

Modelos para la Planificación de la Producción en una empresa de calzado infantil.

Faustino Alarcón Valero¹, María del Mar Alemany Díaz², Ángel Ortiz Bas³

¹ Ingeniero de Organización Industrial, faualva@omp.upv.es

² Doctor Ingeniero Industrial, mareva@omp.upv.es

³ Doctor Ingeniero Industrial, aortiz@omp.upv.es

Centro de Investigación en Gestión e Ingeniería de la Producción de la
Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera s/n, Valencia 46022

RESUMEN

Esta comunicación trata sobre la modelización de la problemática de la planificación de la producción de una empresa del sector de calzado infantil. Los modelos planteados abordan la movilidad de las operarias en las diferentes secciones, teniendo en cuenta de esta forma uno de los problemas más importantes a los que se enfrentan este tipo de empresas. El planificador podrá utilizar estos modelos para simular el comportamiento del sistema productivo ante diferentes cargas de trabajo y diferentes asignaciones de operarias a las secciones y/o para encontrar la asignación idónea de las operarias a las secciones en función de una carga de trabajo determinada, con su correspondiente fecha de finalización, de obligado cumplimiento. Los modelos planteados trabajan de forma escalonada, de forma que, si las restricciones impuestas por el usuario en una primera fase no permiten al modelo encontrar una solución factible, se activará una segunda fase en la que se obtendrá la asignación de operarias que minimizan las infactibilidades. Además se proporciona información valiosa para que el planificador pueda resolver los problemas encontrados.*

Palabras clave: Planificación, Modelización,

1. Introducción.

Las empresas pertenecientes al sector del calzado en general han experimentado grandes avances en los últimos años. Sobre todo en lo concerniente al uso de herramientas CAD en el diseño y el patronaje, así como en el uso de herramientas automatizadas de corte y cosido, y en el uso de internet como herramienta básica en el área comercial. Es destacable también la utilización de nuevos materiales plásticos y sintéticos que aumentan la resistencia y la ligereza del producto sin sacrificar calidad ni apartarse de las tendencias marcadas por la moda cada temporada.

Sin embargo, el porcentaje de actividades manuales en los procesos de fabricación del calzado en general y del calzado infantil en particular todavía es elevado, sobre todo en lo concerniente al aparado, ahormado y abrochado-acabado. Esto implica que la gestión de los recursos humanos es un aspecto fundamental en la competitividad de este tipo de empresas.

*Este trabajo se deriva de la participación de sus autores en un proyecto de colaboración entre una empresa del sector del calzado de la Comunidad Valenciana y el CIGIP de la Universidad Politécnica de Valencia, titulado "Rediseño del sistema de planificación de la producción".

Por otro lado, hay que tener en cuenta que los productos poseen un alto grado de obsolescencia (muy determinado por la moda de cada temporada), que los productos pueden llegar a ser muy diferentes entre sí (utilizando materiales muy distintos y empleando tiempos muy distintos en cada una de las etapas de fabricación) y que el mercado exige cada vez más personalización (no sólo en cuanto al diseño del producto, sino también en cuanto a la forma de compra es decir: volumen variable, plazos y formas de entrega flexibles).

Todas estas características del sector añaden excesiva dificultad a una tarea ya complicada de por sí: la planificación de la producción [1], [2] y [3]. En el presente trabajo se pretende modelizar el proceso de planificación de una empresa fabricante de calzado infantil en su etapa preandante. La utilización y resolución de este modelo puede ayudar al planificador a encontrar el plan de fabricación más adecuado para un escenario concreto.

2. Descripción de la empresa

2.1. Datos generales

La empresa en la que se ha desarrollado el convenio se dedica a la fabricación y comercialización de calzado infantil, en su modalidad de preandante (de 0 a 12 meses). Tiene experiencia industrial y comercial desde 1963 y dispone de varias marcas comerciales que ocupan puestos relevantes en el mercado nacional e internacional (distribuye a los cinco continentes).

Esta empresa fabrica contra pedido, apoyándose en una red comercial que hace posible una fabricación prácticamente ininterrumpida durante todo el año. Hay que destacar su política de servicio al cliente, mediante la cual se obtienen niveles de servicio del 100%: para la empresa es prioritario evitar que un pedido llegue después de la fecha de servicio a su destino.

En la actualidad dispone de más de 140 trabajadores y de un gran nivel de automatización, si se compara con la media del sector (aunque todavía abundan las operaciones manuales debido a las características del producto: tamaño, materiales, etc.). Su potencial de fabricación le permite fabricar una gran cantidad de pares de zapatos al día, utilizando como materia prima pieles, algodón, materiales naturales y varios tipos de adornos como cintas, termo-sellados, serigrafiados, etc. La empresa utiliza un sistema de retribución individual basado en la producción de cada operaria. Para el cálculo de la retribución individual se utiliza una unidad de medida llamada "punto". Cada punto equivale al trabajo desarrollado, durante una cantidad determinada de segundos, por una operaria en condiciones normales y a un ritmo de fabricación normal. Según esta unidad de medida, cada operaria debería trabajar por valor de una cantidad estándar de puntos al día. Cada producto, en su ficha técnica, contiene los puntos que cada operaria obtendrá en cada una de las operaciones de sus correspondientes etapas de fabricación, calculados a partir de un exhaustivo estudio de métodos y tiempos. Cuando la operaria comunica, al final del día, las operaciones que ha realizado a cada tipo de producto y el número de éstos (mediante los respectivos códigos de las órdenes de fabricación), un sistema informatizado realiza el cálculo de puntos totales a asignar a dicha operaria a partir de la información contenida en las fichas técnicas y, consecuentemente, su retribución.

Este sistema de retribución permite que una operaria pueda mantener diferentes ritmos de trabajo a lo largo del día, pudiendo adaptarse así a sus propias necesidades o a las peculiaridades del trabajo. No obstante, lo que supone facilidades desde el punto de vista retributivo o desde el punto de vista personal de la operaria, implica dificultades para la planificación de la producción. Planificar la producción, y más concretamente la capacidad productiva, cuando las operarias tienen la posibilidad de variar su ritmo de trabajo aleatoriamente es una tarea ciertamente complicada. La empresa se debe comprometer con los clientes para terminar cierto número de pedidos contando con que se harán a un ritmo medio: si el ritmo real es más bajo, los pedidos no se acabarán a tiempo, mientras que si el ritmo es más alto los clientes pueden no admitir los pedidos antes de la fecha prevista, con la consiguientes costes de almacenar y la problemática que podría surgir en el área de aprovisionamientos (consumos mayores de los previstos en un determinado periodo de tiempo). Lógicamente, estas fluctuaciones en el ritmo de trabajo serán tanto más importantes cuanto menor sea el periodo considerado (programación de la producción), de forma que, en periodos largos, se compensan o amortiguan bastante bien y los resultados de la planificación (planificación agregada de la producción) realizada a partir de valores medios suelen ser aceptables.

Debido a la gran diversidad de productos que comercializa la empresa, el número de operaciones distintas que se pueden realizar es muy elevado. La actividad de las operarias debe adaptarse a los cambios de producto, de forma que una misma operaria debe ser capaz de realizar varias actividades distintas con una cierta destreza (perfil de polivalencia). Este hecho puede suponer movimientos de las operarias en las distintas secciones, líneas, y/o puestos de trabajo, según las cargas de trabajo que generen los productos en cada sección y/o puesto de trabajo, lo cual va en función a su vez de las operaciones que requiera cada producto. Para hacer posible esto, todas las operarias pasan por un periodo de formación al incorporarse a la empresa. A pesar de que, en este periodo de formación, se intenta que las operarias adquieran las mismas habilidades para cualquiera que sea la tarea que deban desempeñar (polivalencia), bien por las propias características personales de cada una o bien después del periodo de formación, con la experiencia, las operarias desarrollan mayor capacidad de trabajo y mayores habilidades en ciertas tareas (que no tienen porqué coincidir para todas las operarias). Si las operarias tienen mayor habilidad en un o en algunas tareas éstas se convertirán en tareas preferentes. Obviamente será más fácil para ellas conseguir los puntos necesarios para asegurarse una buena retribución realizando tareas preferentes que realizando otro tipo de tareas en las que poseen una habilidad normal o por debajo de lo normal. Esto supone que, desde el punto de vista personal de la operaria, siempre se tenderá a realizar tareas preferentes. Pero a la empresa también le interesa que la operaria realice tareas preferentes porque los resultados, en lo que respecta a la calidad del producto, son mejores y la satisfacción personal de las operarias se maximiza.

Según esto, cada operaria tiene asociada una o unas pocas tareas preferentes que realiza mejor que el resto, consiguiendo mejor retribución en menor tiempo, mejores resultados de calidad y mayor satisfacción cuando las realiza. Esto es conocido por la propia empresa que, a través del encargado de la fabricación, que es el que asigna las tareas (reparte las órdenes de fabricación y equilibra la capacidad productiva en función del tipo de productos que hay que fabricar), prioriza el hecho de que las operarias realicen sus tareas preferentes. Sin embargo esto no es siempre posible por dos razones, fundamentalmente: a) varias operarias pueden coincidir en sus tareas preferentes mientras que hay tareas que no son preferentes de ninguna operaria y b) la capacidad productiva que tendría la empresa al colocar a todas las operarias

en sus respectivas tareas preferentes no tiene porqué ser la que necesita en un momento dado y, aunque lo fuera, dejaría de serlo al menor cambio de producto. El responsable de producción, al repartir las órdenes de fabricación, debe, por tanto, ajustar la capacidad productiva en función de las necesidades que originan los pedidos y asignar las tareas aunque en algunas ocasiones, estas asignaciones no conviertan en preferentes a las tareas.

Si una operaria debe realizar muchas tareas distintas deberá moverse por varias secciones. Los movimientos de las operarias por las distintas secciones no añaden valor al producto y, además, implican un tiempo de adaptación de la operaria por cada movimiento que se produzca entre dos secciones distintas. Para poder medir, y por lo tanto controlar y minimizar la cantidad de movimientos que realizan las operarias entre las distintas secciones se ha creado el concepto de “dispersión”. La dispersión refleja el número de líneas diferentes a las que se asigna una operaria para la fabricación de un conjunto de pedidos. Si una operaria debe realizar muchas operaciones distintas es decir, debe pasar por varias secciones o líneas para completar su trabajo, la variable que mide la dispersión de ésta operaria tomará un valor alto. La dispersión final o total se calculará como la suma de las dispersiones individuales de todas las operarias, de forma que cuanto menor sea, en menos líneas diferentes tendrán que trabajar las operarias y, por lo tanto, menores recorridos se realizarán y mayor eficiencia se conseguirá.

2.2. Sistema Productivo

El sistema productivo que posee la empresa es de tipo taller. Los recursos productivos se organizan en secciones o líneas, en las que se hacen siempre el mismo tipo de actividades o trabajos. Las secciones más importantes son las de: Corte, Aparado, Terminado y Expediciones. Dentro de cada una de éstas secciones se llevan a cabo tareas o actividades diferentes, aunque relacionadas con lo que el nombre de la sección indica, según se puede apreciar en la **Figura 1**, a continuación:

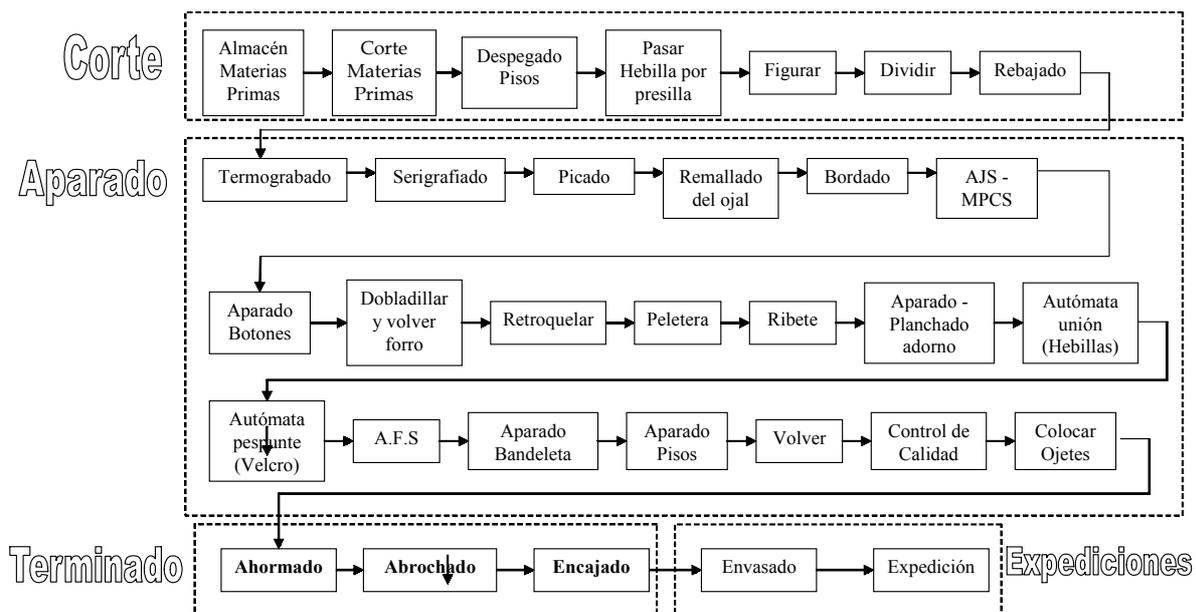


Figura 1. Esquema de las actividades que se realizan en cada sección.

3. Descripción de los modelos planteados

Se plantean dos modelos matemáticos [4] que funcionan escalonadamente. El primer modelo trata de encontrar la asignación de operarias más adecuada para cumplimentar una serie de pedidos en un plazo improrrogable.

1. Modelo de asignación de operarias: Las operarias tienen distintos perfiles de polivalencia de forma que algunas pueden moverse a cualquiera de las secciones o realizar cualquier actividad (polivalencia total), si es necesario, y otras tienen limitadas las opciones de movilidad (polivalencia parcial). La resolución de este modelo permite conocer si existe alguna asignación de operarias a líneas capaz de cumplimentar los pedidos de los clientes para un horizonte de planificación dado y, en el caso de que así sea, cuál es ésta asignación. La función objetivo trata de minimizar la dispersión en la asignación de trabajadoras a las diferentes secciones, es decir es preferible un plan que asigna a las operarias al mínimo número de secciones posibles. De esta forma se minimiza la movilidad de operarias.

Índices:

op = operarias

i = lanzamientos (partes u órdenes de fabricación) o pedidos (según convenga)

j = líneas o secciones (para que el modelo pueda trabajar con las dos, según convenga)

t = periodos de tiempo

Parámetros:

$prlin[i, j, t]$ = capacidad necesaria de máquina del pedido i en la línea j en el periodo t (esto se obtiene a partir de cargas de ficha técnica y tiempos de ciclo, según líneas o secciones).

$prop[i, j, t]$ = capacidad necesaria de operaria del pedido i en la línea j en el periodo t (esto se obtiene a partir de cargas de ficha técnica y tiempos de ciclo).

$caplin[j, t]$ = capacidad de las máquinas de la línea j en el periodo t

$caplinmo[op, j, t]$ = capacidad máxima disponible de la operaria op en la línea j en el periodo t (con esto se definen simultáneamente las polivalencias y se imponen restricciones a posibles asignaciones)

$capmo[op, t]$ = capacidad disponible total de la operaria op en el periodo t.

$maxop[j]$ = número máximo de operarias por línea.

Con los límites que aparecen a continuación se fuerza o no a la asignación de ciertas operarias a líneas.

$LIASIG[op, j, t]$ = límite inferior de la variable de decisión, puntos que se asignan de una determinada operaria a una línea en un periodo. Si no estamos simulando nada, todos los valores deben valer cero. Si se está imponiendo alguna asignación de cargas de operarias a líneas (p.e., 500 pts), el valor inferior y superior tomarían ese valor (500 pts).

$LSASIG[op, j, t]$ = límite superior de la variable de decisión, puntos que se asignan de una determinada operaria a una línea en un periodo.

$LIY[op, j, t]$ = límite inferior de la variable de decisión asignación o no de una operaria a una línea.

$LSY[op, j, t]$ = límite superior de la variable de decisión asignación o no de una operaria a una línea.

Variables de Decisión:

$ASIG[op, j, t]$ = puntos la operaria op asignada a la línea j en el periodo t

$Y[op, j, t]$ = variable binaria que vale 1 si la operaria op tiene alguna carga asignada a la línea j en el periodo t , y 0 en caso contrario.

Función Objetivo (Minimizar la dispersión total de asignaciones de operarias a líneas y , por lo tanto su movilidad, ante una carga determinada de fabricación):

$$\text{Min } [Z] = \sum_{op} \sum_j \sum_t Y(op, j, t) \quad (1)$$

Restricciones:

$$\sum_i prlin(i, j, t) \leq caplin(j, t) \quad \forall j, \forall t \quad (2)$$

$$\sum_i prop(i, j, t) = \sum_{op} ASIG(op, j, t) \quad \forall j, \forall t \quad (3)$$

$$ASIG(op, j, t) \leq Y(op, j, t) * caplinmo(op, j, t) \quad \forall j, \forall t, \forall op \quad (4)$$

$$\sum_j ASIG(op, j, t) \leq capmo(op, t) \quad \forall op, \forall t \quad (5)$$

$$\sum_{op} Y(op, j, t) \leq \max op \quad \forall j, \forall t \quad (6)$$

$$LIASIG(op, j, t) \leq ASIG(op, j, t) \quad \forall op, \forall j, \forall t \quad (7)$$

$$ASIG(op, j, t) \leq LSASIG(op, j, t) \quad \forall op, \forall j, \forall t \quad (8)$$

$$LIY(op, j, t) \leq Y(op, j, t) \quad \forall op, \forall j, \forall t \quad (9)$$

$$Y(op, j, t) \leq LSY(op, j, t) \quad \forall op, \forall j, \forall t \quad (10)$$

Este modelo se puede utilizar para encontrar la mejor asignación de operarias permitiendo que el modelo utilice todas las posibilidades de movimiento de las operarias por las secciones (respetando el perfil de polivalencia de cada una) o restringiendo el movimiento de algunas de las operarias a ciertas secciones, según el criterio del planificador. Si no se encuentra solución en cualquiera de los dos casos (solución infactible), se activará la segunda fase de resolución es decir, el segundo modelo.

2. Modelo de minimización de infactibilidades: si mediante el modelo anterior, y según los datos de entrada utilizados por el usuario, no es posible encontrar una solución factible se podrá utilizar un segundo modelo que tratará de minimizar las infactibilidades. La función objetivo, en este caso, trata de minimizar las desviaciones o aumentos de capacidad necesarias para cumplimentar los pedidos seleccionados en las fechas previstas. El resultado de este modelo proporciona la asignación de operarias a secciones que minimiza la violación de las restricciones de capacidad al tiempo que informa de: las secciones en las que se producen los problemas de capacidad, el periodo de tiempo en que se producen y los pedidos de los clientes que se encuentran involucrados.

VARIABLES DE DECISIÓN ADICIONALES:

$Dposlin[j, t]$ = utilización por debajo de la capacidad disponible de la línea j en el periodo t .

$Dneglin[j, t]$ = utilización por encima de la capacidad disponible de la línea j en el periodo t .

$Dposlinop[op, j, t]$ = utilización por debajo del máximo de la capacidad disponible de la operaria op en la línea j y en el periodo t .

$Dneglinop[op, j, t]$ = utilización por encima del máximo de la capacidad disponible de la operaria op en la línea j y en el periodo t .

$Dposop[op, t]$ = utilización por debajo de la capacidad total disponible de la operaria op en el periodo t .

$Dnegop[op, t]$ = utilización por encima de la capacidad total disponible de la operaria op en el periodo t .

Función Objetivo (Minimizar las desviaciones o infactibilidades surgidas a partir del modelo anterior):

$$Min[Z] = \sum_j \sum_t Dneglin(j, t) + \sum_{op} \sum_j \sum_t Dneglinop(op, j, t) + \sum_{op} \sum_t Dnegop(op, t) \quad (11)$$

Restricciones:

$$\left(\sum_i prlin(i, j, t) \right) + Dposlin(j, t) - Dneglin(j, t) = caplin(j, t) \quad \forall j, \forall t \quad (12)$$

$$\sum_i prop(i, j, t) = \sum_{op} ASIG(op, j, t) \quad \forall j, \forall t \quad (13)$$

$$ASIG(op, j, t) + Dposlinop(op, j, t) - Dneglinop(op, j, t) = Y(op, j, t) * caplinm(op, j, t) \quad \forall op, \forall j, \forall t \quad (14)$$

$$\sum_j ASIG(op, j, t) + Dpos(op, j, t) - Dneg(op, j, t) = capmo(op, t) \quad \forall op, \forall t \quad (15)$$

$$\sum_{op} Y(op, j, t) \leq \max op(j) \quad \forall j, \forall t \quad (16)$$

$$LI(op, j, t) \leq ASIG(op, j, t) \quad \forall op, \forall j, \forall t \quad (17)$$

$$ASIG(op, j, t) \leq LS(op, j, t) \quad \forall op, \forall j, \forall t \quad (18)$$

$$LIY(op, j, t) \leq Y(op, j, t) \quad \forall op, \forall j, \forall t \quad (19)$$

$$Y(op, j, t) \leq LSY(op, j, t) \quad \forall op, \forall j, \forall t \quad (20)$$

4. Conclusiones

Se han desarrollado modelos matemáticos para el cálculo de la asignación más adecuada de

trabajos a operarias, ante un escenario concreto, formado por un mix de pedidos y una capacidad productiva determinada. La resolución de estos modelos supone una gran ayuda para el responsable de producción ya que obtiene, según el escenario definido, la mejor de las asignaciones respetando las características de las operarias en cuanto a su perfil de habilidades y los objetivos de la empresa respecto a la reducción de los movimientos de las operarias entre líneas o secciones. Estos modelos pueden resolverse varias veces posibilitando la simulación de diferentes escenarios de producción y ofreciendo al decisor información muy valiosa para la selección de la mejor de las opciones.

Actualmente, se están planteando ampliaciones de los modelos matemáticos expuestos con el fin de acercar dichos modelos a la realidad empresarial, normalmente más compleja y rica en detalles difíciles de modelar. En este sentido, se considera importante, en la siguiente fase del estudio, abordar la problemática de las “tareas preferentes” (expuesta en el apartado de la descripción de la empresa).

Referencias

- [1] Vollmann, Thomas E.; Berry, W. L.; Whybark, D.C., (1995) “Sistemas de Planificación y control de la fabricación”, 3ª edición, pp. 281-315.
- [2] Chase, R.B.; Aquilano, N.J., Jacobs, F.R., (2000) “Administración de Producción y Operaciones”, 8ª edición.
- [3] Krajewski, Lee J., Ritzman, Larry P. (1999), “Administración de operaciones”, 5ª edición, pp. 693-732
- [4] Shapiro J.F. “Mathematical Programming Models and Methods for Production Planning and Scheduling.”, In: S.C. Graves (eds.), Handbooks in OR&MS, Elsevier Science Publishers B.V., 1993, 4, 523-568.