

## Revisión de los sistemas de control de la producción basados en tarjetas.\*

Pedro L. González Rodríguez<sup>1</sup>, José M. Framiñán<sup>2</sup>, Rafael Ruíz-Usano<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ingeniero de Organización Industrial, pedroluis@esi.us.es

<sup>2</sup> Ingeniero Industrial, jose@esi.us.es

<sup>3</sup> Ingeniero Industrial, usano@cica.es

Escuela Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla  
Camino de los Descubrimientos, s/n, 41092, Sevilla

### RESUMEN

*Los sistemas de control de la producción han sido clasificados tradicionalmente en dos grandes grupos: sistemas push y sistemas pull. Sin embargo algunos autores han demostrado que sistemas considerados habitualmente de tipo pull contienen características de tipo push y viceversa [1]. En el presente trabajo nos centramos en los sistemas de control de la producción basados en tarjetas, tradicionalmente considerados de tipo pull. Desde el original Kanban hasta nuestros días han surgido gran cantidad de sistemas controlados por tarjetas. Muchos autores han partido de sistemas existentes modificando algunas características de éstos, e incluso existen varias versiones sobre el funcionamiento de un mismo sistema. El objeto de este trabajo es realizar una revisión y clasificación sobre los distintos mecanismos en los sistemas de control de la producción basados en tarjetas, con el objeto de clarificar el funcionamiento de cada uno de ellos y poder explorar otros sistemas en futuras líneas de investigación.*

### 1. Introducción

En el presente trabajo se describen los distintos métodos de control de la producción que nosotros denominamos “clásicos” por ser los más ampliamente estudiados y aplicados en sistemas productivos reales. Entre ellos están los sistemas Kanban [2], Conwip [3] y Base Stock [4]. Por otra parte hay que considerar que han ido surgiendo nuevos sistemas como resultado de la combinación de los denominados sistemas clásicos. A estos nuevos sistemas los hemos denominado sistemas “híbridos”. Por tanto el estudio de los sistemas de control de la producción basados en tarjetas se hacen a partir de una clasificación básica que divide el conjunto de los sistemas en clásicos e híbridos, como combinación de los sistemas clásicos.

Para describir los distintos sistemas, hemos considerado una línea de producción tipo serie (*flow-shop*) formada por  $N$  estaciones, tal como se muestra en la Figura 1. En las sucesivas figuras, las líneas continuas simbolizan el flujo de trabajos a lo largo de la línea, mientras en línea discontinua se representan los flujos de información, en este caso de tarjetas. Cada estación consiste en un almacén de entrada ( $IB$ ), una máquina ( $M$ ) y un almacén de salida ( $OB$ ). La notación empleada es la siguiente:

---

\*Este trabajo se deriva de la participación de sus autores en un proyecto de investigación con financiación procedente del Ministerio de Ciencia y Tecnología (Proyecto DPI2001-3110), y con cofinanciación proveniente del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

$C_i$  : capacidad máxima del almacén intermedio de la estación  $i$   
 $IB_i(t)$  : número de trabajos en el almacén de entrada de la estación  $i$  en el instante  $t$   
 $OB_i(t)$  : número de trabajos en el almacén de salida de la estación  $i$  en el instante  $t$   
 $M_i(t)$  : número de trabajos en la estación  $i$  en el instante  $t$

Podemos considerar el inventario en proceso de la estación  $k$ ,  $WIP_k(t)$ , como los trabajos contenidos en el almacén de entrada, la máquina y el almacén de salida de dicha estación. Por tanto:

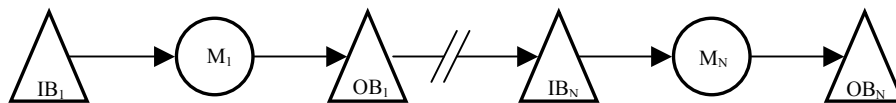
$$WIP_i(t) = IB_i(t) + M_i(t) + OB_i(t) \quad (1)$$


Figura 1 Línea de producción

## 2. Sistemas clásicos

El sistema de control de la producción basado en tarjetas tradicionalmente más importante es el sistema Kanban. Dicho sistema ha sido objeto de estudio por gran cantidad de investigadores. También ha sido bastante discutida su aplicabilidad e implantación industrial. Es por ello que de dicho sistema hayan surgido otros basados en el mismo principio de funcionamiento. No obstante, de manera general podemos considerar tres tipos de sistemas clásicos de control de la producción basados en tarjetas: sistemas Kanban, Conwip y Base stock. A continuación se describe cada grupo.

### 2.1. Sistema Kanban

Sugimori *et al.* [2] describen el sistema de producción de Toyota que empleaba un sistema de control de la producción tipo Kanban. Una amplia revisión de los mecanismos de control Kanban ha sido realizada por Berkley [5]. Estos sistemas están basados en mecanismos de bloqueo que tienen lugar cuando es excedida la capacidad de los almacenes intermedios. Hay dos tipos de sistemas Kanban que aparecen comúnmente en la literatura: el denominado “sistema Kanban Simple” y el “sistema Kanban Dual”, los cuales son descritos a continuación.

#### 2.1.1. Sistema Kanban simple

En este sistema, el inventario en proceso de la estación  $k$ ,  $WIP_k(t)$ , debe ser menor que una cierta cantidad, determinada por el número de tarjetas kanban,  $NC_k$ . Una tarjeta kanban es asociada a un trabajo cuando entra en el almacén de entrada y es liberada cuando el trabajo abandona el almacén de salida. Un nuevo trabajo sólo puede entrar en el sistema si hay una tarjeta para que sea adjuntada a él. Este sistema es denominado por algunos autores “Instantaneous Material Handling” o -transporte instantáneo de material- (ver Berkley [5]) o “Immediate Material Transfer” o -transferencia inmediata de material- (ver Gstettner y Kuhn [6]). En este sistema el transporte de trabajos entre el almacén de salida de una estación y el almacén de entrada de la siguiente estación se produce de manera instantánea. Es decir, es equivalente a considerar un solo almacén intermedio entre estaciones.

Las variables de decisión relativas a cada estación en un sistema Kanban de una tarjeta son el número de tarjetas en cada estación,  $NC_k$ . La Figura 2 muestra el movimiento de tarjetas mediante líneas discontinuas en las estaciones  $k$  y  $k-1$ , para el caso de transporte instantáneo.

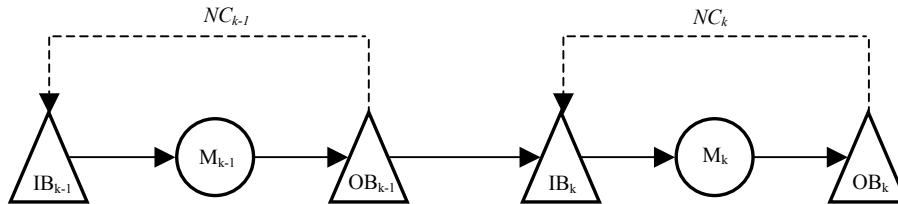


Figura 2 Sistema Kanban simple (Immediate Material Transfer)

### 2.1.2. Sistema Kanban Dual

Este sistema fue implementado en Toyota (ver por ejemplo Hopp y Spearman [7]). Es similar al sistema Kanban de una tarjeta, aunque la principal diferencia reside en el proceso de transporte de material entre almacenes intermedios. Dicho proceso puede realizarse de dos maneras: la primera cuando se alcanza una cantidad fija, dando lugar al sistema Kanban Dual por punto de pedido, y la segunda según un tiempo de ciclo fijo denominado ciclo Kanban (Monden [8]), dando lugar al sistema Kanban Dual por tiempo de ciclo fijo. Este sistema también se denomina “Noninstantaneous Material Handling” (ver Berkley [5]).

En el primer caso una tarjeta se asocia a la producción y otra se asocia al proceso de transporte entre almacenes intermedios. El proceso de transporte entre el almacén de salida de la estación  $k-1$  y el almacén de entrada en la estación  $k$  se realiza siempre que el número de trabajos en  $OB_{k-1}$  coincide con el número de tarjetas de transporte,  $NTC_{k-1}$ , asociadas a dicha estación.

En el segundo caso también se asocia una tarjeta a la producción, pero en este caso se fija el tiempo de ciclo para el transporte entre almacenes intermedios,  $NTC_{k-1}$ . De esta manera, cada vez que se cumple el ciclo fijado se realiza el proceso de transporte con los trabajos que haya en ese momento desde la estación  $k-1$  hacia la estación  $k$ . En este caso la cantidad transportada no es fija, ya que depende de la variabilidad del sistema. El número de tarjetas de transporte se suele fijar mediante una determinada función de costes en la que intervienen los costes de mantenimiento de inventario y los costes asociados al transporte [5].

En la Figura 3 se muestra de manera conjunta el sistema Kanban Dual por punto de pedido y por tiempo de ciclo fijo.

Las variables de decisión relativas a cada estación en este sistema son el número de tarjetas de producción en cada estación,  $NPC_k$ , y el número de tarjetas de transporte,  $NTC_k$ , en el primer tipo y en el segundo el tiempo de ciclo  $TCT_k$ .

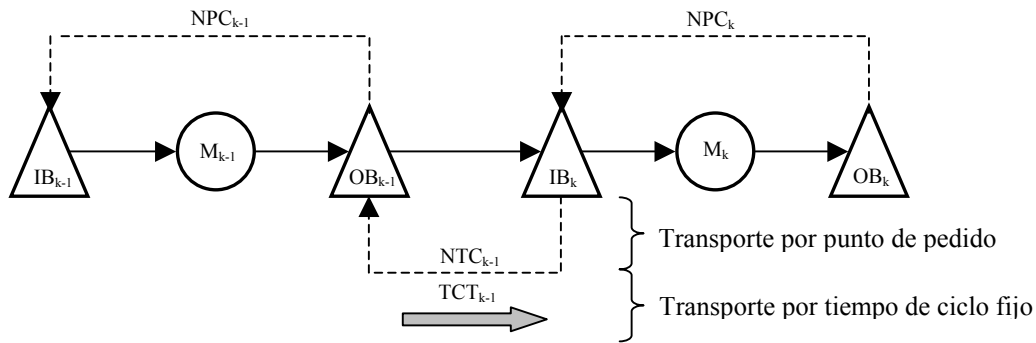


Figura 3 Sistema Kanban Dual

El sistema Kanban está muy relacionado con los sistemas de almacenes en tándem (*Tandem Buffer System*). Los sistemas en tándem se basan en el bloqueo del sistema una vez que se ha alcanzado la capacidad permitida en el almacén de salida. Sin embargo existen dos implementaciones distintas: el sistema de bloqueo por capacidad máxima de cola (también recibe los nombres de *Blocking by total queue size*, *Manufacturing blocking* o *Tandem queue* [9]) y el sistema de bloqueo mínimo (o *Minimal blocking* [10]). En el primer caso el sistema va acumulando los trabajos en el almacén de salida. Si en un instante un determinado trabajo va a completar la capacidad máxima del almacén intermedio, este trabajo permanece en la estación, bloqueando así la entrada de nuevos trabajos en la estación. En el segundo caso, por bloqueo mínimo, es igual al caso anterior, pero el trabajo no permanece en la estación, sino que pasa al almacén de salida, dejando la máquina libre para que otro trabajo pueda ser procesado. Según Mitra y Mitrani [10], el sistema en tándem por bloqueo mínimo es equivalente a un sistema Kanban.

## 2.2. Sistema Conwip

El sistema de control de la producción Conwip [3] (CONstant Work In Process), trata de mantener el inventario en proceso de todo el sistema constante. Esto lo realiza por medio de tarjetas kanban. Una tarjeta es asociada a un trabajo al principio de la línea. El máximo *WIP* en la línea será dependiente del número de tarjetas del sistema.

Cuando un trabajos finaliza su proceso en la línea, la tarjeta asociada es liberada y enviada de nuevo al principio de la línea para que pueda ser asociada a otro trabajo para ser procesado. En este sistema sólo existe una variable de decisión, que es el número de tarjetas kanban,  $NC$ . El mecanismo se muestra en la Figura 4, para una línea formada por 3 estaciones.

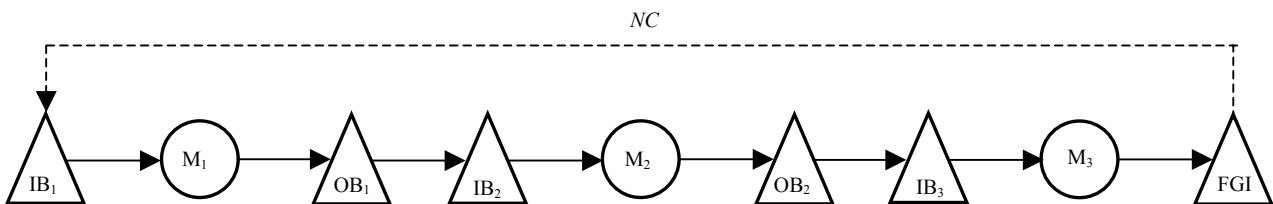


Figura 4 Sistema Conwip

### 2.3. Sistema Base Stock

El sistema trata de mantener una cierta cantidad de inventario en el almacén de entrada de cada estación. Dicha cantidad de inventario se conoce con el nombre de nivel de stock base,  $S_i$ , para cada estación. La señal de entrada se produce a la llegada de un cliente. Una estación puede producir sólo en el caso de que se provoque una señal de demanda y el número de trabajos en el almacén de salida es menor que una cierta cantidad,  $S_i$ . En otro caso el sistema permanece bloqueado.

Las variables de decisión de este sistema son los niveles de stock,  $S_i$ , en cada estación. En la Figura 5 se muestra el sistema descrito, para el caso de tres estaciones.

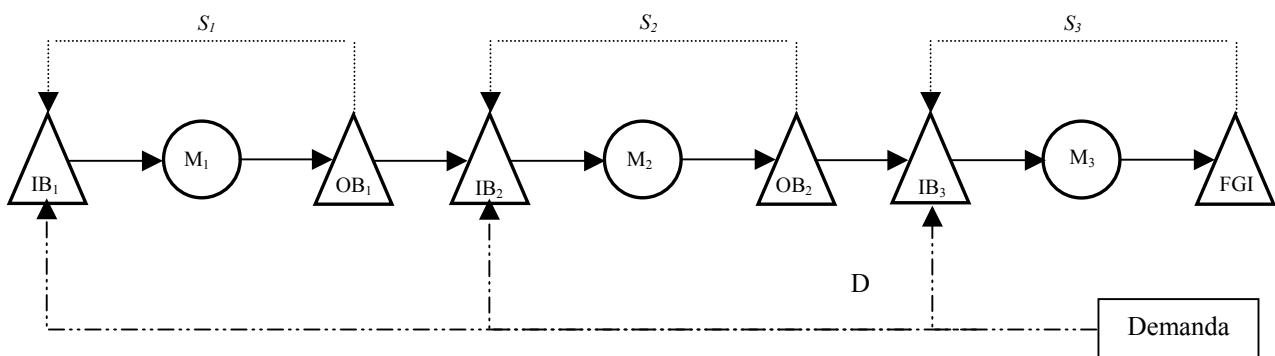


Figura 5 Sistema Base stock

Algunos autores proponen la implementación de la señal de demanda mediante un bucle controlado por tarjetas (ver Bonvik *et al.* [4] y Gaury [11]), de manera que se traslada la señal de llegada de un nuevo cliente. El sistema resultante se muestra en la Figura 6 para una línea formada por tres estaciones. Las variables relativas al sistema son el número de tarjetas kanban asociadas a cada estación,  $NC_k$ .

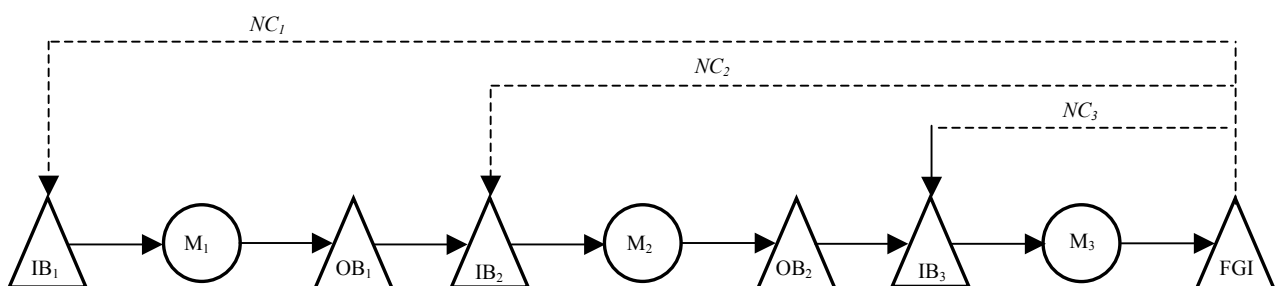


Figura 6 Sistema Base Stock modificado

### 3. Sistemas Híbridos

Este tipo de sistemas se obtiene como combinación de los denominados sistemas “clásicos” vistos en la sección 2. Entre ellos están el sistema Kanban Generalizado [12], el sistema Kanban Extendido [4], el sistema Kanban Genérico [13] y el sistema Híbrido Kanban/Conwip [4].

### 3.1. Sistema Kanban Generalizado

El sistema Kanban generalizado (ver Buzacott [12], Zipkin [14] o Frein *et al.* [15]) es una combinación híbrida entre el sistema Kanban y el sistema Base Stock y es similar al sistema Kanban Extendido (ver sección 3.2). En este sistema, la  $k$ -ésima estación puede producir siempre que el  $WIP_k(t)$  esté por debajo de cierta cantidad,  $NC_k$ , y el número de trabajos en el almacén de salida,  $OB_k(t)$ , sea menor que una cierta cantidad,  $S_k$ . El sistema es similar al sistema Kanban Simple, en el que se considera un nivel de stock base en cada estación (ver Figura 7).

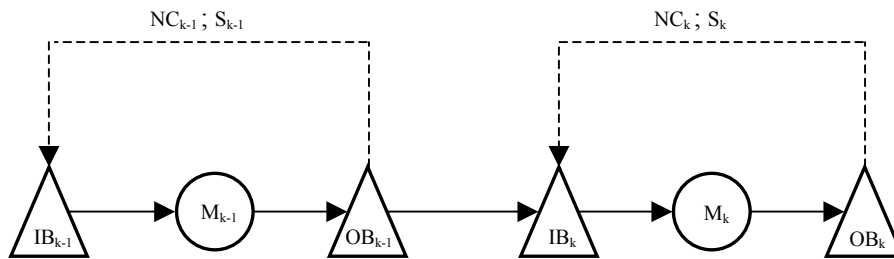


Figura 7 Sistema Kanban Generalizado

Los parámetros de decisión para cada estación son el número de tarjetas,  $NC_k$ , que controla el  $WIP$  total de la estación y  $S_k$ , que determina el objetivo, en términos de la cantidad de productos que deben ser producidos para ser almacenados en el almacén de salida.

### 3.2. Sistema Kanban Extendido

Este sistema es también una combinación híbrida entre un sistema Kanban y un sistema Base Stock, como el sistema Kanban Generalizado. La principal diferencia es que en el sistema Kanban Extendido la señal del cliente es transmitida de manera instantánea a todas las estaciones, mientras en el sistema Kanban Generalizado no lo es [4]. Por tanto, una estación puede producir en el caso de que haya tarjetas kanban disponibles, el número de trabajos en el almacén de salida esté por debajo de una cierta cantidad,  $S_i$ , y llegue una señal del cliente a la estación. En otro caso la estación permanece bloqueada. En la Figura 8 se muestra un sistema Kanban extendido formado por dos estaciones.

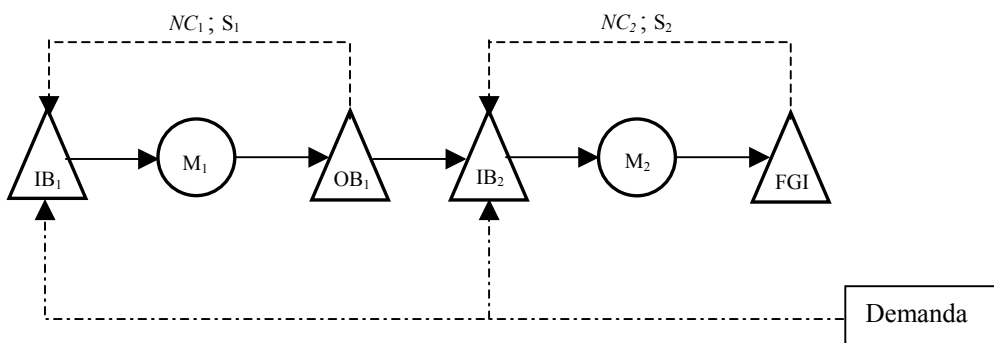


Figura 8 Sistema Kanban Extendido

Las variables de decisión relativas al sistema en cada estación son el número de tarjetas en cada estación,  $NC_i$ , y el nivel de stock base,  $S_i$ , como en el sistema Kanban generalizado.

Igual que en el sistema Base Stock, se puede implementar la señal de demanda mediante flujos de tarjetas. Por tanto cada estación tiene asociada dos tipos de tarjetas, y por tanto dos variables de decisión: el número de tarjetas en cada estación,  $NC_k$ , y el número de tarjetas relativos a los bucles de demanda, las cuales denominamos “tarjetas de demanda”,  $NDC_k$ . Hay que tener en cuenta que se pueden conseguir diferentes niveles de stock, estableciendo adecuadamente el número de tarjetas en cada bucle de control (ver Figura 9).

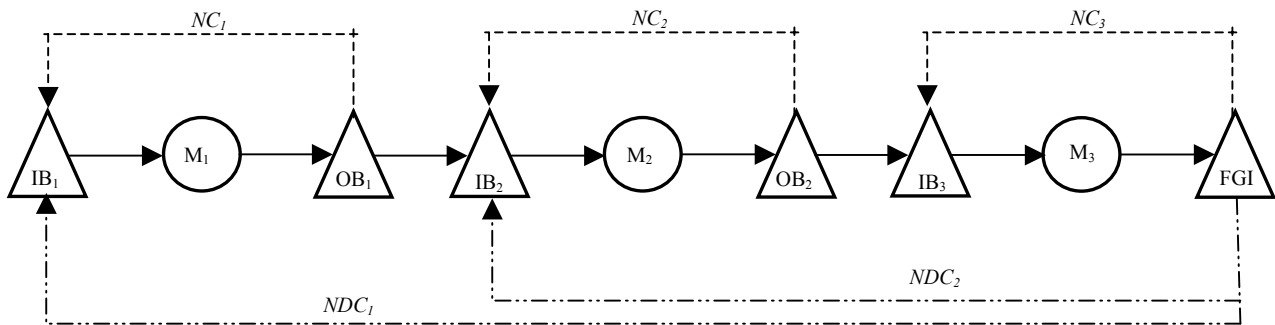


Figura 9 Sistema Kanban Extendido modificado

### 3.3. Sistema Kanban genérico

Chang y Yih [13] propusieron un sistema Kanban modificado para entornos dinámicos, con gran variabilidad en tiempos de proceso e incertidumbre en la demanda. Aunque el nombre es similar a “Kanban Generalizado”, estudiado en la sección 3.2, ambos sistemas son muy diferentes. En este caso hay un bucle de control para cada estación, pero a diferencia del Kanban simple, dicho bucle es siempre desde el almacén de salida de cada estación y la primera estación, como se muestra en la Figura 10 para un sistema de tres estaciones.

Cuando un trabajo se procesa en una estación, la tarjeta asociada retorna a la primera estación. En este caso la primera estación puede producir sólo en el caso de que haya disponibles una tarjeta de cada estación. En otro caso la estación permanece bloqueada.

El resto de estaciones puede producir siempre que un nuevo trabajos llegue al almacén de entrada y la estación no está procesando ningún otro trabajo. Por tanto, las variables de decisión relativas al sistema son el número de tarjetas,  $NC_k$ , cuyo flujo se realiza entre una estación determinada y la primera estación.

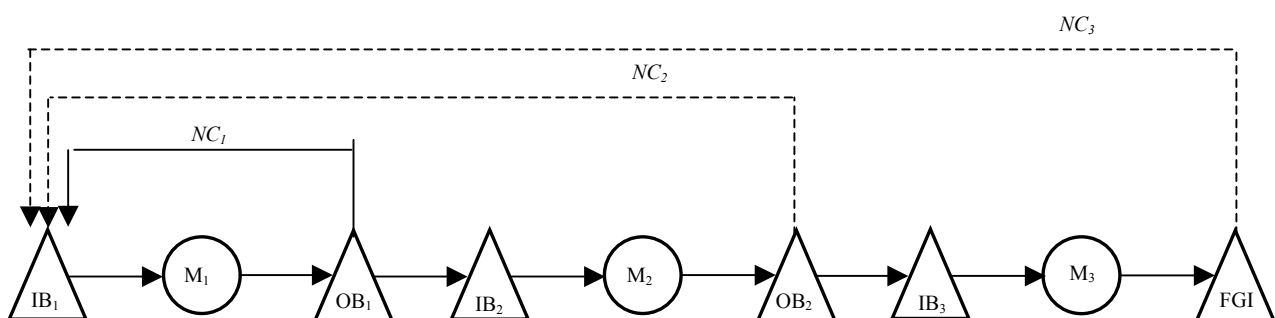


Figura 10 Sistema Kanban Genérico

### 3.4. Sistema Híbrido Kanban/Conwip

Este sistema es una combinación entre los sistemas Kanban y Conwip. También se conoce con el nombre de “*Two-boundary hybrid*” [4]. En la Figura 11 se ha representado un sistema híbrido Kanban/Conwip formado por tres estaciones. Como se observa, se puede considerar un sistema Conwip en el que existen limitaciones de capacidad en los almacenes intermedios.

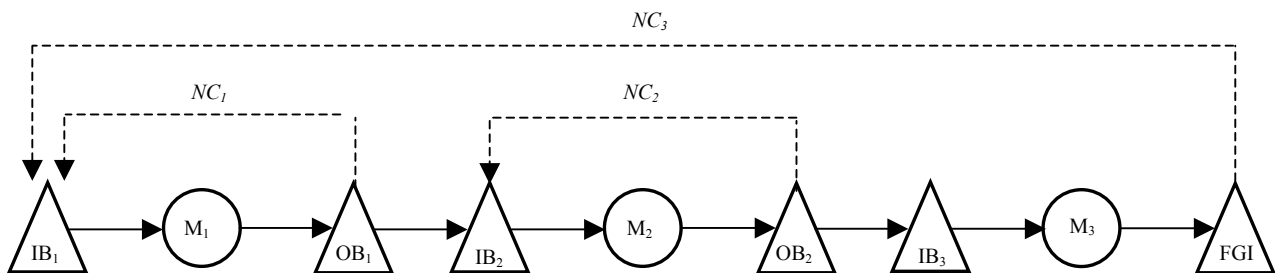


Figura 11 Sistema Híbrido Kanban/Conwip

### 3. Conclusiones

En el presente trabajo se ha realizado una revisión y clasificación sobre los distintos sistemas de control de la producción basados en tarjetas. Para ello se ha realizado una clasificación de los mismos, dividiéndolos en dos grupos. Los que denominamos “clásicos” y los denominados “híbridos”, que resultan de la combinación de sistemas clásicos. A su vez, en cada modelo, se ha descrito su mecanismo de funcionamiento, haciendo incidencia sobre las variables que influyen en cada sistema. Confiamos en que este trabajo pueda servir para clarificar el funcionamiento de los sistemas presentados, así como para estudiar otros nuevos sistemas de control de la producción.

### Referencias

- [1] Pyke, D. F. y Cohen, M. A., (1990) “Push and Pull in Manufacturing and Distribution Systems”, *Journal of Operations Management*, 9(1), 24-43.
- [2] Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F. y Uchikawa, S., (1977) “Toyota production system and kanban system materialization of just-in-time and respect-for-human system”, *International Journal of Production Research*, 15(6), 553-564.
- [3] Spearman, M. L., Woodruff, D.L. y Hoop, W.J., (1990) “Conwip: a pull alternative to Kanban”, *International Journal of Production Research*, 28(5), 879-894.
- [4] Bonvik, A.M., Couch C.E. y Gershwin S.B., (1997) “A comparison of production-line control mechanisms”, *International Journal of Production Research*, 25(3), 789-804.
- [5] Berkley, B. J., (1992) “A review of the kanban production control research literature”, *Production and Operations Management*, 1(4), 393-411.
- [6] Gstettner, S. y Kuhn, H., (1996) “Analysis of production control systems kanban and Conwip”, *International Journal of Production Research*, 34(11), 3253-3274.



- [7] Hopp, W.J. y Spearman, M.L., (1996) “*Factory Physics*” (Ed. Irwin, Chicago, USA).
- [8] Monden, Y., (1983) “*Toyota production system*”, Industrial Engineering and Management Press, Atlanta.
- [9] Perros, H. G. y Altiok, T., (1986) “Approximate analysis of Open networks of queues with blocking: Tandem Configuration”, *IEEE Transactions on Software Engineering*, SE-12, 450-461.
- [10] Mitra, D. y Mitrani, I., (1990) “Analysis of a Kanban discipline for cell coordination”, *Management Science*, 36(12), 1548-1566.
- [11] Gaury, E.G.A., (2000) “Designing Pull Production Control Systems: Customization and robustness”, Tesis Doctoral, Ed. Center.
- [12] Buzacott, J.A., (1989) “Queueing models of kanban and MRP controlled production systems”, *Engineering Cost and Production Economics*, 17, 3-20.
- [13] Chang, T.M. y Yih, Y., (1994) “Generic Kanban systems for dynamic environments”, *International Journal of Production Research*, 32, 889-902.
- [14] Zipkin, P. (1989) “A kanban-like production control system: analysis of simple models”, Research Working Paper No. 89-1, Graduate School of Business, Columbia University, New York, NY 10027.
- [15] Frein, Y., Di Mascolo, M. y Dallery, Y., (1995) “On the design of generalized kanban control systems”, *International Journal of Operations in Production Management*, 15(9), 158-184.
- [16] Dallery, Y. y Liberopoulos, G., (2000) “Extended kanban control system: combining kanban and base stock”, *IIE Transactions*, 32(4), 369-386.