplo, en una política (s,S), una estación de trabajo ordena a su precedente un tamaño del lote que debe ser suficiente para llevar su nivel de inventario en ese momento hasta una cantidad S, cuando el inventario existente más el pendiente de recibir cae por debajo de una cantidad s. En una política (s,q), una estación de trabajo establece el tamaño del lote q y ordena esta cantidad a su centro de trabajo precedente cuando se alcanza el punto de pedido s(42).

El sistema MRP establece el tamaño de los lotes como parte del proceso de explosión de necesidades de materiales, basándose en las necesidades netas y en una técnica de tamaño del lote especificada previamente, por lo que los tamaños de lote son fijos. La decisión se efectúa de manera centralizada y no por parte de una estación en particular y la información que se utiliza es tanto de tipo global como local. Esta decisión se basa, normalmente, en el intento de alcanzar un equilibrio entre los costes locales, aunque también se tiene en cuenta información de tipo global, tal como los pronósticos de las necesidades del sistema.

En el sistema OPT la decisión de dimensión del lote se toma de manera centralizada y está estrechamente relacionada con el enfoque de programación Drum-Buffer-Rope. El concepto básico consiste en mover los materiales lo más rápido posible a través de los centros de trabajo que no son cuello de botella hasta que alcancen el cuello de botella; ahí, el trabajo se programa para una máxima eficiencia (lotes grandes). Posteriormente, el trabajo se mueve otra vez a la máxima velocidad posible hacia la última etapa del sistema productivo(43). Lo que esto significa para el tamaño del lote es que hay pequeños lotes de transferencia hacia y desde los cuellos de botella(44), con un gran tamaño de lote de procesamiento en el cuello de botella. Para ello, calcula diferentes tamaños de lote a través de la planta, dependiendo de si un centro de trabajo es o no cuello de botella(45).

El sistema OPT asigna, pues, lotes de fabricación variables, tanto para los diferentes centros de trabajo que intervienen en la fabricación de un ítem, como para una misma sección en los diferentes períodos del horizonte de tiempo cubierto por el programa. Por tanto, el tamaño de lote de una pieza para una determinada operación podría ser diferente al lote de esa misma pieza para otra operación. Esto implica que se requerirá un tratamiento especial para toda la documentación que viaja junto con las órdenes de taller. De hecho, el sistema OPT cuenta con procedimientos para separar y unir los lotes conforme pasan a través del proceso de producción(46).

Por otro lado, en el sistema JIT se aboga por reducir los tamaños del lote de fabricación e incrementar la frecuencia de los pedidos(47), con el objetivo de alcanzar un lote de producción ideal de una unidad. Al reducir el tamaño de éstos disminuye la cantidad de inventario ocioso y, como consecuencia, se efectúa una menor inversión de capital –dinero inmovilizado en inventarios, espacio disponible para otras actividades, etc.– y se da una reducción de obstáculos físicos que motivarán un incremento de la productividad de los trabajadores en las estaciones de trabajo.

El principio de recortar el tamaño de los lotes de pedido de los inventarios y de incrementar la frecuencia de las órdenes puede causar un problema de programación de la producción, puesto que a medida que se envían órdenes de producción más pequeñas, se fuerza la realización de series de producción más cortas y más frecuentes para utilizar el inventario que entra, lo cual tiene una incidencia importante en los costes de obtención de los productos. Por tanto, para alcanzar menores lotes de producción económicamente se requiere que se reduzcan los tiempos de preparación de las máquinas(48), con la finalidad de controlar adecuadamente el incremento que se produce en los costes de preparación como consecuencia de las series de producción más pequeñas y frecuentes. Además, para alcanzar el objetivo de fabricar unidad a unidad esta reducción de los costes de preparación debe ser considerada como un proceso de mejora continua.

MOMENTO EN EL QUE SE REALIZA LA PRODUCCIÓN O SE ENVÍA UN PEDIDO

Una vez que el tamaño del lote está determinado, la cuestión que surge es cómo se determina el momento en el que estos lotes deben ser pedidos a la instalación productiva.

En un sistema clásico de control de la producción la etapa más cercana al mercado es la encargada de realizar el pedido a la estación precedente. Normalmente, esta decisión no se realiza a priori, sino cuando el inventario alcanza una cantidad predeterminada, como en el caso de las políticas de control (s,S) o (s,q) , en el que las etapas deben fijar el período de revisión empleando información de tipo local. Aunque los sistemas de inventario de revisión periódica establecen esta decisión de manera centralizada con información global, por lo que la decisión operativa del momento de colocar las órdenes es fijo para cada etapa —una vez que se fija el período de revisión, el sistema de control no influye en el momento de los envíos—.

El sistema MRP establece el programa de producción por anticipado, empleando información global. En este sistema, se disparan las órdenes basándose en el momento en que aparecen las necesidades netas de las estaciones subsiguientes. Este procedimiento se construye a partir de la información del plazo de entrega local, aunque el programa final de envío de órdenes y las interacciones entre las estaciones de trabajo se controlan de manera centralizada. En este sistema, una vez que se finalizan las operaciones y se completa la orden de fabricación, la estación de trabajo «empuja» las piezas hacia las siguientes etapas del proceso de producción.

El sistema MRP pretende entregar las piezas al centro de trabajo en el momento en el que éste las necesita para ejecutar las operaciones de fabricación, mientras que los sistemas clásicos, al no contar con información del resto de las estaciones de trabajo, adoptan estas decisiones de manera independiente. Por tanto, como consecuencia de que el MRP controla mejor que los métodos clásicos la cantidad y el momento en el que se deben entregar los ítems para ejecutar las operaciones, se mantiene una menor cantidad de inventario de productos en curso.

Según el concepto Drum-Buffer-Rope del OPT, el tambor (Drum) fija el ritmo de la instalación productiva al recurso cuello de botella y las estaciones que se encuentran por encima —anteriores— del cuello de botella se ajustan al ritmo de éste (Rope), para lo cual los inputs del sistema productivo y todos los centros de trabajo que preceden a la estación cuello de botella se diseñan de manera que mantengan un correcto aprovisionamiento de los ítems que éste necesita (Buffer). Por tanto, el control que realiza el sistema OPT es centralizado con la utilización de información de tipo global, aunque el envío inicial de inputs hacia la fábrica se basa en el comportamiento de una estación subsiguiente —el cuello de botella— que “tira” de éstos(49). Así pues, OPT actúa como un sistema pull antes de los recursos cuello de botella y un sistema push después de éstos(50).

En un sistema kanban, el movimiento de tarjetas permite a las estaciones producir un nuevo lote y retirar las piezas necesarias de sus estaciones precedentes. Así, cuando un trabajador retira en una etapa de producción un lote del inventario de piezas terminadas para satisfacer la demanda de esos ítems de una determinada estación de trabajo, está “tirando” de esos elementos de acuerdo al programa establecido por la etapa subsiguiente, empleando únicamente información local. Aunque los sistemas de este tipo que funcionan con un esquema de revisión periódica

dica, establecen la decisión de movimiento de items de manera centralizada con información global(51).

REGLAS DE ASIGNACIÓN DE PRIORIDADES

Bajo el epígrafe asignación de prioridades, se pretende analizar la posibilidad que tiene una etapa, en la que confluyen una serie de órdenes en una determinada secuencia como consecuencia de las decisiones de tamaño de lote y del momento en que se envía un pedido, de modificar dicha secuencia o, por el contrario, de operar siguiendo un comportamiento FIFO.

En un sistema pull, la etapa subsiguiente tiene la autoridad final, de manera que cualquier ajuste que se deba efectuar en una determinada estación de trabajo sobre la secuencia debe ser realizado de acuerdo a lo solicitado por esa estación de trabajo.

Por otro lado, en un sistema push la etapa precedente es la que tiene la autoridad sobre esta decisión; de manera que puede ajustar la secuencia para mejorar el servicio o reducir costes. Para ello, se pueden utilizar algunas reglas de despacho que optimizan algunas medidas del comportamiento del sistema y que requieren la utilización de información global, aunque también se debe destacar que algunas de las reglas de prioridad emplean información de la estación subsiguiente.

En este sentido, se debe notar con respecto a la asignación de prioridades que el sistema kanban tiene un elemento que, en cierto modo, se puede considerar parte de una política de control push. Este puede darse en el caso de que en una determinada etapa se reciban muchas tarjetas autorizando la producción de nuevos items. En estas circunstancias, las tarjetas se suelen colocar en un tablero de control que permite tener una total visibilidad sobre los pedidos que se han efectuado a ese centro de trabajo. Las tres zonas que existen en un tablero de control de la producción típico indican que el sistema que se está considerando es de tipo pull, puesto que en primer lugar se deben producir aquéllas que están en zona roja. Sin embargo, dentro de la misma zona el encargado del centro de trabajo puede producir en cualquier orden, permitiendo una disminución de las preparaciones de los equipos al producir varios lotes del mismo item(52). Este elemento, que se basa en la iniciativa local y en la información local de esa etapa, le confiere al sistema kanban una clara ventaja sobre otros sistemas de fabricación de tipo pull.

PROTECCIÓN CONTRA LA EXISTENCIA DE INCERTIDUMBRE

La falta de información acerca del flujo de los materiales que caracteriza a muchas instalaciones productivas es un factor que favorece la utilización de sistemas clásicos de control de la fabricación, ya que uno de los propósitos del inventario es el de desacoplar cada una de las etapas secuenciales del proceso de fabricación de cualquier otra –de manera que puedan trabajar de forma más o menos independiente–. Sin embargo, cuando este sistema actúa en sentido estricto –esto es, sin la existencia de comunicación entre demanda y oferta más que a través del buffer de inventarios–, una vez que se lanza una orden, por ejemplo al disminuir el inventario por debajo de su punto de pedido –políticas (s,S) o (s,q)–, no se puede efectuar ningún ajuste en el tama-

ño o en el momento en el que se necesita ese lote durante el plazo de entrega que permita afrontar cualquier variación de la demanda por encima del nivel esperado; en estos casos, para hacer frente a la inercia del sistema que impide responder de inmediato a cualquier modificación que pueda tener lugar, se emplea una cantidad adicional de inventario –stock de seguridad– con la finalidad de absorber la posible variación en las condiciones del sistema productivo o de su entorno.

En estos sistemas, los procedimientos para establecer estos stocks de seguridad están basados, normalmente, en la consideración de una demanda con un comportamiento más o menos estable. Aunque para cierto tipo de productos esta suposición es razonable, para otros items –como el caso de las piezas o componentes que entran a formar parte de items de nivel superior– esto no es válido(53), por lo que con el empleo de los sistemas clásicos se pueden alternar situaciones con elevados niveles de inventario y otras en las que, incluso, se puede producir falta de items para hacer frente a la demanda.

Las modificaciones en la demanda externa también pueden afectar en gran medida al funcionamiento del sistema MRP, puesto que la programación de la producción no se fundamenta en la demanda real sino que se basa, en parte, en previsiones de demanda.

Para hacer frente a los cambios en el entorno los sistemas MRP, aunque también emplean stocks de seguridad, consideran más efectivo, para evitar faltas de inventario, el ajuste de los plazos de fabricación conjuntamente con la modificación de las prioridades tanto en fábrica como en las órdenes en firme(54). Se trata, por tanto, de programar los pedidos de manera que se pueda disponer de éstos antes del momento de tiempo en el que realmente se considera que serán necesarios.

El sistema OPT basándose en uno de sus principios fundamentales –una hora perdida en un recurso de cuello de botella es una hora perdida en toda la producción de la fábrica, mientras que una hora perdida en un recurso que no es cuello de botella realmente no tiene coste–, presta una gran atención a la utilización de la capacidad de los recursos del cuello de botella. Para lograr aumentar dicha utilización, además de emplear grandes tamaños de lote en las operaciones de cuello de botella para reducir el tiempo relativo perdido en ajustes, utiliza amortiguadores de los productos en curso frente a los cuellos de botella, y en aquellos centros de trabajo en los que los items que han pasado por un cuello de botella se unen con alguna otra pieza.

El sistema OPT amortigua los programas para las operaciones críticas utilizando inventarios de seguridad y tiempos de seguridad(55).

Para asegurarse de que siempre habrá trabajo en las operaciones cuello de botella, se colocan inventarios de seguridad frente a dichos centros de trabajo y frente a cualquier otra operación crítica que se encarga de alimentar a éstos se establecen buffers de tiempo e inventarios de seguridad, con la finalidad de proteger a los cuellos de botella de las fluctuaciones que puedan detener estos procesos críticos. Así, siempre que se termina un trabajo, otro está listo para ir a la máquina cuello de botella permitiendo, de esta manera, alcanzar la máxima producción.

Por otro lado, al programar una secuencia de tareas en la misma máquina puede introducirse un tiempo de seguridad entre los sucesivos lotes —el inicio de la siguiente operación no se programa inmediatamente después de que la operación en curso se finalice, si no que se introduce una interrupción temporal— con el objetivo de proporcionar un colchón contra las variaciones que puedan afectar negativamente al flujo de las tareas a través de la misma operación.

Además, para proteger el programa de montaje final contra los agotamientos se mantiene antes de cada operación de montaje un inventario de seguridad de todas las piezas de la operación de cuello de botella. La idea que motiva este comportamiento es que la interrupción de las operaciones de cuello de botella para producir las piezas que puede necesitar el montaje final reducirá la producción total del sistema productivo; sin embargo, los agotamientos de items que pueden obtenerse a través de las operaciones que no constituyen cuellos de botella no la afectarán. Por tanto, estos recursos que no son cuellos de botella no tienen buffers de inventario, sino que se protegen contra la existencia de rupturas a través del exceso de capacidad, puesto que por definición son recursos no críticos. Finalmente, las operaciones de envío también se protegen de la variabilidad de la línea de montaje.

Por tanto, en el OPT los posibles cambios en el plan de producción son analizados en términos del impacto que éstos tienen sobre los recursos críticos, lo que permite resaltar cualquier problema. Además, también se puede llevar a cabo una simulación de la fábrica en el proceso de programación, teniendo en cuenta los cambios de capacidad para los recursos críticos(56). Esto permite que el planificador sea capaz de anticipar el impacto de los cambios en la demanda, en los programas o en las capacidades de los centros de trabajo.

No obstante, a pesar de todos los sistemas que emplea para hacer frente a la incertidumbre, el OPT es menos sensible a los cambios en el plan de producción que el sistema kanban, puesto que este último sistema reacciona al cambio(57).

Sin embargo, el sistema kanban también presenta sus inconvenientes(58). Cuando en el horizonte de planificación fluctúa de forma importante la demanda, el número fijo de tarjetas enviadas a una etapa provocan una pronta producción que lleva a que se mantengan una cantidad de inventarios por encima de los necesarios —comparado, por ejemplo, con los establecidos por un sistema de tamaño de lote con restricciones de capacidad(59)—.

MANEJO DE LAS ÓRDENES DE URGENCIA

Si una etapa posterior emite un pedido de emergencia(60), cuando se está desarrollando la producción en una estación de trabajo, habrá que determinar cómo se manejará esta situación; es decir, si se permitirá o no que se produzca una interrupción en el programa que existe actualmente.

En un sistema pull, una etapa siempre espera por un pedido de la estación subsiguiente antes de iniciar la producción de una determinada cantidad de productos. El programa de una estación de trabajo está basado en las decisiones adoptadas en las etapas subsiguientes. Por tanto, si llega una orden urgente, ésta será considerada.

Este es el caso de los sistemas clásicos de planificación y control de la producción e inventarios. Aunque debe tenerse en cuenta que las empresas que adoptan estos sistemas se van a enfrentar con mucha frecuencia a la necesidad de expedir de forma prioritaria algunos trabajos para poder cumplir con las entregas, como consecuencia de que los productos son, a menudo, fabricados para su almacenamiento siguiendo unas reglas preestablecidas ajenas al comportamiento real de la demanda, lo que consume capacidad de producción que puede originar que las piezas que realmente son necesarias se retrasen. Esta circunstancia trae como consecuencia la degeneración del sistema de control de la producción.

En sistemas de este tipo deberá existir una política coherente para decidir cómo se debe cumplimentar este pedido de emergencia y, también, cómo resolver problemas de prioridad en el caso de que se deba asignar la capacidad entre distintos pedidos de emergencia de las estaciones subsiguientes(61).

Por otro lado, en un sistema push, la autoridad no recae sobre la etapa que efectúa el pedido, sino sobre la encargada de atender esta petición. El procedimiento normal en este tipo de sistemas consiste en congelar –no modificar– el programa de producción durante un determinado período de tiempo.

Así, una orden de emergencia puede causar problemas de «nerviosismo» en los sistemas MRP. Estos sistemas congelan el programa y no permiten el procesamiento del nuevo pedido, o bien deben ser reprogramados nuevamente para generar un programa revisado –con el coste que ello supone–. En caso de que no se realice la reprogramación, los pedidos de emergencia deben ser considerados como cualquier otra orden.

Al emplear el sistema OPT, también existen bastantes posibilidades de que las órdenes de urgencia lo conviertan en un sistema excesivamente «nervioso», puesto que la fijación de prioridades se deriva del conjunto del sistema y resulta bastante compleja de realizar. Por tanto, en un entorno incierto el proceso de lotificación y de secuenciación debe de ejecutarse con frecuencia para tomar en consideración las alteraciones que se hayan producido, generando cada vez un nuevo programa de producción, lo que puede llegar a provocar cierto desconcierto en la instalación productiva(62).

En la filosofía JIT no se permiten ni las órdenes de emergencia ni los cambios de ingeniería de los productos; en vez de ello, se determinan adecuadamente los programas de fabricación y se congelan por un largo período de tiempo, y la producción se lleva a cabo conforme a lo establecido en éstos(63).

Por tanto, en una situación en la que existe un elevado grado de incertidumbre, lo racional es que se empleen sistemas que sigan una lógica de tipo pull, que se centren en el mercado con la finalidad de dar un mayor nivel de servicio, aunque quizá a cambio de un mayor coste. Por otro lado, los sistemas push, normalmente implican un menor servicio y un menor coste puesto que se centran más en la optimización de las tareas de fábrica.

NIVEL DE INVENTARIOS

En los sistemas clásicos de planificación y control de la fabricación, por criterios de rentabilidad en la producción, los responsables de la misma tienden a fabricar series largas, ya que los costes unitarios normalmente tienden a bajar. Esta situación tiene como resultado el mantenimiento de un excesivo número de items en inventario y, además, muy frecuentemente entraña un gran riesgo, ya que el considerable incremento del nivel de inventarios que se produce no se basa en una cartera de pedidos. Entonces, si ocurren cambios en la demanda o en sus características, se da lugar a la permanencia prolongada de existencias en el inventario originando excesivos costes de posesión, la aceleración del proceso de depreciación de los items, etc.

El modo de funcionamiento de los sistemas MRP se basa en que si se puede contar con un programa maestro de producción para la fabricación de productos finales que fije por adelantado las cantidades y momentos en los que éstos deben estar disponibles, y en que las necesidades de fabricación y compra de materias primas y de items intermedios tales como componentes y submontajes no son independientes, sino que están determinados por la demanda de los productos finales de los que forman parte; entonces se pueden establecer las cantidades necesarias y momentos en los que se deben producir y/o adquirir todos los submontajes, componentes y materias primas necesarios para cumplir este programa. Por tanto, como su funcionamiento está, en cierto modo, ligado a los datos de la demanda de los productos finales, el nivel de inventario existente en la instalación productiva se reducirá con respecto al que necesita un sistema clásico de gestión de inventarios(64).

La filosofía JIT defiende que el mantenimiento de inventario ocioso redundaría en la existencia de un costoso buffer de inventario (stock de seguridad) y en la ocultación de los problemas de la empresa(65), debido a la seguridad proporcionada por la existencia de esos inventarios ociosos. Por tanto, en esta filosofía el inventario es considerado como un costoso desperdicio de dinero, tiempo y esfuerzo(66), por lo que se postula la eliminación progresiva de todo inventario no necesario, buscando una reducción continua de los costes de inventario. En un sistema de fabricación de tipo JIT, gracias al control de las tarjetas existentes en la planta, el nivel del inventario en curso se limita al estrictamente necesario para el plan de fabricación del día.

La política selectiva de utilización de los inventarios de la TOC contrasta con la del sistema kanban, que coloca una pequeña cantidad de inventarios a lo largo de toda la instalación productiva(67). Sin embargo, cuando se compara con el MRP o el OPT, el sistema kanban presenta un sistema más apropiado para mantener un efectivo control del inventario(68); puesto que está diseñado para minimizar los stocks de productos en curso y sus fluctuaciones de forma que se simplifican los controles sobre el inventario, se previene la transmisión amplificada de las fluctuaciones de la demanda de una etapa a otra, y se incrementa el nivel de control de la fábrica a través de la descentralización(69).

CENTRALIZACIÓN O DESCENTRALIZACIÓN DEL CONTROL DE ACTIVIDADES

Los sistemas clásicos de control de la producción e inventarios son básicamente métodos descentralizados, en los que las decisiones de producir o comprar un determinado item están basadas únicamente en su nivel de inventario sin referencia alguna al plan global de fabricación.

En los sistemas MRP como se transmiten las necesidades a los recursos de producción responsables de la fabricación de cada ítem, éstos pueden basar su producción en un programa que está directamente relacionado con el programa maestro para los productos finales en vez de establecerla en base a las reposiciones de los buffers de inventarios locales. Por tanto, se trata de un método de planificación y control de la producción dirigido por un programa maestro de producción para los productos finales con toma de decisiones centralizadas .

El objetivo del método OPT es centrarse en los recursos limitados y manejar efectivamente tanto estos recursos como las interacciones que existen con los recursos no limitados. Puesto que la utilización de los recursos no cuello de botella no está determinada por su propia capacidad sino por la de los cuello de botella, es fácil entender que se trata de un sistema centralizado de planificación y control de la producción.

Finalmente, el sistema kanban es un método descentralizado de control de la producción puesto que la transmisión de órdenes a las etapas precedentes –y, en su caso, a los centros de procesamiento– se basa en el número de tarjetas existentes en el buzón de kanbans de cada estación de trabajo.

CONSIDERACIONES FINALES

Como se ha visto, cada sistema de planificación y control presenta peculiaridades y características especiales; puesto que aborda desde distinta óptica las actividades que comprende el proceso de planificación, programación y control de la fabricación; y, además, emplea métodos diferentes para llevarlas a cabo.

Por tanto, la elección del sistema de planificación y control que se va a utilizar para gestionar el proceso de producción de la empresa resulta sumamente compleja y constituye un elemento fundamental en la consolidación de las competencias distintivas de la misma. Debido al relevante papel que juega esta decisión en la gestión de las actividades productivas, es necesario profundizar en el conocimiento y la comprensión de cada filosofía y su modo de funcionamiento para, a continuación, decidir cuál se adapta mejor a las condiciones del entorno y del sistema productivo en las que se va a utilizar, teniendo en cuenta las distintas interacciones existentes.

A medida que se incrementa la incertidumbre respecto al comportamiento de la demanda de los productos de la empresa, la fabricación bajo pedido resulta más difícil. En esta situación, para ejecutar las tareas de planificación y control de la producción se puede optar bien por fabricar para inventario o bien por efectuar, para los futuros períodos de planificación, una prospección de la demanda y emplear sistemas que permitan explotar esos pronósticos como por ejemplo, los sistemas MRP. En estas circunstancias, mientras se pueda contar con información de la demanda futura a través de pronósticos de demanda, es preferible la utilización de métodos de este tipo, aunque para ello sea necesario utilizar inventarios de seguridad para cubrirse ante el riesgo de que la demanda no se ajuste a las previsiones.

Sin embargo, ante situaciones en las que existe un elevado grado de incertidumbre en el que resulta difícil obtener pronósticos aceptables, las diferencias en los resultados alcanzados con la

utilización de los sistemas clásicos o del sistema MRP con inventarios de seguridad se hacen muy pequeñas. En estos casos los sistemas clásicos o de gestión de inventarios constituyen una alternativa válida debido, especialmente, a los mayores costes que supone la utilización de un sistema MRP.

Si la complejidad se incrementa, el sistema MRP tendrá problemas para manejar adecuadamente las capacidades, por tanto, en esta situación una alternativa mejor para efectuar el control de la producción es el sistema OPT. Dado que el sistema OPT pone mayor atención en los aspectos relacionados con la capacidad, pero no maneja adecuadamente la incertidumbre ya que ésta provoca que las capacidades críticas varíen.

Por otro lado, el sistema kanban se presenta como la alternativa más adecuada cuando son pequeñas tanto la incertidumbre como la complejidad. Este sistema supone que los productos finales van a ser fabricados bajo pedido, esto es posible sólo si el tiempo necesario para fabricar en la última etapa no excede el tiempo deseado de recepción de los productos por parte del consumidor. Sin embargo, a medida que se incrementa la complejidad, en general, el tiempo de fabricación se incrementará; por otro lado, un incremento de la incertidumbre lleva a un aumento del plazo de entrega que impide que se pueda fabricar bajo pedido. Ambos efectos provocan que el comportamiento del kanban sea peor.

NOTAS

- (1) PLOSSL, G.W. y otros; Perspective, pp. 3.1-3.29, En: GREENE, J.H. (Ed.) *Production and Inventory Control Handbook*, McGraw-Hill, 1970.
- (2) Esto es válido si se trata de una fábrica que produce para inventario o trabaja bajo pedido; si tiene un proceso de fabricación, de montaje o ambos a la vez; o si el procesamiento de los distintos items es manual o se trata de una instalación con un elevado grado de automatización de los procesos.
- (3) Algunas de las filosofías alternativas que pueden ser utilizadas para este fin en las distintas empresas, son: los sistemas clásicos que utilizan el inventario para controlar la producción, el sistema de planificación de las necesidades de fabricación, la Teoría de las Limitaciones y el sistema de fabricación Just in Time.
- (4) LEE, L.C. y SEAK, K.H.W., JIT and the Effects of Varying Process and Set-Up Times, *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 8, Nº 1, 1987, pp. 19-35.
- (5) A su difusión han colaborado el incremento de las prestaciones y el abaratamiento de los computadores, que ha permitido que éstos sistemas puedan ser utilizados en aquellas situaciones en las que los productos son complejos y requieren una gran cantidad de información.
- (6) Aunque se centra fundamentalmente en los aspectos relacionados con el control de la fábrica.
- (7) Los principios fundamentales de éste sistema consisten en desarrollar pequeñas unidades de producción que, en las sucesivas etapas del proceso de fabricación, se encargan de servir unas a otras y al proceso de montaje; y en programar las actividades a realizar día a día. Para ello se necesita un patrón de demanda diaria uniforme a través de todo el sistema productivo. Esto significa que cada elemento del sistema de producción se desarrolla para que sea capaz de manejar unos volúmenes de producción relativamente bajos y que la situación de cada una de esas etapas se encuentren físicamente cercanas.
- (8) Los sistemas modernos de información y comunicación han provocado que esta forma simple de planificación y control de la producción se convierta en obsoleta; no obstante, este método o sus conceptos se siguen aplicando actualmente en algunas empresas.
- (9) CHASE, R.B. y AQUILANO, N.J. *Dirección y Administración de la Producción y de las Operaciones*, 6ª ed., Addison-Wesley Iberoamericana, Madrid, 1994, p. 739.
- (10) Desde la alta dirección hasta los trabajadores de fábrica tienen que recibir formación e información acerca de la forma de utilizar correctamente el sistema MRP; esto es, saber interpretar correctamente sus

- resultados, conocer sus carencias y limitaciones, etc. para que, de esta manera, la empresa pueda aprovecharlo con todas sus ventajas.
- (11) Puesto que el sistema OPT se desarrolla a partir del grafo del sistema de fabricación, se impone la necesidad de modelar el proceso de producción utilizando la teoría de grafos y, aún cuando las posibilidades de modelización que ofrece esta teoría son considerables, pueden existir entornos de producción que por sus especiales características planteen dificultades para ser fielmente representados en forma de grafo; por tanto, en esas situaciones no sería aplicable o no se garantizaría una mínima fiabilidad del sistema.
- (12) Ya se ha comentado que el sistema OPT se implanta casi siempre en procesos de fabricación que ya contaban con anterioridad con un sistema MRP en funcionamiento.
- (13) El mayor cambio que tiene lugar en el sistema OPT respecto a otros sistemas es en el enfoque: el peso se centra en los recursos cuello de botella. La utilización de los cuellos de botella se emplea para determinar cuáles son los productos que maximizan el rendimiento, por lo que un buen producto será aquel que tenga una elevada contribución al beneficio y no haga una excesiva utilización de los recursos cuello de botella.
- Véase:
- BAKKE, N.A. y HELLBERG, R. Relevance Lost? A Critical Discussion of Different Cost Accounting Principles in Connection with Decision Making for Both Short and Long Term Production Scheduling, *International Journal of Production Economics*, Vol. 24, 1991, pp. 1-18.
- (14) PTAK, C.A. MRP, MRP II, OPT, JIT, and CIM—Succession, Evolution, or Necessary Combination, *Production and Inventory Management Journal*, Vol. 32, Nº 2, 1991, pp. 7-11.
- (15) GOLDRATT, E.M. 100 % Data accuracy —Need or Myth, *25^o Annual International Conference Proceedings*, American Production and Inventory Control Society, 1982, pp. 64-66.
- (16) Muchos resultados del OPT van en contra de la intuición y, a menudo, resulta extremadamente difícil comprender cómo se llega a éstos. Véase:
- VOLLMANN, T.E.; BERRY, W.L. y WHYBARK, D.C. *Sistemas de Planificación y Control de la Fabricación*, 3ª ed., Irwin, Madrid, 1995, p. 828.
- (17) RODAMMER, F.A. y WHITE, Jr., K.P. A Recent Survey of Production Scheduling, *IEEE Transactions*, Vol. 18, Nº 6, 1988, pp. 841-851.
- (18) VOLLMANN, T.E.; BERRY, W.L. y WHYBARK, D.C. *Sistemas de Planificación y Control de la Producción, Vol. 1*, Tecnologías de Gerencia y Producción, Madrid, 1990, p. 309.
- (19) RICE, J.W. y YOSHIKAWA, T. A Comparison of Kanban and MRP Concepts for the Control of Repetitive Manufacturing Systems, *Production and Inventory Management*, Vol. 23, Nº 1, 1982, pp. 1-13.
- AGGARWAL, S.C. MRP, JIT, OPT, FMS? Making Sense of Production Operations Systems, *Harvard Business Review*, Septiembre-Octubre, 1985, pp. 8-16.
- AGGARWAL, S.C. y AGGARWAL, S. The Management of Manufacturing Operations: An Appraisal of Recent Developments, *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 8, 1985, pp. 22-23.
- (20) Conviene hacer una puntualización entre la diferencia que existe entre los sistemas de planificación y los sistemas de control de la producción. Por un lado, los sistemas de planificación de la producción emplean la información global para establecer, entre otras cuestiones, los requerimientos y plazos de entrega. Por otro lado, los sistemas de control puede utilizar o no la información global. Por ejemplo, el sistema kanban en su forma más simple, controla el flujo de los materiales en la instalación productiva utilizando únicamente información de tipo local.
- (21) CHASE, R.B. y AQUILANO, N.J. (1994); Op. cit., p. 291.
- (22) Sin embargo, existen algunas diferencias entre los sistemas clásicos de control de existencias y los sistemas kanban, ya que los primeros carecen de los medios necesarios para transmitir esa información, mientras que los sistemas kanban al contar con éstos, se consideran sistemas de información más completos.
- (23) Este método fue específicamente desarrollado con el propósito de cubrir la complejidad de las relaciones temporales y de inventario en los entornos de fabricación discretos. Dado que, los métodos que se venían utilizando hasta ese momento no tenían en cuenta la organización detallada en el tiempo ni los flujos dentro del sistema de producción.
- (24) CHASE, R.B. y AQUILANO, N.J. (1994); Op. cit., p. 701.
- (25) APICS, *Diccionario*, 7ª ed., American Production and Inventory Control Society, 1994, p. 159.
- (26) Recuérdese que en el sistema OPT sólo las operaciones cuello de botella son críticas en las tareas de programación; el argumento es que la velocidad de producción está limitada por las operaciones de los

- recursos cuello de botella. Así, OPT incluye una planificación aproximada de la capacidad que combinada con los datos de disponibilidad de las máquinas permite estimar la capacidad necesaria en cada centro de trabajo. A continuación, las cargas medias de los centros de trabajo se ordenan en orden descendente y se estudia aquél que se encuentra con una mayor carga. Véase:
MELETON, M.P. OPT —Fantasy or Breakthrough, *Production and Inventory Management*, Vol. 27, Nº 2, 1986, pp. 13-21.
- (27) Una mejora importante sobre los sistemas MRP que son programadores infinitos para toda la instalación productiva.
- (28) Los centros de trabajo que no constituyen una restricción no se programan. La regla de trabajo es: «trabajar mientras se disponga de materiales, si no se dispone de ellos no se debe operar». Véase:
GARDINER, S.C.; BLACKSTONE, J.H. y GARDINER, L.R. Drum-Buffer-Rope and Buffer Management: Impact on Production Management Study and Practices, *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 13, Nº 6, 1993, pp. 68-78.
- (29) Por esta razón OPT se considera, algunas veces, como una técnica de programación maestra de la producción. Sin embargo, no se debe considerar como tal, sino como una mejora a la misma: puesto que el sistema OPT es capaz de tomar cualquier programa maestro de la producción como dato y determinar hasta qué grado es realizable.
- (30) Es la sexta regla del OPT la que arremete, en cierto sentido, contra la simplificación del sistema MRP que efectúa la explosión de necesidades suponiendo, en principio, capacidad infinita.
- (31) Las reglas siete y nueve también contradicen explícitamente las simplificaciones del MRP destacando que la variabilidad del tamaño de los lotes y tiempos de fabricación deben incluirse desde el principio, en lugar de corregir a posteriori los programas obtenidos sin tenerlos en cuenta.
- (32) En este sentido, OPT destaca que si las limitaciones de capacidad y la variabilidad del tamaño de los lotes y tiempos de suministro se incluyesen desde el principio, no serían necesarias las correcciones posteriores y se facilitaría la programación. Véase:
LARRAÑETA, J.C.; ONIEVA, L. y LOZANO, S. *Métodos Modernos de Gestión de la Producción*, Alianza Universidad, Madrid, 1995, p. 272.
- (33) Considerando carga finita sólo para una pequeña parte de los centros de trabajo deberían desaparecer la mayoría de los conflictos de prioridad.
- (34) Este procedimiento simplifica en gran medida la programación finita. Por lo que los tiempos de proceso son relativamente breves, aunque, evidentemente, los tiempos reales de proceso están en función de la potencia del hardware que se utilice y del tamaño del grafo que modeliza el proceso de producción que se pretende programar. Sin embargo, comprobaciones empíricas han mostrado que los tiempos de proceso son menores en un 25% al que se necesita para ejecutar un MRP, aplicado al mismo proceso de fabricación y empleando el mismo ordenador. No obstante, se debe tener en cuenta que OPT no realiza la explosión de necesidades que, por poco compleja que sea la estructura de fabricación, requiere un esfuerzo de cálculo notable.
Véanse:
VOLLMAN, T.E., BERRY, W.L. y WHYBARK, D.C. (1995); Op. cit., p. 479.
PENCER, M.S. Developing Finite Schedules for Cellular Manufacturing, *Production and Inventory Management*, Nº 1, 1988, pp. 74-79.
- (35) Esto permite también que OPT pueda crear para los recursos críticos programas con períodos de tiempo en horas o minutos, mientras que el MRP trabaja con semanas o, en el mejor de los casos, con períodos temporales diarios. Véase:
JACOBS, F.R. OPT Uncovered: Many Production Planning and Scheduling Concepts Can Be Applied with or without The Software, *Industrial Engineering*, Vol. 16, Nº 10, 1984, pp. 32-41.
- (36) Una ilustración de las diferencias entre OPT y MRP es el caso de una fábrica en la que no existen restricciones de capacidad; esto es, si es el mercado el que constituye la restricción. En estos casos, tanto MRP como OPT programan hacia atrás a partir de la demanda del mercado. Sin embargo, el sistema OPT reducirá los tamaños de lote hasta el punto en que algunos recursos casi se conviertan en cuellos de botella; este proceso tiene como resultado un menor número de trabajos en curso, un menor tiempo dedicado a la preparación de equipos, incrementa la velocidad de los materiales en la instalación productiva y se produce un cambio hacia la fabricación «cero inventarios».
- (37) JACOBS, F.R. The OPT Scheduling System: A Review of a New Scheduling System, *Production and Inventory Management*, Vol. 24, Nº 3, 1983, pp. 47-51.
- (38) MONDEN, Y. *El Sistema de Producción Toyota*, Ed. CDN-IESE, Madrid, 1987, p. 192.

- (39) Un programa diario de producción uniforme es un programa de producción día a día donde no existe variación o, si existe, los cambios en las cantidades de producción entre distintos días deben ser muy pequeños.
- (40) Los sistemas de control de la producción para un proceso productivo en etapas múltiples se pueden clasificar en:
- Sistemas push o sistemas de empuje. Estos métodos, basados en la existencia de datos de la demanda futura, determinan la demanda de las piezas o materiales en cada etapa del proceso de producción considerando para ello el tiempo necesario para la realización de cada una de las operaciones necesarias para obtener el producto terminado.
 - Sistemas pull o sistemas de arrastre. En estos sistemas la reposición de cada etapa se efectúa de acuerdo con la tasa de consumo de los procesos siguientes.
- (41) En estos casos, los diseñadores del sistema, normalmente, deben prestar especial atención a la determinación de la capacidad efectiva para establecer el grado en que el inventario de productos terminados tira de la fábrica —en un sistema de tipo pull es el inventario de productos terminados el que determina el tamaño del lote—, puesto que menores tamaños de lote implican un mayor número de preparaciones, reduciendo entonces la capacidad efectiva.
- (42) Los sistemas clásicos presentan similitudes con los sistemas kanban, por ejemplo, en cuanto a la necesidad de establecer un método que permita una revisión continua del nivel de inventario en el caso de los sistemas de cantidad constante de pedido, y de determinar el momento en que se va a cursar una orden de reposición de los elementos del inventario para los sistemas de ciclo de pedido constante. Sin embargo, en la determinación del tamaño del lote también presentan pequeñas diferencias en cuanto a su funcionamiento, sobre todo en lo que respecta al proceso de cálculo que para los sistemas kanban resulta muy sencillo: lo que hay que pedir es un número de contenedores de items igual al número de kanbans depositados en el respectivo buzón de tarjetas.
- (43) De hecho, en la filosofía TOC se utilizan, excepto para las estaciones cuello de botella, condiciones de operación similares a las establecidas en la filosofía de fabricación JIT.
- (44) Los lotes más pequeños se moverán más rápido a través de los centros de trabajo que no son cuello de botella.
- (45) Con el objetivo de maximizar la producción el tamaño de lote debe ser en sí mismo variable, puesto que sólo pueden lograrse mejores resultados con la mejor utilización de las instalaciones que suponen un cuello de botella, y los mayores tamaños de lote son una forma de aumentar la utilización de éstos.
- (46) El sistema OPT está diseñado para separar las órdenes en la fábrica; sin embargo, más que separar las órdenes en los centros de trabajo cuello de botella o en las máquinas con retrasos, como se hace normalmente en la práctica usual, se separan las órdenes en las máquinas que no constituyen cuellos de botella, donde se efectúan un mayor número de preparaciones de los equipos. Así, el sistema OPT crea tamaños de lote mayores en las máquinas cuello de botella y lotes menores en las máquinas que no lo son.
- (47) Para poder satisfacer las necesidades de la demanda, la disminución del tamaño del lote lleva consigo un incremento de la frecuencia de los pedidos.
- (48) A diferencia del JIT, la TOC no busca mejorar las preparaciones en cualquier máquina, puesto que ahorrar tiempo en un recurso no crítico sólo incrementa el tiempo ocioso y no tiene influencia sobre los resultados que se van a obtener.
- (49) En el esquema Drum-Buffer-Rope se establece inmediatamente antes del cuello de botella un buffer, que le permite operar de manera pull descentralizada en todas las estaciones de trabajo que abarcan desde el cuello de botella hasta la etapa inicial del sistema productivo —esta forma de coordinación actúa de manera similar a la de los sistemas kanban—. Si no se establece este buffer las piezas, después de que son enviadas a la instalación productiva, son empujadas a través de cada estación de trabajo hasta que llegan a la etapa cuello de botella. Este primer método, tendrá el mismo efecto de controlar los inputs de la instalación productiva basándose en la actividad de la estación cuello de botella, y requerirá menos información que la otra forma de funcionamiento.
- (50) Cuando es el mercado el que constituye la restricción las órdenes de los clientes son las que establecen el ritmo; entonces, en un sistema OPT toda la instalación productiva funciona como si fuera un sistema pull y se tira de los materiales a través de toda la fábrica. Por tanto, la TOC es flexible ya que considera que los cuellos de botella se pueden situar en cualquier parte del sistema, a diferencia del JIT que considera que la etapa que constituye la principal restricción del sistema productivo es la demanda del mercado.
- (51) El funcionamiento de los sistemas kanban es similar, aunque con distintos esquemas de trabajo, al de los sistemas clásicos, puesto que ambos están diseñados para reponer el inventario tan pronto como éste se agote.

- (52) Es el encargado de la etapa el que tiene la libertad y la responsabilidad de reducir los plazos de entrega y los niveles de inventario.
- (53) Es precisamente por esto que estas políticas normalmente provocan que se mantenga un mayor nivel de inventario –a menudo de items no adecuados– que empleando el resto de las políticas de control.
- (54) Una pequeña reflexión acerca de qué mecanismo es el más adecuado frente a distintas fuentes de incertidumbre, puede consultarse en:
PETERSON, R. y SILVER, E.A.: *Decision Systems for Inventory and Production Planning*, John Wiley & Sons, Nueva York, 1979, p. 622.
- (55) VOLLMANN, T.E.; BERRY, W.L. y WHYBARK, D.C. (1995); Op. cit., p. 828.
- (56) El sistema ofrece la posibilidad de simular los resultados que se obtendrían al introducir determinados cambios como podrían ser, por ejemplo: modificar la capacidad de las instalaciones, cambiar las secuencias de procesamiento o la cantidad de recursos disponibles, alterar los plazos de entrega de proveedores, o modificar las políticas de cumplimiento de los plazos de entrega de productos finales a los clientes. Por tanto, el OPT también puede ser utilizado como simulador, para realizar análisis del tipo ¿qué ocurriría si ...?.
Véase: PLENERT, G. y BEST, T.D. MRP, JIT, and OPT: What's «Best»?., *Production and Inventory Management*, Vol 27, Nº 2, 1986, pp. 22-29.
- (57) LAMBRECHT, M.R. y DECALUWE, L. JIT and Constraint Theory: The Issue of Bottleneck Management, *Production and Inventory Management Journal*, Vol. 29, Nº 3, 1988, pp. 61-66.
- (58) BITRAN, G.R. y CHANG, L. A Mathematical Programming Approach to a Deterministic Kanban System, *Management Science*, Vol. 33, 1987, pp. 427-441.
- (59) SCHONBERGER, *Técnicas Japonesas de Fabricación*, Limusa, México, 1987, p. 226.
- (60) Por pedido de emergencia se quiere hacer referencia a la ocurrencia de un elemento inusual, tal como una elevada demanda, por la que una etapa necesita inmediatamente items.
- (61) La necesaria existencia de una política para resolver estos conflictos, implica que está presente un elemento de una política push. Por lo que bajo esta óptica resulta muy difícil imaginar un sistema pull puro.
- (62) Además, se debe tener en cuenta que este sistema establece tamaños variables de los lotes de fabricación y secuencias de producción dinámicas, en función de las necesidades de demanda y de las restricciones de capacidad que existan en cada período del horizonte cubierto por el programa de producción.
- (63) SCHMENNER, R.W. *Production/Operations Management*, 5ª ed., Macmillan Publishing Co., New York, 1993, p. 397.
- (64) Sin embargo, también se tenderá a la fabricación de grandes lotes de items, puesto que la decisión de la cantidad a fabricar en parte va a depender del método de determinación del tamaño del lote elegido.
- (65) La idea es que cuanto más rápido se descubra el problema, antes se podrá atacar para encontrar una solución al mismo.
- (66) El inventario esta causado por la ineficiencia. El objetivo es reducir inventario al menor nivel posible a través de la eliminación de las causas que lo provocan, de manera que la producción sea más eficiente. El inventario actúa, entonces, como barómetro de la eficiencia de la instalación productiva.
- (67) Lógicamente también contrasta con la de MRP que sitúa inventario en todo el proceso productivo a través del lanzamiento anticipado de órdenes, a veces incluso por encima de la capacidad de los recursos cuellos de botella de la fábrica.
- (68) KRAJEWSKI, L.J.; KING, B.E.; RITZMAN, L.P. y WONG, D.S. Kanban, MRP, and Shaping the Manufacturing Environment, *Management Science*, Vol. 33, Nº 1, 1987, pp. 39-57.
LAMBRECHT, M.R. y DECALUWE, L. (1988); Op. cit., pp. 61-66.
LUSS, H. A Synchronized Manufacturing at Final Assembly and Feeder Shops, *International Journal of Production Research*, Vol. 27, 1989, pp. 1413-1426.
LEE, L.C. A Comparative Study of the Push and Pull Production Systems, *International Journal Of Operations and Production Management*, Vol. 9, Nº 4, 1989, pp. 5-19.
- (69) REES, L.P.; HUANG, P.Y. y TAYLOR, B.W. A Comparative Analysis of an MRP Lot for Lot System and a Kanban System for a Multistage Production Operation, *International Journal of Production Research*, Vol. 27, Nº 8, 1989, pp. 1427-1443.

BIBLIOGRAFÍA

- AGGARWAL, S.C. MRP, JIT, OPT, FMS? Making Sense of Production Operations Systems, *Harvard Business Review*, Septiembre-Octubre, 1985, pp. 8-16.
- AGGARWAL, S.C. y AGGARWAL, S. The Management of Manufacturing Operations: An Appraisal of Recent Developments, *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 8, 1985, pp. 22-23.
- APICS, *Diccionario*, 7ª ed., American Production and Inventory Control Society, 1994, p. 159.
- BAKKE, N.A. y HELMBERG, R. Relevance Lost? A Critical Discussion of Different Cost Accounting Principles in Connection with Decision Making for Both Short and Long Term Production Scheduling, *International Journal of Production Economics*, Vol. 24, 1991, pp. 1-18.
- BITRAN, G.R. y CHANG, L. A Mathematical Programming Approach to a Deterministic Kanban System, *Management Science*, Vol. 33, 1987, pp. 427-441.
- CASTÁN FARRERO, J.M. y AGUER HORTAL, M. *El Método de Producción Just-in-Time y su Control Mediante el Kanban*, Editorial Ceura, Madrid, 1985.
- CHASE, R.B. y AQUILANO, N.J. *Dirección y Administración de la Producción y de las Operaciones*, 6ª ed., Addison-Wesley Iberoamericana, Madrid, 1994, p. 739.
- COMPANYS PASCUAL, R. y COROMINAS SUBIAS, A. *Organización de la Producción*, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 1994.
- COMPANYS PASCUAL, R. y FONOLLOSA i GUARDIET, J.B. *Nuevas Técnicas de Gestión de Stocks, MRP y JIT*, Marcombo, Barcelona, 1988.
- DOMÍNGUEZ MACHUCA, J.A.; GARCÍA, S.; DOMÍNGUEZ MACHUCA, M.A.; RUIZ A. y ÁLVAREZ, M.J. *Dirección de Operaciones: Aspectos Tácticos y Operativos en la Producción y los Servicios*, McGraw-Hill, Madrid, 1995.
- ELSAIED, E.A. y BOUCHER, T.O. *Analysis and Control of Production Systems*, 2ª ed., Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1994.
- FERNÁNDEZ SÁNCHEZ, E. *Dirección de la Producción. Fundamentos Estratégicos*, Civitas, Madrid, 1993.
- FERNÁNDEZ SÁNCHEZ, E. y VÁZQUEZ ORDÁS, C.J. *Dirección de la Producción. Métodos Operativos*, Civitas, Madrid, 1994.
- FOGARTY, D.W.; BLACKSTONE, J.H. y HOFFMANN, T.R. *Production and Inventory Management*, 2ª ed., South Western Publishing Co., Cincinnati, 1991.
- FOX, R.E. MRP, Kanban or OPT, *25º Annual International Conference Proceedings*, American Production and Inventory Control Society, 1982, pp. 482-486.
- FOX, R.E. OPT vs. MRP: Thoughtware vs. Software, *Inventories and Production*, Vol. 3, Nº 6, 1983, pp. 6-21.
- FRANSOO, J.C. y RUTTEN, W.G.M.M. A Typology of Production Control Situations in Process Industries, *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 14, Nº 12, 1994, pp. 47-57.
- GARCÍA VÁZQUEZ, J.M. Just in Time: El Enfoque Japonés en Gestión de la Producción. Una Revisión, *Esic Market*, Nº 75, Enero-Marzo, 1992, pp. 97-130.
- GARDINER, S.C.; BLACKSTONE, J.H. y GARDINER, L.R. Drum-Buffer-Rope and Buffer Management: Impact on Production Management Study and Practices, *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 13, Nº 6, 1993, pp. 68-78.
- GIBSON, P.; GREENHALGH, G. y KERR, R. *Manufacturing Management. Principles and Concepts*, Chapman & Hall, Londres, 1995.
- GOLDRATT, E.M. 100 % Data accuracy —Need or Myth, *25º Annual Internacional Conference Proceedings*, American Production and Inventory Control Society, 1982, pp. 64-66.
- GOLDRATT, E.M. *El Síndrome del Pajar*, Díaz de Santos, Madrid, 1993.
- GOLDRATT, E.M. *No es Cuestión de Suerte*, Díaz de Santos, Madrid, 1995.
- GOLDRATT, E.M. y COX, J. *La Meta*, Editorial Taular, 1986.
- GREENE, J.H. *Production and Inventory Control Handbook*, McGraw-Hill, 1987.
- HAASE, K. *Lotsizing and Scheduling for Production Planning*, Springer-Verlag, Berlín, 1994.
- HAYES, R.H. y WHEELWRIGHT, S.C. The Dynamics of Process-Product Life Cycles, *Harvard Business Review*, Marzo-Abril, 1979, pp. 127-136.
- HAYES, R.H. y WHEELWRIGHT, S.C. *Restoring Our Competitive Edge: Competing Through Manufacturing*, John Wiley & Sons, New York, 1984.
- JONSSON, H. y OLHAGER, J. Comparison of MRP and Kanban as Information Systems for Production and Inventory Control: A Simulation Study, *Proceedings of Euro VI Conference*, 1983, pp.19-22.
- JACOBS, F.R. The OPT Scheduling System: A Review of a New Scheduling System, *Production and Inventory Management*, Vol. 24, Nº 3, 1983, pp. 47-51.

- JACOBS, F.R. OPT Uncovered: Many Production Planning and Scheduling Concepts Can Be Applied with or without The Software, *Industrial Engineering*, Vol. 16, Nº 10, 1984, pp. 32-41.
- KRAJEWSKI, L.J.; KING, B.E.; RITZMAN, L.P. y WONG, D.S. Kanban, MRP, and Shaping the Manufacturing Environment, *Management Science*, Vol. 33, Nº 1, 1987, pp. 39-57.
- LAMBRECHT, M.R. y DECALUWE, L. JIT and Constraint Theory: The Issue of Bottleneck Management, *Production and Inventory Management Journal*, Vol. 29, Nº 3, 1988, pp. 61-66.
- LARRAÑETA, J.C.; ONIEVA, L. y LOZANO, S. *Métodos Modernos de Gestión de la Producción*, Alianza Universidad, Madrid, 1995, p. 272.
- LEE, L.C. A Comparative Study of the Push and Pull Production Systems, *International Journal Of Operations and Production Management*, Vol. 9, Nº 4, 1989, pp. 5-19.
- LEE, L.C. y SEAK, K.H.W., JIT and the Effects of Varying Process and Set-Up Times, *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 8, Nº 1, 1987, pp. 19-35.
- LUSS, H. A Synchronized Manufacturing at Final Assembly and Feeder Shops, *International Journal of Production Research*, Vol. 27, 1989, pp. 1413-1426.
- MELETON, M.P. OPT—Fantasy or Breakthrough, *Production and Inventory Management*, Vol. 27, Nº 2, 1986, pp. 13-21.
- MONDEN, Y. *El Sistema de Producción Toyota*, Ed. CDN-IESE, Madrid, 1987, p. 192.
- NARASIMHAN, S.; McLEAVEY, D.W. y BILLINGTON, P. *Production Planning and Inventory Control*, 2ª ed., Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1995.
- ODEN, H.W.; LANGEWALTER, G.A. y LUCIER, R.A. *Handbook of Material and Capacity Requirements Planning*, McGraw-Hill, New York, 1993.
- OHNO, T. *El Sistema de Producción Toyota. Más allá de la Producción a Gran Escala*, Gestión 2000, Barcelona, 1991.
- OLHAGER, J. Safety Mechanisms in Just-in-Time Systems, *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 15, Nº 9, 1995, pp. 289-292.
- ORLICKY, J. Closing the Loop with Pegged Requirements and Firm Planned Order, *Production and Inventory Management*, Vol. 16, Nº 1, 1975, pp. 35-40.
- ORLICKY, J. *Materials Requirements Planning: The New Way of Life in Production and Inventory Management*, McGraw-Hill, New York, 1975.
- ORLICKY, J.; PLOSSL, G.M. y WIGHT, O.W. Structuring the Bill of Material for MRP, *Production and Inventory Management*, Vol. 13, Nº 4, 1972, pp. 19-42.
- PETERSON, R. y SILVER, E.A. *Decision Systems for Inventory and Production Planning*, John Wiley & Sons, Nueva York, 1979, p. 622.
- PLENERT, G. y BEST, T.D. MRP, JIT, and OPT: What's «Best»?., *Production and Inventory Management*, Vol 27, Nº 2, 1986, pp. 22-29.
- PLENERT, G. MRP, JIT, OPT: A Study, *Modern Production Management Systems*, Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland), 1987, pp. 729-734.
- PLOSSL, G.W. et al.; Perspective, pp. 3.1-3.29, En: GREENE, J.H. (Ed.) *Production and Inventory Control Handbook*, McGraw-Hill, 1970.
- PTAK, C.A. MRP, MRP II, OPT, JIT, and CIM—Succession, Evolution, or Necessary Combination, *Production and Inventory Management Journal*, Vol. 32, Nº 2, 1991, pp. 7-11.
- REES, L.P.; HUANG, P.Y. y TAYLOR, B.W. A Comparative Analysis of an MRP Lot for Lot System and a Kanban System for a Multistage Production Operation, *International Journal of Production Research*, Vol. 27, Nº 8, 1989, pp. 1427-1443.
- RICE, J.W. y YOSHIKAWA, T. A Comparison of Kanban and MRP Concepts for the Control of Repetitive Manufacturing Systems, *Production and Inventory Management*, Vol. 23, Nº 1, 1982, pp. 1-13.
- RITZMAN, L.P. y KRAJEWSKI, L.J. Comparison of Material Requirements Planning and Reorder Point Systems. En: BEKRIOGLU, H. (Ed.) *Simulation and Inventory Control*, Society for Computer Simulation, 1983.
- RODAMMER, F.A. y WHITE, Jr., K.P. A Recent Survey of Production Scheduling, *IEEE Transactions*, Vol. 18, Nº 6, 1988, pp. 841-851.
- RODERICK, L.M.; PHILLIPS, D.T. y HOGG, G.L. A Comparison of Order Release Strategies in Production Control Systems, *International Journal of Production Research*, Vol. 30, Nº 3, 1992, pp. 611-626.
- SCHMENNER, R.W. *Production/Operations Management*, 5ª ed., Macmillan Publishing Co., New York, 1993, p. 397.
- SCHONBERGER, *Técnicas Japonesas de Fabricación*, Limusa, México, 1987, p. 226.
- SHINGO, S. *El Sistema de Producción de Toyota desde el Punto de Vista de la Ingeniería*, Tecnologías de Gerencia y Producción, Madrid, 1990.

- SPENCER, M.S. Developing Finite Schedules for Cellular Manufacturing, *Production and Inventory Management*, N° 1, 1988, pp. 74-79.
- VOLLMANN, T.E. OPT as an Enhancement to MRP II, *Production and Inventory Management*, Vol. 27, N° 2, 1986, pp. 38-47.
- VOLLMANN, T.E.; BERRY, W.L. y WHYBARK, D.C. *Sistemas de Planificación y Control de la Producción, Vol.1*, Tecnologías de Gerencia y Producción, Madrid, 1990, p. 309.
- VOLLMANN, T.E.; BERRY, W.L. y WHYBARK, D.C. *Sistemas de Planificación y Control de la Fabricación*, 3ª ed., Irwin, Madrid, 1995, p. 828.
- WIGHT, O.W. *MRP II: Unlocking America's Productivity Potential*, Oliver Wight Limited Publications, Vermont, 1981.
- ZANGWILL, W.I. From EOQ towards ZI, *Management Science*, Vol. 33, N° 10, 1987, pp. 1209-1223.