

## DESARROLLO DE UN MODELO DE PROGRAMACIÓN DE PRODUCCIÓN PARA UN SISTEMA CONTRA INVENTARIO CON MÚLTIPLES LÍNEAS EN PARALELO

García, JP. <sup>1</sup>; Rodríguez, A. <sup>1</sup>; Poler, R. <sup>1</sup>; Olcina, J.

<sup>1</sup> Grupo G.I.P (Gestión e Ingeniería de Producción). <http://gip.upv.es>  
Departamento de Organización de Empresas, Economía Financiera y Contabilidad.  
Universidad Politécnica de Valencia.  
Correo-e: [jpgarcia@upvnet.upv.es](mailto:jpgarcia@upvnet.upv.es), [arodriguez@omp.upv.es](mailto:arodriguez@omp.upv.es), [rpoler@omp.upv.es](mailto:rpoler@omp.upv.es)

### RESUMEN

*Este artículo muestra el estado actual de desarrollo de un prototipo informático para la programación de la producción en una factoría con múltiples líneas de máquinas en paralelo (prensas de corte y estampación). Consta de dos módulos: un 'gestor de información' que recoge los elementos del sistema, requerimientos y restricciones necesarios a tener en cuenta, para que, a partir de estos el 'solucionador', ofrezca un conjunto de posibles soluciones factibles en cuanto a secuenciación, tamaño de lote, y cambios de partida. El objetivo es producir cuando sea necesario, en la cantidad necesaria, cumpliendo un conjunto de restricciones: capacidad de producción, recursos humanos, capacidad de almacenamiento, etc. Esta visión completa del estado del sistema, objetivos, y restricciones permite racionalizar los inventarios, disminuyendo los niveles de stocks que tradicionalmente han sido utilizados como protección ante imprevistos y/o una programación y gestión de la producción incorrectas.*

**Palabras Clave:** Programación de la producción, contra inventario, gestión de stocks, máquinas en paralelo, software, prototipo informático, sistema información, secuenciación, tamaño de lote.

### 1. AMBITO DE APLICACIÓN.

Este trabajo se desarrolla en una empresa líder del sector de la automoción. Concretamente en la planta de prensas, dedicada al corte y estampación de piezas metálicas que son usadas para conformar la carrocería de automóviles (body). El proceso comienza con la recepción de la materia prima que en este caso son bobinas de acero de diferentes grosores y calidades. Seguidamente estas bobinas se cortan en unas máquinas de corte en trozos más pequeños, llamados pletinas. Estas pletinas son las que posteriormente se introducen en las líneas de prensas, donde

las diferentes prensas realizarán las sucesivas operaciones requeridas (embutición y corte), tras la última prensa la pieza está terminada con la forma deseada. El paso de una prensa a otra se realiza mediante manipuladores robots que cargan y descargan en un solo paso una pieza desde una prensa a la siguiente en las líneas más modernas, o mediante brazos automáticos y cintas transportadoras en las líneas menos modernizadas.

Una vez han sido producidas, las piezas se colocan en carros para ser transportadas y almacenadas. La mayoría de las piezas se almacenan en contenedores universales donde cabe un gran número de piezas. Sin embargo existe un determinado número de piezas que por su tamaño y geometría necesitan ser almacenadas en carros especiales.

La fábrica dispone de un total de 4 máquinas de corte y de 59 prensas de las cuales 3 son triaxiales, una es para pruebas y el resto se agrupan en 10 líneas de prensas. El esfuerzo que pueden realizar cada una de estas prensas recorre un rango de entre 400 y 1000 Tm. En la actualidad se estampan unas 235 piezas correspondientes a cuatro modelos de coches diferentes. La jornada laboral es de 3 turnos de aproximadamente 8 horas (mañana, tarde y noche). También, aunque con un uso diferente existen los turnos de fin de semana.

## **2. PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN.**

El Departamento de Programación de la Producción es el encargado de determinar en cada momento la cantidad (tamaño de lote) y la secuencia de piezas a estampar con objeto de cumplir los requerimientos de demanda, pero teniendo en cuenta las capacidades y restricciones que existan. Para la planificación de una línea es necesario tener en cuenta los elementos y las restricciones que se indican a continuación:

### **2.1. Productos**

Una pieza se estampa en un juego de matrices por línea (es decir, una matriz para cada una de las prensas que realizan una operación). En la actualidad existen unos 190 ítems<sup>1</sup> diferentes. La diferencia entre la cantidad de piezas e ítems es debido a que existen piezas que se pueden realizar en un mismo ítem tras un pequeño cambio de configuración en la matriz. Existen piezas que se fabrican simultáneamente porque sus matrices se montan al mismo tiempo en las prensas o bien porque una misma matriz tiene dos o tres ‘moldes’ para hacer dos o tres piezas en un mismo golpe.

Esta situación provoca que cuando se vaya a fabricar una pieza la otra también se

---

<sup>1</sup> Ítem es el nombre que recibe el juego de matrices o moldes unidos para realizar una determinada operación.

tenga que hacer.

También se encuentran piezas que aún teniendo la categoría de elemento independiente no son más que partes cortadas de otra pieza entera. Tienen demanda pero a la hora de fabricarse se ha de programar la pieza entera de la que forman parte.

Una complicación más que aparece en el proceso al identificar los productos y su programación se encuentra en que algunas piezas no requieren toda la línea de prensas para ser fabricadas, lo que permitiría fabricar otras en las prensas restantes. No todos los productos requieren de la misma cantidad de personal para ser producidos ni evidentemente tienen los mismos costes de almacenaje, dependiendo esto último de su tamaño y forma, fundamentalmente.

## **2.2. Demanda**

La demanda de los productos a realizar es, en cierto modo, constante. Las limitaciones de capacidad de una planta de fabricación de automóviles obligan a construir la misma cantidad diaria. Por tanto las piezas que vayan incorporadas en todas las unidades tienen una demanda absolutamente constante. Sin embargo, es grande el número de piezas que no van incorporadas en todas las unidades (por ejemplo, un lateral de un coche de 4 puertas no van incluido en una unidad de 5 puertas). En cualquier caso la demanda de estas piezas es fácilmente predecible a medio plazo, y absolutamente conocida a corto plazo.

También hay que reconocer la demanda de piezas destinadas a ser montadas en vehículos producidos en plantas diferentes a aquella de la que depende la Sección de Prensas analizada. La demanda de estas piezas, pese a ser fácilmente conocida, su consumo no es constante, pues debe ser transportada, en lotes más o menos grandes, hasta el punto de consumo.

Por último hay que destacar la demanda de piezas destinadas a repuestos que no siguen ningún ritmo regular detectable.

Otro aspecto importante a considerar es la necesidad de *adelantar* la producción de determinadas piezas. Esta situación altera de un modo sustancial el ritmo esencialmente constante de la demanda. La necesidad de *adelantar* la producción de determinadas piezas puede venir requerida, por ejemplo, por el mantenimiento preventivo de algún ítem o línea.

## **2.3. Stocks**

El inventario que se reconoce en este sistema es de 4 tipos: Stock de Ciclo, Stock de Seguridad, Stock de anticipación y Stock en Tránsito. (Chase 1992).

El Stock de ciclo viene provocado porque una misma línea fabrica múltiples productos que por tanto no pueden ser fabricados simultáneamente.

El Stock de Seguridad es necesario porque la realidad industrial es incierta y la ausencia de alguna de las piezas que componen la carrocería podría provocar incluso la parada de la planta de montaje y soldadura de carrocerías. A pesar de

que la demanda es conocida y estable, las pequeñas fluctuaciones diarias tanto en los ritmos de producción como en la demanda, exigen que el citado Stock de Seguridad adquiera valores superiores al 20% del Stock de ciclo.

La necesidad de adelantar productos debido a paros previstos de producción de piezas que no suponen un paro en el consumo de esa pieza, exige una presencia importante del denominado Stock de Anticipación, varias veces al año, que puede suponer cantidades superiores a 4 veces el Stock de Ciclo.

#### **2.4. Personal**

El personal que existe en la planta de prensas se puede clasificar en: *personal de estructura* con trabajadores que están ligados a una función específica y *mano de obra directa*<sup>2</sup> cuya función es flexible en cargos sin especialización, como por ejemplo, sacar las piezas de la prensa al final del proceso.

Cada línea tiene asignado un personal mínimo que suele constar de un técnico de línea (especialista en hacer funcionar las máquinas) y un auxiliar (para introducir las piezas en los carros). De las líneas de prensas que hay en la planta algunas están muy automatizadas requiriendo únicamente el personal mínimo. Sin embargo hay líneas que bien porque son manuales (carecen de robots) o porque las piezas son muy grandes requieren de una mayor cantidad de mano de obra. Estas necesidades de personal se suplen con la mano de obra directa. La producción de piezas en un momento dado viene limitada generalmente por la cantidad máxima de mano de obra directa y disponible. Esta cantidad varía dependiendo del turno y del día.

Se produce otra circunstancia especial ligada a la existencia de mano de obra directa en el fin de semana. Durante éste, existe una mayor cantidad de personal no asignado a actividades directamente, dado que durante el fin de semana no es habitual encontrar mandos directos que puedan asignar tareas alternativas, una restricción del programa de producción en el fin de semana es que debe utilizar al menos a todos los trabajadores disponibles.

Existe también la disponibilidad de más capacidad de personal ligada a horas extras, aunque se produce un fenómeno singular dado que la cantidad de horas extras disponibles está limitada superiormente durante la semana laboral y no limitada en fines de semana.

#### **2.5. Cambios de partida**

Por cambio de partida se entiende el paso de estar estampando una pieza a hacer otra. Para ello es necesario preparar los nuevos ítems y los elementos auxiliares, parar la producción de la pieza actual, cambiar las matrices que estaban trabajando para poner las de la nueva pieza, ajustar la robótica y arrancar las prensas para que empiecen a producir de nuevo. En las líneas grandes (1000 Tm) el cambio de las matrices es bastante lento y sólo la puede realizar un técnico cualificado.

Una vez finalizadas las operaciones de cambio se comienza la producción aunque a

---

<sup>2</sup> Este es el nombre que recibe el personal no ligado directamente a ninguna actividad.

un ritmo inferior al estándar, siguiendo una curva de aceleración que garantiza la calidad de los productos obtenidos.

En la realización del programa de producción son muy importantes las restricciones de simultaneidad de cambios entre diferentes líneas. Éstas son debidas a:

- Restricciones de espacio: No se puede realizar un cambio simultáneamente en dos contiguas debido a que comparten un pasillo, donde se realizan actividades.
- Restricciones de capacidad: Para los cambios es necesario personal especializado. Este personal es limitado y su número varía durante los diferentes turnos del día y durante los distintos días de la semana.

Los costes de los cambios de partida van ligados a las actividades a realizar para preparar el cambio (cambio externo según la terminología SMED), las actividades ligadas al cambio con la máquina parada (cambio interno) y al coste de oportunidad del tiempo que tarda la línea en entrar en ritmo de producción estándar.

## **2.6. Ciclos de producción**

En el entorno real del presente proyecto el ciclo de producción es el tiempo que tiene que pasar entre las estampaciones de una misma pieza y determina la cantidad mínima que habría que hacer de cada pieza para que esta fuera rentable.

Por ejemplo si para una pieza el ciclo es de 5 días, eso quiere decir que han de fabricar cantidad suficiente para cumplir con la demanda durante cinco días.

En realidad este concepto debiera ser sustituido por el concepto de lote económico, sin embargo en la situación actual de la planta es difícil conocer los costes ligados a los cambios de partida y a los costes de almacenamiento. Es por este motivo que los futuros usuarios del sistema se sienten en principio más cómodos con un tamaño de lote que se corresponde, *grosso modo*, con la demanda de un número de días determinado por pieza. Esto significa que el lote se fija indicando el número de días de demanda a fabricar (5,10 ó 20).

Esta simplificación permite hacer el cálculo previo de capacidad de un modo más sencillo. Posteriormente en el desarrollo del Programa de Producción se pueden producir modificaciones de este tamaño de lote, que permitan ajustar mejor el programa.

## **2.7. Carros especiales**

En el cálculo del ciclo económico interviene como una restricción ciertamente importante el número de piezas que de un producto en particular se pueden almacenar. La mayor parte de piezas utilizan unidades de carga comunes con lo que la restricción en la demanda de unidades de carga, acumula las necesidades puntuales por conjuntos de pieza que utilizan el mismo conjunto. Sin embargo

otras piezas requieren elementos de soporte especiales, de los que se dispone un número limitado, y que por tanto deben ser tenidos en cuenta de modo individual.

### 3. OBJETIVOS.

A continuación se muestran los objetivos fundamentales en el momento de diseñar un soporte para la toma de decisiones en la realización del Programa de Producción.

Las ventajas que un Sistema Automático de Generación del Programa de Producción son, entre otras:

- Manejar una mayor cantidad de información de forma transparente al usuario.
- Gestionar más rápidamente la mayor cantidad de información disponible.
- Automatizar aquellos cálculos repetitivos que se realizaban de forma manual.
- Analizar la información generada en forma de informes y gráficos sobre la solución adoptada.
- Controlar todos los elementos y restricciones dando aviso de incumplimientos.
- Reducir progresivamente los niveles de Stock. Para ello es necesario reducir el nivel de Stock de Seguridad mejorando la calidad de la información y reducir progresivamente el Tamaño del Lote dado que será posible realizar más cambios de partida..
- Desarrollar un interfaz de usuario amigable e intuitivo que facilite la utilización del sistema.

Se ha optado por una configuración del Desarrollo Informático en dos partes diferenciadas, la primera gestiona la información (El Gestor de Información) mientras que la segunda resuelve el problema de la Programación de Producción, proponiendo una solución (SOLVER).

### 4. EL GESTOR DE INFORMACIÓN.

El gestor de información permite recoger todos los datos necesarios para la resolución del problema. Estos son:

***Datos básicos:*** Relativos a la configuración de piezas, recursos humanos, racks, ítems, prensas y líneas.

***Demanda:*** Se desarrolló una conexión directa con las fuentes informáticas de la demanda que permitía gestionar ésta directamente.

***Stocks:*** Al igual que con la demanda, el sistema adquiere la información de los niveles de almacén para cada pieza, tanto la que se controla en la propia planta como la que se encuentra en otros lugares, directamente desde la fuente.

***Tiempos de cambio y ratios de producción:*** Uno de los problemas más graves que se encontró fue la indefinición de los tiempos reales de trabajo, debido a que estos

evolucionan con el paso del tiempo<sup>3</sup> Por ello se desarrolló una herramienta que permite establecer, mediante el cálculo de medias móviles y aplicación de coeficientes de seguridad, una información actualizada y al mismo tiempo segura sobre los ritmos tanto de producción como de cambio.

***Calendario de Personal y de Mantenimiento:*** Como se ha comentado el personal es un recurso limitativo y por tanto la información ligada a este debe ser considerada por el sistema. Además el Mantenimiento Previsto de Ítems o Líneas es otro de los recursos limitadores a conocer.

***Carros especiales:*** Cada mañana el gestor de información conocerá los carros que hay disponibles. Esto es una limitación de recurso a tener en cuenta en la resolución posterior.

## **5. EL SOLUCIONADOR: APLICACIÓN DE LA HEURÍSTICA.**

El solucionador es el segundo módulo principal de la aplicación informática, y como sobre él recae la responsabilidad de encontrar la solución que mejor se adapte a las necesidades del usuario.

Como en la mayor parte de las circunstancias reales, no se puede identificar un único objetivo a plantear en un modelo matemático. Reducir a cantidad de dinero invertido en stock es evidentemente uno de ellos, pero que tiene que ser considerado junto con los costes de cambio de partida, difícilmente evaluables, los costes de las horas extra, la disponibilidad extra de capacidad que permita fabricar un mayor número de piezas, o las horas de programación de los cambios de partida. Son algunos de los objetivos que debe considerar el programa y que como tales deben ser ponderados en la función objetivo. El ajuste de estos pesos se está realizando mediante un proceso de ajuste, comparando diferentes soluciones.

Las restricciones a considerar en la definición del modelo son, entre otras:

- ✓ No existencia de roturas de stock.
- ✓ Ligadas a las líneas que utiliza cada producto.
- ✓ Las debidas a Personal utilizado en Producción.
- ✓ Debidas a Personal utilizado en realizar cambios.
- ✓ Debidas a recursos físicos utilizados en realizar cambios.
- ✓ Debidas a disponibilidad de elementos de almacén.

La resolución del problema se plantea con periodos diarios y horizonte de 21 días<sup>4</sup>. El periodo es diario puesto que la variabilidad del entorno industrial así lo exige. El Horizonte de 21 días exige una mayor cantidad de cálculos pero aporta al programados una muy interesante visión, que permite programar mantenimientos con una mayor seguridad.

---

<sup>3</sup> El Efecto Aprendizaje. Chase 1992.

<sup>4</sup> En el proceso manual el horizonte es semanal.

## 6. ESTADO ACTUAL Y FUTUROS DESARROLLOS.

Actualmente, el desarrollo está siendo evaluado por el usuario. En estrecha colaboración se ultiman aspectos del interfaz de usuario, generación de informes personalizados, automatización de la recogida de información, etc. Por otro lado, se están desarrollando y experimentando con diferentes heurísticas, tanto nuevas como existentes en la literatura y procedimientos de cálculo que obtengan soluciones factibles en corto espacio de tiempo<sup>5</sup>, que permita realizar experimentos y comprobar alternativas

En paralelo se están ajustando los diferentes parámetros de ponderación de la función objetivo, lo cual permitirá emular el criterio experto del usuario.

Se está mejorando el módulo de interacción del usuario con la solución final para que, si lo desea, pueda modificarla. Así mismo, se está desarrollando un módulo de valoración económica de las actuaciones en la gestión de stocks.

Se está estudiando la posibilidad de incluir algún módulo de aprendizaje que permita al sistema adaptarse progresivamente a la evolución de los niveles de stocks, detectando, analizando y corrigiendo posibles situaciones conflictivas.

## 7. REFERENCIAS.

BLACKBURN, J.D.; MILLEN R.A. (1984): *Simultaneous Lot-Sizing and Capacity Planning in Multi-Stage Assembly Processes*. European Journal of Operational Research, Vol. 16, 84-93.

CARRENO, J.J. (1990): *Economic Lot Scheduling for Multiple Products on Parallel Identical Processors*. Management Science, Vol. 36, 348-358.

CHAND, S.; SETHI, S.P. (1990): *A Dynamic Lot Sizing Model with Learning in Setups*. Operations Research, Vol. 38, 644-655.

CHASE R.B.; AQUILANO N.J. (1992): *Dirección y Administración de la Producción y de las Operaciones*. Addison-Wesley Iberoamericana.

DORNDORF, U.; PESCH, E. (1995): *Evolution Based Learning in a Job Shop Scheduling Environment*. Computers & Operations Research, Vol. 22, 25-40.

GONÇALVES, J.F.; LEACHMAN, R.C. (1994): *Heuristic Scheduling Policy for Multi-Item, Multi-machine Production Systems with Time-Varying, Stochastic Demands*. Management Science, Vol. 40, 1455-1468.

JORDAN C. (1996): *Batching and Scheduling; Models and Methods for Several Problem Classes*. Springer.

KIMMS A. (1997): *Multi-Level Lot Sizing and Scheduling; Methods for Capacitated Dynamics, and Deterministic Models*. Physica-Verlag.

---

<sup>5</sup> Alrededor de 10 minutos