

CUMPLIMIENTO DE LA SECUENCIA PREVISTA Y USO DE ALMACENES REGULADORES

García, JP.¹ ; Rodríguez, A.¹ ; Poler, R.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@upvnet.upv.es, arodriguez@omp.upv.es, rpoler@omp.upv.es,
fcario@omp.upv.es

RESUMEN

Una vez se ha decidido un programa de producción en una línea de Montaje Mixta, la ejecución exacta del mismo presenta diversos problemas. Distintas circunstancias de producción hacen que la secuencia inicialmente prevista no se pueda cumplir exactamente. En el presente trabajo se presenta una revisión no exhaustiva de las causas que provocan la denominada ruptura de secuencia., para posteriormente definir y clasificar diversos índices de medición. Existen diversos modos de mejorar el grado de cumplimiento de esta secuencia y uno de ellos es el uso de almacenes reguladores de producción. Se plantean en el trabajo diversos procedimientos de gestión de dichos almacenes. Estos procedimientos son evaluados mediante el uso del paquete de simulación denominado Taylor II.

Palabras Clave: Sector del Automóvil, Control de Producción.

1 INTRODUCCIÓN

El cumplimiento de la secuencia prevista en la línea de montaje tiene su justificación en la mejora de las características del intercambio de información entre proveedores y fabricantes que [LAMMING] establece como uno de los factores a considerar en el camino hacia el *Lean Supply*.

La secuencia en la línea de montaje establece el programa de trabajo para las estaciones de la línea y también para los proveedores que sirven en secuencia los submontajes que suministran. Aunque el programa secuencial se define habitualmente para la línea de montaje final, es necesario para construir la carrocería y posteriormente pintarla. Dada la gran cantidad de variantes de carrocerías pintadas que existen, las plantas previas a la línea de montaje final, no pueden trabajar contra almacén, teniendo que hacerlo bajo pedido.

Durante el proceso de soldado de las carrocerías y su posterior pintado diversos motivos alteran la secuencia inicial de fabricación. Una de las causas con mayor

repercusión es el uso de almacenes que permiten regular los desequilibrios en los ritmos de producción¹. Las causas que contribuyen a la ruptura de la secuencia² serán el objeto del apartado 2.

Estos mismos almacenes gestionados de manera adecuada pueden mejorar el grado de cumplimiento de la secuencia. El primer paso en el objetivo de cumplir la secuencia será establecer qué entendemos por cumplimiento de secuencia y como medimos este objetivo. En el punto 3 se establecen diferentes modos de medir el grado de cumplimiento de una secuencia prevista dada una secuencia real.

En el punto 4 se presentan diversos modos de mejorar el cumplimiento de la secuencia, explicando con especial interés el caso de los almacenes reguladores de producción de líneas paralelas.

Una vez analizado el funcionamiento de los almacenes de regulación de producción se proponen en el punto 5 una serie de modos de gestión de los almacenes, estableciendo los algoritmos a que dan lugar.

En el apartado 6 se realiza una descripción de la experimentación realizada.

En el apartado 7 se establecen conclusiones y líneas de trabajo futuras.

2 CAUSAS DE LA RUPTURA DE LA SECUENCIA

Dado el elevado número de variantes de carrocerías pintadas, del orden del centenar, así como su elevado coste de cada una de ellas, el proveedor suele trabajar bajo pedido³. Si el programa secuencial previsto plantea la construcción de un determinado producto en tiempo T, se lanzará la producción de su carrocería en tiempo (T-L) siendo L el plazo de fabricación medio previsto.

Pero no todos los plazos de fabricación son iguales. Monden apunta tres causas para esta desigualdad:

- ✓ Asignación incorrecta de trabajo a proceso.
- ✓ Operarios no completamente entrenados
- ✓ Operaciones que contienen derroche

Apuntamos otros motivos complementarios:

- ✓ Existencia de Buffers de regulación de la producción no utilizados de donde los productos no se extraen siguiendo una regla FIFO.
- ✓ Existencia de procesos diferentes para productos diferentes que obligan al uso de líneas en paralelo.
- ✓ Existencia de líneas en paralelo donde los productos se bifurcan y se vuelven a cruzar más adelante.
- ✓ Existencia de paros en algunas líneas paralelas, mientras el trabajo continua en las demás.

¹ Paradas, programadas o no, en líneas sucesivas; ritmos de producción diferentes; necesidades de producción.

² Denominamos ruptura de secuencia al incumplimiento de la secuencia de construcción prevista.

³ Este proveedor suele ser un proveedor interno aunque MOND94 cita la existencia de plantas donde el proveedor es independiente de la planta de montaje.

- ✓ No existencia de algunos de los componentes necesarios para fabricar la carrocería al principio de la línea.

Así pues la secuencia que se empezó a fabricar al principio de la línea no tiene por qué ser idéntica a la secuencia que llega al final de la sección de pintado de carrocerías. Si el proveedor no dispone del producto previsto, carrocería adecuada del color adecuado, el programa secuencial en la sección de montaje contendrá distorsiones.

Una de las causas antes nombradas de desigualdad de en los tiempos de fabricación es la existencia de buffers que no trabajan según reglas FIFO.

Estos buffers son necesarios para el correcto funcionamiento de la planta. En cualquier planta de fabricación existen muchos puntos donde el ritmo de salida no es igual al demandado por la etapa siguiente.

En el caso concreto de la fabricación de vehículos, estos almacenes intermedios son líneas de acumulo⁴, que permiten almacenar gran cantidad de productos sin una gran inversión. Las restricciones de espacio obligan a que estas líneas sean en paralelo. El elevado coste de un sistema FIFO estricto impide que este tipo de almacenes sean los más comunes.

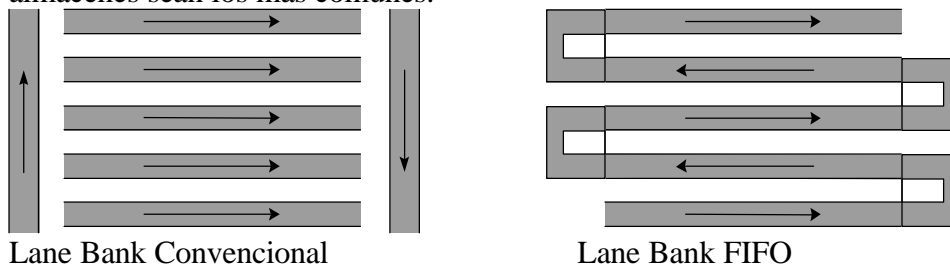


Figura 2-1: Tipología de Buffers de Producción

Este tipo de almacenes son en gran medida responsables de la variedad en los plazos de fabricación, por tanto del no cumplimiento de la secuencia prevista. Por otro lado estos almacenes son absolutamente necesarios para cumplir el programa en cuanto a cantidad de elementos producidos.

En algunos casos son incluso necesarios para respetar la integridad de los elementos y productos de producción, como es el caso de los almacenes posteriores a las baterías de hornos que existen en las plantas de Pintado.

3 ÍNDICES PARA MEDIR EL GRADO DE CUMPLIMIENTO DE LA SECUENCIA.

Se han analizado varios modos de medir el grado de cumplimiento de secuencia. De todos ellos se han seleccionado los tres que dan en nuestra opinión las conclusiones más consistentes.

Por definición m_n es el orden en que debería ir situado, según la secuencia programada, el coche que ha llegado en posición **n-ésima** en la secuencia real.

⁴ Las líneas de acumulo (lane banks) son líneas de transporte donde los coches se almacenan. Son vías muertas que pueden estar mecanizadas o no.

1.1. La Regla R1.

Esta regla es la que utiliza Ford Motor Co. para medir su cumplimiento de secuencia. [2].

Definición: Un coche está en secuencia, si todos los que han salido antes que él tenían previsto salir antes.

$$m_n \geq m_j, \text{ para todo } j \leq n$$

La ventaja de esta regla es que mide la secuencia de la manera en que interesa para la relación con los proveedores. Es decir, si un coche está en secuencia, aunque no sea consecutivo del anterior, el operario sólo tendrá que depositando aparte las piezas de los coches que no han llegado. De esta manera cuando llegue un coche fuera de secuencia, habrá que buscar en el almacén así formado.

Con bajos niveles de cumplimiento esta regla no significa nada, siempre habrá coches en secuencia.

Uno de los inconvenientes que presenta su uso es que una inteligente utilización de esta regla llevaría a nunca introducir en la línea un unidad retrasada, porque el nivel de cumplimiento de secuencia se reduce cuando se introduce una unidad retrasada. Además una unidad retrasada puede servir para producir una sustitución en una unidad de iguales características que puede llegar retrasada posteriormente. Por otro lado esta regla nos da información sobre las unidades en secuencia, no sobre las que no lo están, y su grado de retraso.

1.2. Regla R2

Definición: Una unidad está en secuencia si la unidad anterior era la que estaba planificada como previa.

$$m_n - 1 = m_{n-1}$$

La misma regla se puede expresar como:

$$m_n + 1 = m_{n+1}.$$

Una versión más selectiva de la regla, que exige tres coches consecutivos es la siguiente,:

$$((m_n - 1 = m_{n-1}) \text{ y } (m_n + 1 = m_{n+1}))$$

Entre las ventajas de esta regla destaca que si hemos establecido una secuencia con el objetivo de cumplir tiempos de ciclo en la línea de montaje, esta regla garantizará en la medida de lo posible tiempos de ciclo. Además si hemos intentado secuenciar para producir repetición en características, mediremos el grado de consecución de estos objetivos.

Destacan entre sus inconvenientes que el nivel de cumplimiento de esta secuencia puede ser muy alto, y sin embargo no reflejar de ninguna manera como de bien estamos cumpliendo la secuencia respecto a los plazos de cumplimiento.

3.1 Regla n-R3

Definición: Un coche está en secuencia si está dentro de los $n/2$ anteriores y los $n/2$ posteriores al lugar en el que debía haber salido.

$$x-n/2 \leq m_x \leq x+n/2$$

Esta regla presenta dos ventajas fundamentalmente. Por un lado esta regla pretende medir el grado de dispersión de los coches respecto a una secuencia dada. Como se aprecia no es una regla fija sino que depende del valor de n . Además Cuando se opera contra un ASRS, realmente no importa que los coches lleguen estrictamente ordenados, sino que lo que importa es que no lleguen muy dispersos.

Como inconveniente destaca que no es un único parámetro el que hay que medir sino varios, para entender qué está ocurriendo con la secuencia. La manera de solucionar esto es utilizar gráficos, capaces de soportar muchos datos a la vez. Además Esta regla es útil para medir el grado en el que estamos sirviendo a los clientes, pero no mide el grado de cumplimiento de nuestro compromiso con los proveedores, de la manera que la regla R1 lo hace.

1.3. Otros modos de medir secuencia

Se han desarrollado diferentes medidas para el cumplimiento de la secuencia además de las tres anteriormente expresadas. Algunas de éstas demostraron no abarcar suficientemente bien los aspectos que las ya nombradas miden perfectamente.

Otras eran una particularización de otra regla más general, y por tanto no se consideraron interesantes. Es el caso de la regla *en posición* que mide lo mismo que la *0-Loya*, es decir un coche está en secuencia si sale en el orden en el que debía haber salido.

4 FORMAS DE MEJORAR LOS ÍNDICES DE MEDICIÓN: ALMACENES REGULADORES

Un bajo nivel de cumplimiento de secuencia puede ser corregido de diferentes modos, entre otros: a) La identificación tardía de características, b) Uso de almacenes de acceso independiente, c) Uso de líneas de by-pass, d) Uso de posiciones de retención y e) Uso de almacenes de líneas paralelas.

La *identificación tardía de características* traslada la decisión de asignar a cada carrocería una nueva característica, en la estación que lo requiere y no antes. Evidentemente este proceso mejora la calidad de la secuencia grandemente. Sin embargo su aplicación no es inmediata porque el coste de los sistemas de información que permiten esta configuración es considerable.

El *uso de almacenes de acceso independiente*, tipo AS/RS, permitiría acceder de modo directo a cualquier carrocería en el almacén, de esta forma, en un almacén con N posiciones, podemos recuperar completamente una secuencia cuyo grado

de cumplimiento de secuencia sea del 100% para N-R3. El problema de esta sol es el elevado coste de implantación del sistema físico.

El **uso de líneas de by-pass** que adelanten coches que están retrasados, sólo se puede aplicar en paralelo a líneas de acumulo FIFO. Su interés está cuando el nivel de cumplimiento de secuencia es muy elevado y sólo se retrasan algunos vehículos especiales.

Cuando se producen adelantamientos de vehículos especiales, el **uso de posiciones de retención** permite mejorar el nivel de cumplimiento de secuencia.

Otro mecanismo de mejora del nivel de cumplimiento de secuencia es el uso eficiente de las **líneas paralelas de acumulo**. Este tipo de líneas que se encuentran como almacenes de regulación de producción en muchos lugares en cualquier planta de fabricación de automóviles, son en muchos casos causa de ruptura de la secuencia. Como demostraremos a continuación pueden ser utilizados para mejorar el nivel de cumplimiento de la secuencia.

5 UN PROCEDIMIENTO DE GESTIÓN DE LOS ALMACENES REGULADORES.

Los procedimientos para gestionar un almacén son el producto básicamente de dos estrategias: la *estrategia de entrada*, o colocación de las unidades en función de la propia unidad que se incorpora al sistema y de la composición del almacén, y la *estrategia de salida*, o regla que definirá el modo de extracción de unidades del almacén.

En este trabajo se presenta aquella estrategia que mejor resultado ha dado de entre las evaluadas.

5.1 Estrategia de Entrada

La estrategia que se presenta es la que mejor resultado ha dado de entre las evaluadas.

Ordenación Creciente Vertical (Solitario). Esta regla incorpora cada unidad en aquella línea cuyo último producto que teniendo número de orden inferior al de la unidad a ubicar sea la mayor de todas. Si no existiera tal línea se colocaría en la primera línea vacía, y si ésta no existiera lo haríamos en aquella con número de orden del último elemento inferior.

X: Parámetro que indica la línea en que se colocará la unidad.

N: Numero de líneas.

S_k : Número de orden del último producto en la línea k.

E: Número de orden de la unidad que se considera.

C_k : Capacidad de la línea k.

O_k : Ocupación de la línea k.

Procedimiento

0. $X:=0$
1. Para todo k, $1 \leq k \leq N$ Hacer
 - a) Si $(C_k > O_k) \wedge (S_k < E)$ entonces $D_k := S_k$ en caso contrario
 $D_k := \infty$
2. Sea t / $D_t := \max D_k$
3. Si $D_t < \infty$ entonces $X := t$
4. Si $X=0$ entonces hacer
 - a) Sea t / $O_t = 0$.
 - b) Si $\exists t > 0$ entonces $X := t$
5. Si $X=0$ entonces hacer
 - a) Si $(C_k > O_k) \wedge (S_k > E)$ entonces $D_k := S_k$ en caso contrario
 $D_k := \infty$
 - b) Sea t / $D_t := \min D_k$
 - c) $X := t$

TABLA-I

5.2 Estrategias de Salida

La estrategia de extracción es el mecanismo por el que decidimos que un producto es el siguiente a introducir en la secuencia de salida, teniendo en cuenta los que están en cabecera de línea en cada momento. Se evaluaron múltiples estrategias de salida pero se presenta la que mejor resultado dio:

Extracción Mínimo Orden. Esta estrategia de extracción selecciona la unidad con menor número de orden de todas las situadas en la primera posición de cada línea.

5.3 Análisis de los resultados

En el trabajo original realizado se analizaron otras muchas estrategias de entrada y salida, siendo las anteriormente expuestas las que mejor resultado dieron.

Para evaluar las distintas estrategias se implementaron los algoritmos a los que daban lugar las distintas estrategias y se analizaron utilizando un modelo de simulación basado en TaylorII. Se realizaron tanto experimentos con datos no-reales que permitieron analizar la sensibilidad de las distintas estrategias frente a cambios en la composición de los productos secuenciados, como experimentos con datos reales que permitieron evaluar el comportamiento definitivo del algoritmo en los almacenes donde fue finalmente implementado.

6 CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO

En el presente trabajo se han expuesto tres reglas que permiten evaluar el grado de cumplimiento previsto de secuencia.

Además se propone una estrategia de gestión de un almacén de líneas en paralelo que, pese a su simplicidad, da unos muy buenos resultados.

La simulación en TaylorII del procedimiento permitió por un lado hacer llegar a los usuarios finales del algoritmo la utilidad de este. Así como asesorar a los responsables de implantar el desarrollo en el Sistema Automático en los posibles errores, defectos y carencias que podían encontrar en su implementación práctica, ahorrando de este modo una gran cantidad de horas de trabajo.

Quedan como líneas de futuro trabajo:

- ✓ El impacto de un mayor o menor número de líneas paralelas.
- ✓ El uso de líneas de by-pass.
- ✓ El impacto del nivel de llenado del almacén.
- ✓ La posibilidad de uso de almacenes consecutivos, su repercusión y las mejores reglas de gestión de cada uno de los almacenes.
- ✓ El uso de las diferentes estrategias de salida.
- ✓ La incorporación de restricciones de tipo de físico a la gestión.

Cabe destacar que este estudio ha sido desarrollado e implementado en el contexto de una empresa fabricante de automóviles con muy buenos resultados.

7 REFERENCIAS

LAMMING, R., *Beyond Partnership. Strategies for Innovation and Lean Supply*, Ed Prentice Hall, 1993

MONDEN Y. *Toyota Production System, An Integrated Approach*. Ed Chapman-Hall 1994