

SISTEMAS DE CONTROL PUSH-PULL. UN ESTUDIO COMPARATIVO.

Ruiz-Usano, R. Framiñán, J.M., Crespo, A., Muñoz, M.A.
Grupo I+DT Organización Industrial.
Dpto. Organización Industrial y Gestión de Empresas
Escuela Superior de Ingenieros. Universidad de Sevilla.
Camino de los Descubrimientos, s.n., 41092 - Sevilla
E-Mail: usano@cica.es

RESUMEN

Un aspecto fundamental a nivel operacional en los sistemas de producción es la obtención de la cantidad deseada de unidades a producir con la mínima cantidad de inventario en proceso. Para conseguirlo podemos optar por distintos sistemas de control de la producción. Estos sistemas se suelen denominar con carácter general por el efecto ejercido sobre el flujo de materiales: push - efecto de empujar-, pull -efecto de tirar- e híbridos si se dan ambos efectos. Para comparar dichos sistemas se han construido los siguientes modelos: uno correspondiente a un sistema push puro, otro para el sistema pull más difundido: el JIT/KANBAN, otro para el sistema CONWIP –long pull- y finalmente, otro para el sistema CONWIP adaptado al OPT/DBR. Dichos modelos se han simulado utilizando el paquete de simulación WITNESS en distintos entornos: un entorno clásico de dos líneas que convergen a una sola de montaje; otro cuando existe de manera clara un cuello de botella y finalmente el caso de aparición de unidades defectuosas. Para estudiar el comportamiento de cada uno de los modelos simulados se ha evaluado tanto la tasa de producción alcanzada como el nivel del inventario en proceso. Los resultados obtenidos muestran la superioridad del sistema CONWIP frente al sistema push y al JIT/KANBAN, especialmente cuando la línea debe operar casi a plena capacidad.

Palabras Clave: Sistemas Push-Pull. JIT/KANBAN, CONWIP, OPT/DBR. Simulación

1. Introducción.

Para mantener la competitividad en las líneas de fabricación-montaje es preciso la utilización de sistemas de control adecuados que aseguren un correcto funcionamiento de las mismas. Los modelos construidos y simulados en este trabajo tratan de reproducir diferentes situaciones y complejidades con las que se encuentran las empresas frecuentemente en sus líneas de producción. Especialmente, aquellas relacionadas con los mecanismos de control de la producción, aquí denominados sistemas de control.

En la sección 2 se presentan los distintos sistemas analizados y la construcción de sus correspondientes modelos. Para comprobar y comparar el comportamiento de los distintos sistemas se han utilizado dos medidores de producción tales como la producción total realizada (denominada Throughput) y los niveles de inventario en el sistema. Los experimentos realizados así como los resultados obtenidos por simulación se presentan, en forma de tablas y figuras, en las secciones 3 y 4 respectivamente. Para la simulación se ha utilizado el software de simulación gráfica interactiva WITNESS. Finalmente en la sección 5 se exponen una serie de conclusiones obtenidas en el presente trabajo.

2. Modelos de los sistemas PUSH-PULL

Los sistemas de control que deseamos comparar son por una parte sistemas PULL tales como JIT/KANBAN, CONWIP y por otra parte un sistema PUSH.

El más conocido de los sistemas PULL es el sistema JIT/KANBAN. Es un sencillo mecanismo de control y proporciona buenos resultados allí donde pueda ser aplicado. Sin embargo no es fácil de aplicar, Monden [1], en los casos que se producen un porcentaje alto de rechazos, existencia de tiempos de cambio de modelo (setup), órdenes de trabajo con tiempos de proceso muy breves o cuando la demanda fluctúa.

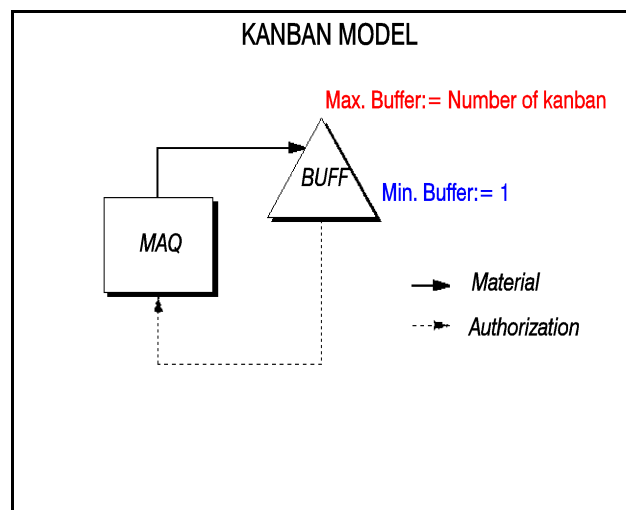


Figura 1. El modelo KANBAN.

El sistema JIT/KANBAN se ha modelado tal como se muestra en la figura 1. La estación de trabajo o Máquina denominada como MAQ comienza a producir, en nuestro caso, si y solo si, el inventario disponible en el Buffer, denominado como BUFF, es igual o menor que una unidad. La producción se para cuando el inventario alcance un valor especificado, el número de kanban's (NK). Así pues el número de kanbans se utilizará como la variable de control del sistema.

El sistema CONWIP es descrito por sus creadores, Spearman, Hopp y Woodruff [2], como un sistema long-pull en el cual las tarjetas se asocian a las órdenes de trabajo a lo largo de toda la línea de producción en lugar de a cada una de las estaciones de trabajo como ocurre en el sistema JIT/KANBAN. La tarjeta CONWIP se asocia así a la orden entrante de trabajo y acompaña a ésta hasta su terminación, momento en que es devuelta al tarjetero cabecera de la línea. Dependiendo de cuando se devuelve la tarjeta, cuando llega a la última estación o bien cuando se entrega la orden finalizada para stock pueden caracterizarse distintos sistemas CONWIP: para stock o contra pedido. En este trabajo suponemos que devolvemos la tarjeta cuando la orden llega a la última estación. La disciplina en la fabricación es FCFS. Sin embargo se han encontrado que cuando se produce distintos tipos de órdenes podemos utilizar otras reglas, Framiñán, J.M. et al [3], obteniéndose mejores resultados en el sistema. Como es bien sabido en este sistema no se permite comenzar la producción de ninguna orden si no hay tarjetas disponibles incluso si la primera estación estuviera disponible. Este

mecanismo limita el inventario máximo en la línea, no limitando el tamaño de los buffers individuales, tal como lo hace el JIT/KANBAN. En la figura 2 se muestra el modelo CONWIP que se ha utilizado en este trabajo.

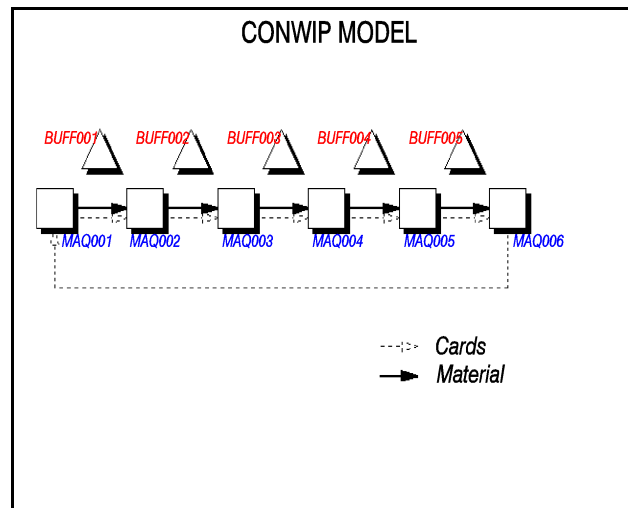


Figura 2. El modelo CONWIP.

El sistema CONWIP goza de las ventajas de los sistemas pull, tales como tiempos de flujo o de residencia reducidos y reducidos niveles de inventario en proceso. Además, se puede aplicar a distintas configuraciones de líneas de producción para las que el sistema JIT/KANBAN es extremadamente complejo, y por lo tanto no resulta útil, su aplicación. Un ejemplo de ello se da cuando cambia el plan de producción con frecuencia. En este caso es preciso en el sistema JIT/KANBAN realizar el reajuste del número de tarjetas mientras que no ocurre lo mismo con el CONWIP.

El tercer sistema de control es un mecanismo puro de empuje, *push*, en el que la capacidad de los buffers, stocks intermedios, se ha limitado para evitar que el sistema quede bloqueado por un exceso de inventario en proceso. De acuerdo con, Conway [4], para que la línea quede equilibrada distribuimos de manera uniforme la capacidad de los buffers.

3. Experimentos.

Para el estudio del comportamiento del sistema se han llevado a cabo tres experimentos diferentes. En todos ellos se ha supuesto de que siempre tenemos disponible materias primas para comenzar la producción, y que existe siempre un cliente que retira el pedido completado con lo cual el sistema no queda nunca vacío por falta de materiales ni bloqueado por exceso de los mismos.

En el primer experimento realizado se ha simulado una línea típica de montaje, idéntica a la utilizada por Lambrecht y Seagert [5]. Esta se muestra en la figura 3 en la que puede verse 8 estaciones de trabajo, cada una con un tiempo de proceso que sigue una distribución exponencial. El tiempo medio es 10 unidades de tiempo, mientras que el coeficiente de variación

es 0.10. Las estaciones MAQ003 y MAQ006 alimentan a la estación MAQ007. Para el diseño del sistema CONWIP se han utilizado las dos ramas que convergen en MAQ007. La primera que incluye la línea formada por las estaciones MAQ001-MAQ002-MAQ003-MAQ007-MAQ008 y la segunda por las estaciones, MAQ004-MAQ005-MAQ006-MAQ007-MAQ008.

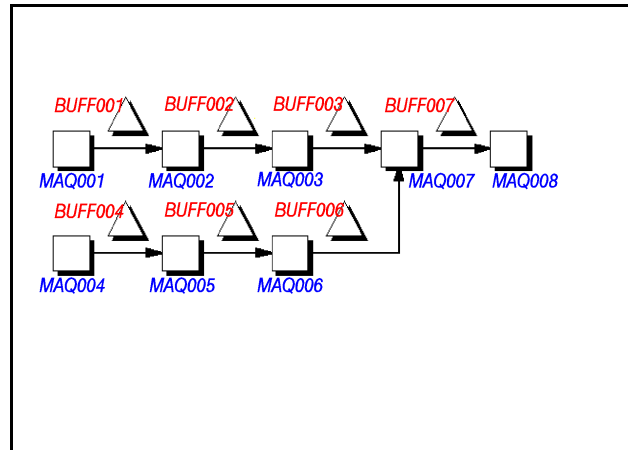


Figura 3. Línea de Montaje.

El segundo experimento se ha diseñado para poner de manifiesto la influencia de la existencia de un cuello de botella en el comportamiento del sistema. La línea de producción para este experimento se muestra en la figura 4, en la que puede verse los tiempos medios unitarios de proceso en cada estación. La MAQ004 con un tiempo medio de proceso de 15 será el cuello de botella. La distribución de probabilidad seguida por los tiempos es de nuevo exponencial, con coeficiente de variación 0.10.

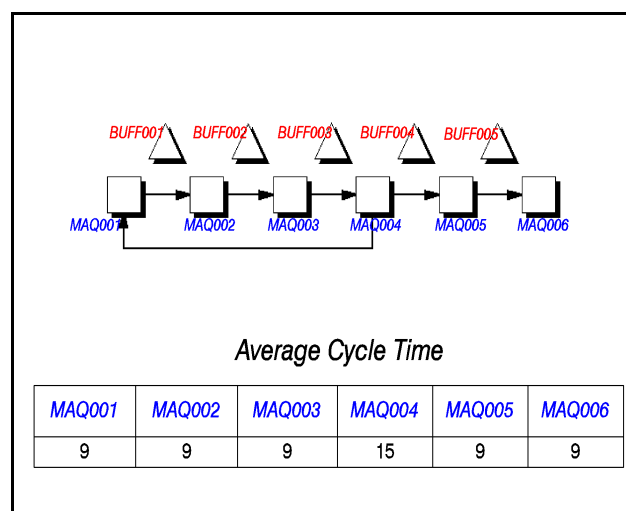


Figura 4. Línea con un cuello de botella en la estación MAQ004.

En este segundo experimento analizamos los resultados del sistema CONWIP, en su diseño original y reflejando distintos aspectos que manifiestan sus autores para entornos con un

cuello de botella bien diferenciado. En estos casos, se ha cambiado la circulación de las tarjetas CONWIP; éstas se devuelven a la cabecera de la línea tan pronto como haya finalizado la operación correspondiente en el cuello de botella. Aguas abajo del mismo el mecanismo es claramente de empuje hasta el final de la línea. Esta situación refleja de manera el enfoque propuesto por Goldratt [6] del DBR o TOC.

Finalmente, se ha llevado a cabo un tercer experimento que supone pérdidas por rechazos (Scrap). En este experimento hemos considerado seis estaciones de trabajo con un tiempo medio de proceso de 10 unidades de tiempo, derivados de una distribución exponencial. El coeficiente de variación, al igual que en otros experimentos se ha mantenido en 0.10. Se ha supuesto que un porcentaje de piezas son rechazadas debido a problemas originados en las estaciones de trabajo.

4. Resultados de la simulación.

Los modelos se han construido utilizando el software de simulación gráfica interactiva WITNESS. La simulación se ha realizado para un horizonte de 60.000 unidades de tiempo. Con objeto de minimizar los efectos transitorios iniciales que pueden producirse se ha establecido un período de warm-up de 10.000 unidades de tiempo. Para cada experimento se han realizado cinco repeticiones.

Para los sistemas JIT/KANBAN y CONWIP la variable de control son el número de tarjetas kanban y el número de tarjetas conwip. Para el sistema push, la capacidad de los buffers. En cada experimento se han llevado a cabo registros de los valores alcanzados por las variables producción total (Throughput) realizada versus el nivel de inventario.

En la figura 5 se muestran los resultados obtenidos para el primer experimento: línea de montaje. Se representan los valores del throughput versus el nivel de inventario. Puede comprobarse la superioridad, con estos medidores, del CONWIP frente al KANBAN y al PUSH analizados. Así para el mismo nivel de inventario el sistema CONWIP nos da una mayor producción total o bien requiere menos nivel de inventario para alcanzar una determinada producción. El JIT/KANBAN es el que muestra un peor comportamiento de los tres.

Los resultados del segundo experimento, existencia de un cuello de botella, se muestran en la figura 6. El sistema CONWIP de nuevo proporciona los mejores resultados, especialmente cuando este es modificado para reproducir el sistema DBR/TOC de Goldratt.

Cuando se da la existencia de un porcentaje de pérdidas por rechazo (scrap) tal como se ha analizado en el experimento 3 el CONWIP disminuye su efectividad. Cuando los rechazos son nulos de nuevo CONWIP demuestra su superioridad frente al KANBAN, como puede apreciarse en la figura 7. Sin embargo cuando las pérdidas por rechazo aparecen la superioridad de CONWIP frente al KANBAN desaparece tal como se muestra en la figura 8. La razón de este comportamiento podría encontrarse en las rutas alternativas de las tarjetas cuando se producen rechazos. Parte de las tarjetas realizan la circulación completa mientras que otras vuelven con las piezas rechazadas a las estaciones de trabajo correspondientes para su reprocesado. Podemos considerar que el mecanismo original CONWIP de circulación de tarjetas se rompe por la aparición de un porcentaje rechazado de órdenes de trabajo o piezas. El resultado que se produce es la disminución de la producción junto con el aumento de los niveles de inventario.

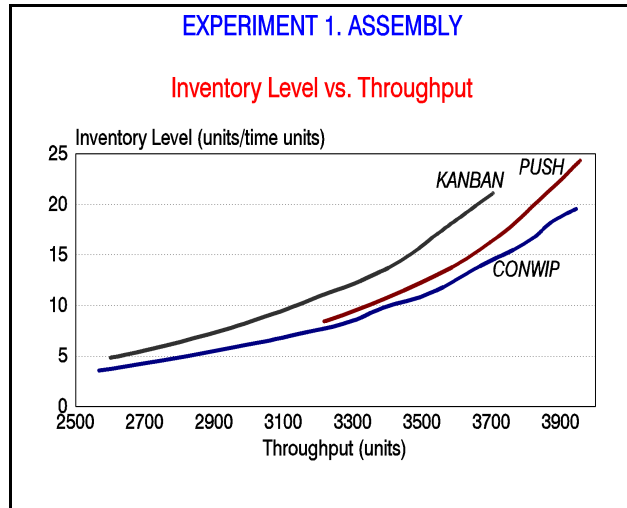


Figura 5. Resultados del Experimento 1. Línea de Montaje.

EXPERIMENT 2: BOTTLENECK

Production System	Throughput	Inventory Level	Control Variable
PUSH	3335	6	Buff. Max.: 1
KANBAN	3334,4	3,733	N. of kanban: 3
CONWIP	3332,6	2	Cards: 6
CONWIP* (DBR)	3335	1,199	Cards: 4

Figura 6. Resultados del segundo experimento.

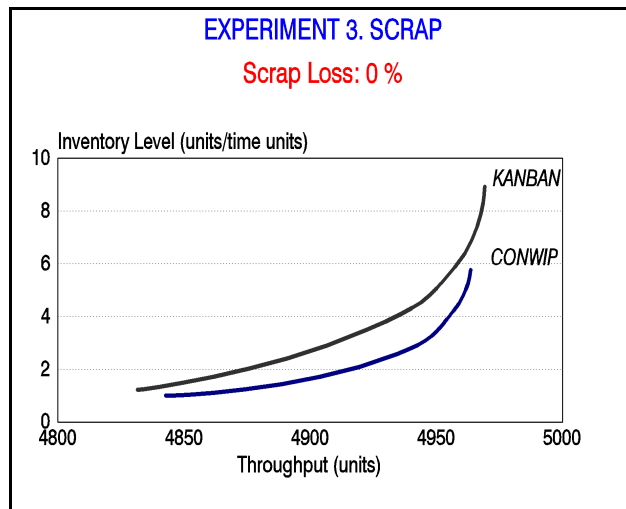


Figura 7. Resultados del tercer experimento. (Sin rechazos)

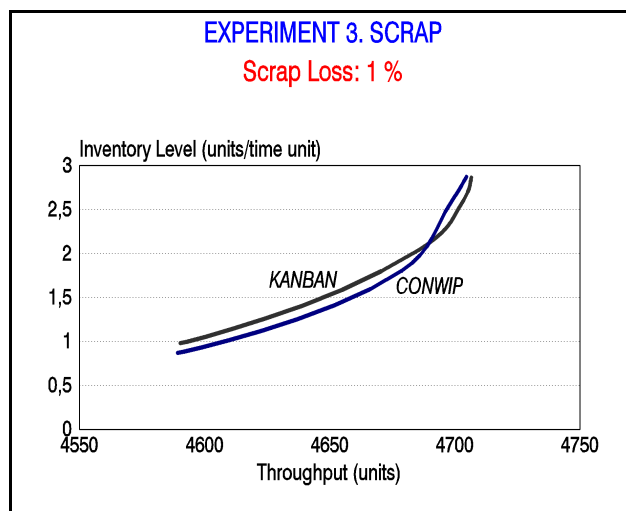


Figura 8. Resultados del tercer experimento (con pérdidas por rechazos)

5. Conclusiones.

El sistema CONWIP fue creado como una alternativa al KANBAN. Las tarjetas CONWIP se asocian a la orden de trabajo a lo largo de la línea de producción en lugar de asociarse a una sola estación de trabajo como ocurre en el KANBAN. Este hecho proporciona una mayor libertad en la localización de los stocks intermedios produciéndose un fenómeno de autorregulación de los mismos. El sistema lleva el WIP, Inventario en Proceso, allí donde se necesita.

CONWIP puede ser aplicado en entornos donde el KANBAN no puede serlo, tal como ocurre cuando se modifica con frecuencia el programa de producción. Además es posible extender la aplicación del mismo a líneas de montaje mostrándose como con el CONWIP se alcanza un mayor producción en la línea con menores inventarios en proceso.

El sistema CONWIP puede ser transformado, con buenos resultados, en un sistema DBR en entornos donde se ha identificado un cuello de botella bien diferenciado. Se ha visto que CONWIP y DBR comparten características comunes. El papel de la "Rope" en el DBR es sustituido por las tarjetas en el CONWIP. El "Drum" quedaría sustituido por el mecanismo de control de las tarjetas en la cabecera y el "Buffer" queda autorregulado en el CONWIP.

El sistema CONWIP confirma, a la vista de los experimentos realizados, la mayoría de sus expectativas de, además de ser un sistema PULL compartir los beneficios del sistema KANBAN con la posibilidad de su aplicación en entornos donde el KANBAN ha demostrado unos pobres resultados o bien su aplicación resulta muy dificultosa. Sin duda, de los sistemas analizados el CONWIP parece el más apropiado para trabajar en situaciones donde las líneas deben operar casi a plena capacidad. Ha demostrado finalmente ser un sistema más robusto que el KANBAN cuando el programa de producción se modifica con frecuencia, manteniendo las ventajas de los sistemas PULL frente a los PUSH.

5. Referencias.

- [1] Monden, Y., *Toyota Production System: Practical Approach to Management* Industrial Engineering and Management Press. Norcross. 1983
- [2] Spearman, M.L., Woodruff, D.L. and Hopp, W.J., "CONWIP: a pull alternative to kanban" *International Journal of Production Research*. 1990, 28, pp. 879-894.
- [3] Framiñán, J.M., Ruiz-Usano, R., Leisten, R., "Input control and dispatching rules in a dynamic CONWIP flow-shop" *International Journal of Production Research*. 2000, 38, pp. 4589-4598
- [4] Conway, R., Maxwell, W., McClain, J. and Thomas, J., "The Role of Work-In-Process Inventory in Serial Production Lines" *Operations Research*. 1988, 36, pp. 229-241.
- [5] Lambrecht, M. and Seagert, A., "Buffer Stock Allocation in Serial and Assembly Type of Production Lines". *International Journal of Production Management*. 1990, 10, pp. 47-61.
- [6] Goldratt, E.M. *The Haystack Syndrome*. North River Press. 1990