

SECUENCIACIÓN PARA LA LÍNEA DE MONTAJE DE AUTOMÓVILES. UN CASO PRÁCTICO

García, JP.¹ ; Poler, R.¹ ; Rodríguez, A.¹ ; Lario, FC.¹

¹ 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@omp.upv.es, arodriguez@omp.upv.es, rpoler@omp.upv.es,
fclario@omp.upv.es

RESUMEN

El orden de llegada de las carrocerías pintadas a la cabecera de una línea de Montaje no coincide generalmente con el inicialmente previsto. Antes de la línea de montaje se encuentra en la mayoría de las empresas fabricantes de automóviles un almacén susceptible de ser utilizado para mejorar la calidad de la secuencia de entrada a la línea de montaje, acorde a los planteamientos de los problemas CO (Constrained Option). Se analiza en primer lugar en este trabajo la situación real de uno de estos almacenes. Se proponen e implementan 2 mecanismos que solucionan el problema de secuenciación.

Palabras Clave: Sector del Automóvil, Secuenciación Línea de Montaje

1 INTRODUCCIÓN

Los Procesos de Soldado de Carrocerías y su Pintado son previos al proceso de Montaje Final, que es el habitualmente analizado por la literatura, cuando se plantea la Secuenciación de Unidades en Líneas de Producción Mixtas.

Al final del proceso de pintado se obtiene la carrocería pintada cuya variedad es habitualmente elevada, dado que el número de colores finales se tiene que multiplicar al número de carrocerías que se fabrican. Además, el procedimiento de identificación¹ de las unidades a lo largo de una planta de fabricación de automóviles implica que cada unidad es estrictamente diferente de cualquier otra.

La literatura que trata la secuenciación de unidades homogéneas [KUBIAK93],[BAUTISTA96] ha considerado generalmente los objetivos ligados a la línea de montaje final, Y los resultados de esos trabajos han ido vinculados, generalmente, a la generación de un Programa de Producción Secuencial, donde se

¹ Al inicio de la fabricación del producto se suelda una etiqueta metálica que identifica en todas sus características al producto en cuestión.

conocen todos los productos a fabricar, constituyendo éste un conjunto invariable para el problema a resolver.

Sin embargo también se han expuesto casos [MONDEN94],[DUPLAGA96] donde se admite que no todos los productos pueden ser secuenciados en un instante dado, sino que los productos a secuenciar van llegando a un almacén y que por tanto el problema debe ser considerado como dinámico. Hay que destacar que Monden al proponer su Método de Persecución de Objetivos en [MONDEN87] no definió que el conjunto de productos a secuenciar fuera constante y conocido.

Esta es la circunstancia en la que se desarrolla el presente trabajo, que ha sido realizado en una empresa líder en la fabricación de automóviles.

Por diferentes motivos que no son objeto de este trabajo las unidades fabricadas no llegan al final de la etapa de pinturas en el orden en que se empezaron a soldar las carrocerías. Al final de esta etapa de pinturas las carrocerías pintadas deben entrar en la línea de montaje final. Debido a los diferentes ritmos y horarios de trabajo en estas dos etapas consecutivas se hace necesaria la existencia de un almacén que regule esta circunstancia.

Este almacén, que puede tener múltiples configuraciones, en este caso concreto tenía una estructura de 14 líneas en paralelo situadas en tres plantas.

Debido a la complejidad creciente de los productos fabricados y a la especial estructura del almacén, los métodos tradicionales de secuenciación no eran viables, y se nos solicitó una aportación que permitiera mejorar la situación existente.

El trabajo desarrollado exigió en primer lugar un análisis de la configuración física del almacén [GARCIA97] , un análisis del entorno, aguas arriba y aguas abajo, y por fin un análisis del Sistema Físico que controlaba.

En segundo lugar fue necesario describir el problema que se pretendía resolver.

Por último se realizaron 2 propuestas que se simularon con datos reales.

2 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN REAL

2.1 Configuración Física del Almacén

Encontramos un diagrama esquemático en la Figura 1. El almacén consta de una línea de entrada situada en el primer piso que alimenta trece líneas de servicio. Todas las líneas están distribuidas en tres pisos. La línea de alimentación tiene una capacidad aproximada de 20 coches, y va desde la parte frontal a la parte posterior. En la parte posterior un transelevador distribuye los coches desde la línea de alimentación a las líneas de servicio. No todas las líneas de servicio tienen conexión directa desde del transelevador. Las líneas delanteras en el piso tercero deben ser alimentadas desde una línea accesoria. Las líneas de servicio alimentan un único descensor que va ordenando la salida de los coches. Sólo una de las líneas alimenta directamente al descensor, el resto pasa a través de línea auxiliares o de mesas de desplazamiento.

Es de destacar que desde el momento que se solicita una carrocería para su extracción hasta que esta sale del almacén transcurre una cantidad de tiempo variable y en cualquier caso apreciable.

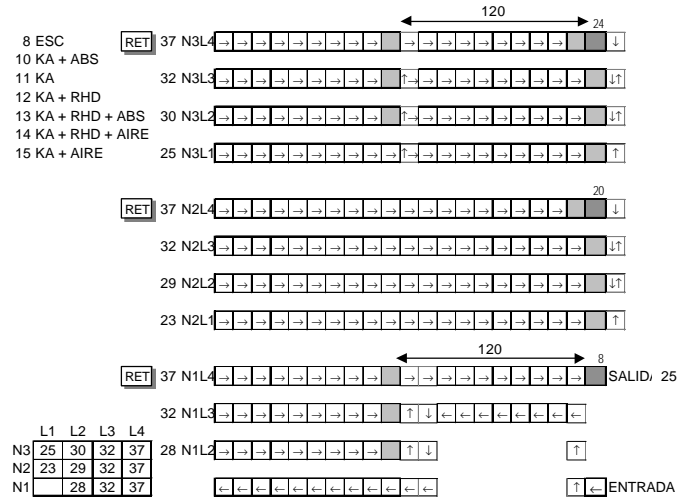


Figura 1 – Configuración del Almacén.

2.2 Descripción del Entorno

Las carrocerías llegan al almacén desde la planta, a un ritmo variable, este ritmo oscila desde las 80 unidades por hora, a las 130. Además existe una gran variabilidad de proporciones de las diferentes unidades. Por tanto El nivel de llenado del almacén es variable y también lo es la cantidad de productos de cada tipo en un instante dado.

Además, como se ha comentado, el horario de trabajo de las dos plantas consecutivas es diferente, lo que también colabora en la variabilidad del nivel de llenado.

La Línea de Montaje Final son en realidad dos líneas paralelas que admiten cada una de ellas un conjunto de productos distinto aunque no disjuncto. El ritmo de producción de las dos líneas es variable y no igual. Cada una de las líneas establece restricciones del tipo ‘No más de una unidad del modelo K con volante a la izquierda de cada 3 unidades consecutivas’, que son de las descritas en [7]. Además de no violar dichas restricciones la aportación de unidades a cada una de las líneas debe considerar sus diferentes ritmos de producción, y, además, que puede ocurrir que una de las dos líneas se detenga por algún motivo

Los productos fabricados se pueden clasificar según sus características más importantes, las consideradas en las restricciones en 8 grupos.

2.3 Descripción del Sistema Automático que controla el Proceso

El almacén se gobierna desde un PLC que gestiona la entrada de unidades a él, introduciendo en cada instante el producto en aquella línea más llena de entre las que tienen asignada el grupo al que pertenece la unidad. Esta asignación la realiza

el operario manualmente y depende básicamente de la proporción de unidades en cada instante en el almacén, y de un conjunto de reglas no sencillas de expresar que su experiencia le indicaba que facilitaría la actividad de extracción.

El sistema automático almacena el número de unidades que existen en cada línea del almacén pero no el tipo al que pertenece cada una de estas unidades. La información concreta acerca del producto a ser secuenciado se obtiene mediante la lectura de la unidad situada en cabecera de línea mediante un sistema de identificación automática por Código de Barras.

Un análisis realizado sobre el funcionamiento del almacén reflejaba que para que no se produjeran problemas de ruptura de ciclo en el almacén era necesario tener preseleccionados al menos 3 productos, esto es indicar la salida de al menos 3 unidades por detrás de la que en cada momento esta saliendo.

El Sistema de Control además permite establecer ciclos de extracción. Los ciclos de extracción son secuencias de números de línea que, de no mediar orden en contra, se repetirían sucesivamente. El uso de esta aplicación tiene la clara ventaja de reducir el trabajo del operario, puesto que una vez introducido el ciclo, mientras existan unidades en las líneas preseleccionadas la extracción será continua. Esta utilidad sin embargo es muy poco utilizada por los responsables del sistema dada la gran complejidad que suponía el cálculo de un ciclo adecuado.

3 EL PROBLEMA

Sucesivos cambios de modelos de unidades a secuenciar, de proporciones en las características básicas (Aire Acondicionado, Dirección Asistida), de configuración del almacén y de los requerimientos de la planta de montaje... hacen que el Sistema Experto que constituían los operarios encargados de la estación, pierdan gran parte de su efectividad.

Por éste y otros motivos la empresa solicitó un desarrollo que permitiera la secuenciación de modo dinámico de las unidades del almacén.

Se realizó previamente un análisis tanto del sistema físico, el ya expuesto de modo breve en el apartado anterior, como de las necesidades objetivas.

Éstas consistían básicamente en suministrar una secuencia conjunta a las dos líneas de vestido de vehículos de modo proporcional y cumpliendo en la medida de lo posible un conjunto de restricciones que podían ser variables.

Estas restricciones son, como se ha comentado, del tipo de restringir la aparición de determinadas opciones en cada tramo de la secuencia.

El sistema experto que se desarrollará debía interferir lo mínimo posible con el sistema de control existente en esos momentos por los costes que ello supondría.

4 LAS PROPUESTAS

Se desarrollaron un conjunto de propuestas de las que se han seleccionado tres para su exposición en el presente trabajo.

4.1 Breve Descripción de la notación a utilizar.

Aprovechamos este apartado para realizar una breve reseña de la notación que acompañará la descripción de las diferentes propuestas. Esta notación es básicamente la utilizada por **Bautista** en [BAUTISTA92] que por su claridad es la aquí adoptada, ampliada según algunas necesidades detectadas.

Constantes

- O** = Número de Opciones consideradas
T = Número de Unidades a secuenciar
P = Número de tipos de Productos
R = Número de Restricciones distintas.

Índices

- i** = Índice referente al tipo de producto ($1 \leq i \leq P$)
j = Índice referente a las denominadas opciones ($1 \leq j \leq O$)
k = Índices referentes al instante de secuenciación ($1 \leq k \leq T$)
t = Índices referentes al instante de secuenciación ($1 \leq t \leq T$)
 ρ = Índice referente al número de restricción ($1 \leq \rho \leq R$)

Parámetros

- $U_{i,k}$** = Número de Productos de tipo **i** en el almacén.
 $n_{i,j}$ = La cantidad de componente u opción **j** en el producto tipo **i**
 PR_{ρ} = Ponderación relativa a la restricción **ρ** .
 μ_{ρ} = Opción a la que va asociada la restricción **ρ** .
 L_{ρ} = Longitud del tramo a considerar en la restricción **ρ** .
 M_{ρ} = Limitación de la restricción **ρ** .
 $r_{i,k}$ = Tanto por uno de productos de tipo **i** en el almacén en la etapa **k**

Variables

- $y_{i,k}$** = Variable binaria que vale 1 si en el instante **k** se ha secuenciado un producto de tipo **i**

Cada unidad a secuenciar viene definida por los valores que adopta para cada una de las opciones. El número de opciones consideradas es **O**.

Los productos considerados se clasifican en tipos, según el valor de las opciones más importantes que posean. El número de tipos es **P**. El valor de que un determinado producto **i** tiene para una determinada opción **j** es **$n_{i,j}$**

El usuario del problema indica cuales son las restricciones que debe cumplir la secuencia a extraer, indicando para cada restricción **ρ** el tipo de opción a la que se refiere **μ_{ρ}** la cantidad máxima de dicha opción que se acepta **M_{ρ}** en cada tramo de longitud **L_{ρ}** . Además cada restricción lleva asociado un valor que pondera la importancia de no violar dicha restricción **PR_{ρ}** .

Para que en un instante **k** determinado la introducción de un determinado producto **i**, no implique una violación de una restricción **ρ** se debe cumplir que

$$n_{i,j} + \sum_{t=k-L_{\rho}+1}^{k-1} \sum_{i2=1}^P y_{i2,t} n_{i2,m(r)} \leq M_{\rho}$$

El problema queda reducido, pues, a generar una secuencia factible con los productos disponibles que minimice el número de restricciones violadas.

Se exponen 3 alternativas

- La primera genera la secuencia escogiendo las unidades una a una dependiendo de la información relativa al llenado de las líneas en cada instante y al tipo de producto almacenado en cada una
- La segunda, considerando la misma información, genera una secuencia cíclica que permite ser construida.

4.2 Solución 1

La primera de las propuestas aquí presentadas recibe información acerca de las unidades almacenadas en cada línea. Además recibe información sobre el tipo de las unidades de cada línea. Con esta información obtiene $r_{i,k}$ que es evidentemente distinta para cada etapa k .

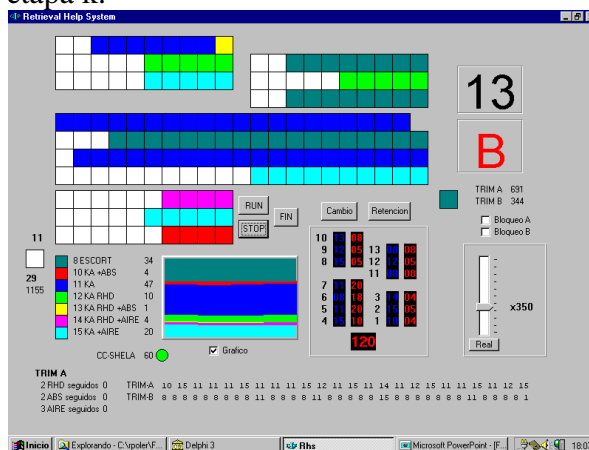


Figura II

De entre los productos disponibles se elige aquel que viole menor número de restricciones.

$$[\text{MIN}] \sum_{r=1}^R PR_r \cdot G_i(r, k)$$

$$\text{Siendo } G_i(\rho, k) = 1 \text{ si } n_{i,j} + \sum_{t=k-L_r+1}^{k-1} \sum_{i2=1}^P y_{i2,t} \cdot n_{i2,m(r)} > M_r \quad \text{y}$$

$$G_i(\rho, k) = 0 \text{ si } n_{i,j} + \sum_{t=k-L_r+1}^{k-1} \sum_{i2=1}^P y_{i2,t} \cdot n_{i2,m(r)} \leq M_r$$

En caso de empate el sistema elige aquel producto i tal que tomando en cuenta el conjunto formado por las unidades secuenciadas en las $2\binom{\max L_r}{r}$ etapas

anteriores, minimiza el valor de $\frac{\sum_{i=1}^P U_{i,k}}{\sum_{t=k-2\binom{\max L_r}{r}}^{k-1} y_{i,t}}$.

Una pantalla de la herramienta propuesta se presenta en la Figura II.

4.3 Solución 2

La segunda propuesta pretende hacer uso de la prestación del Sistema de Control de definición de ciclos.

En la definición de los ciclos se persigue simultáneamente la conservación de la proporcionalidad en la aparición de los diferentes tipos de productos (más concretamente de los consumos en las diferentes líneas al tiempo que se garantizaba la no violación de las restricciones.

Para ello se resolvía en cada situación el problema descrito a continuación:

Sea N el número de unidades a extraer en cada ciclo.

Sea U_i la cantidad de los diferentes productos existentes en el almacén.

$$\text{Sea } r_i = \frac{U_i}{\sum_i U_i}$$

El problema consiste en resolver el modelo matemático expuesto en la Tabla I.

$[\text{MIN}] \sum_{c=0}^2 \sum_{k=1}^N \left(\sum_{t=1}^{cN+k} y_{i,t} - r_i (cN+k) \right)^2$ <p style="text-align: center;">sujeto a:</p> $\sum_{t=k-L_r+1}^{k-1} \sum_{i=1}^P y_{i,t} \cdot n_{i,m(r)} \leq M_r \quad \forall \rho < R \text{ y } \forall k \geq L_\rho$ $\sum_{i=1}^P y_{i,k} = 1 \quad \forall k$ $y_{i,k} = y_{i,k-N} \quad \forall k, N < k < 2N$ $y_{i,k} = y_{i,k-2N} \quad \forall k, 2N < k < 3N$ $y_{i,k} \in \{0,1\}$
--

Tabla I

Hay que destacar la circunstancia de la evaluación simultánea de 3 ciclos consecutivos, que permite considerar las violaciones de restricciones debidas a la yuxtaposición de dos ciclos. En la figura III se representa una pantalla del programa que genera las citadas secuencias cíclicas.

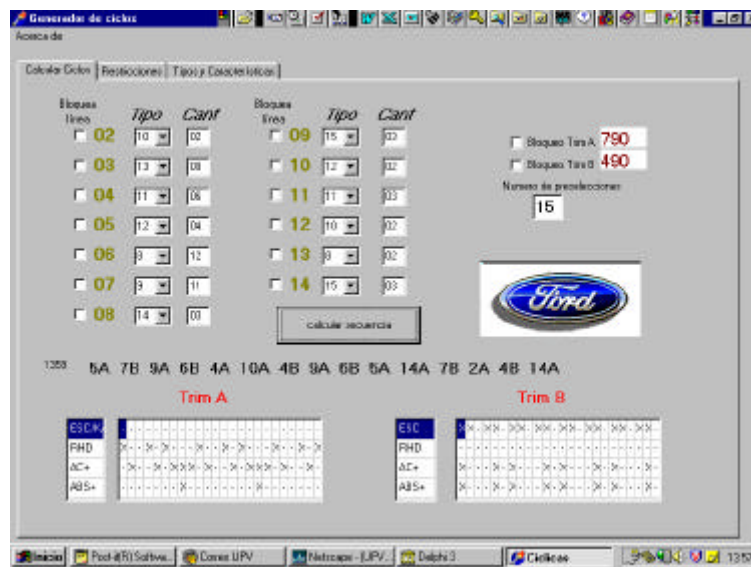


Figura III

5 CONCLUSIONES

Gracias al proyecto del que este trabajo es un extracto hemos identificado un problema de secuenciación de unidades basado en la realidad productiva de una empresa. Se ha propuesto un conjunto de posibles soluciones al problema, que ha permitido la exposición a los usuarios finales de una herramienta múltiple que dejaba un abanico de oportunidades, lo que favorecía su uso como herramienta de apoyo a la toma de decisiones. Queda como futura línea de investigación generalizar las conclusiones aquí obtenidas

6 BIBLIOGRAFÍA

- BAUTISTA J. *Procedimientos exactos y heurísticos para la resolución del Problema de Secuenciación de Unidades Homogéneas*. Tesis Doctoral. UPCBarcelona 1992
- BAUTISTA J. COMPANYS R COROMINAS A. *Una visión sobre Secuencias Regulares*. Boletín de la SEIO. Volumen 12 número 2 Junio 1996.
- DUPLAGA, et al. *Mixed Model Assembly Line Sequencing at Hyundai Motor Company* Production and Inventory Management Journal, Third Quarter 1996
- GARCÍA JP; POLER, R; LARIO FC *.El Almacén Sur de Pinturas*. Documento Interno de Trabajo 1997-16 (Confidencial)
- KUBIAK, W. *Minimizing variation of production rates in JIT Systems: A survey* European Journal of Operations Research,66 1993
- MONDEN Y. *El Sistema de Producción Toyota*. Ed IESE-1987
- MONDEN Y. *Toyota Production System, An Integrated Approach*. Ed Chapman-Hall 1994