

# COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE ALGUNOS SISTEMAS DE CONTROL DE LA PRODUCCIÓN TIPO “PULL”, MEDIANTE SIMULACIÓN

Comparison and analysis of some production control systems type pull, using simulation

Alejandro Mora Barón, Jorge Tobar López, José A. Soto Mejía<sup>1</sup>  
 Ingeniería Industrial, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia  
 jomejia@utp.edu.co  
 jtobar@utp.edu.co  
 jamora@utp.edu.co

**Resumen**—Esta investigación tiene como propósito realizar un estudio comparativo entre algunos de los sistemas de control de la producción tipo “Pull”, basados en tarjetas “Kanban”, con el fin de clarificar las diferencias entre los distintos mecanismos de funcionamiento, empleados por cada uno de los sistemas comparados en esta investigación. Para cumplir con el objetivo propuesto en este proyecto, se construyeron modelos simulados de algunos de los sistemas de control de la producción tipo “Pull”, utilizando el software de simulación PROMODEL™

**Palabras clave**—“Kanban”, PROMODEL™, Simulación, Sistemas de control de la producción tipo “Pull”

**Abstract**— This research aims<sup>1</sup> to conduct a comparative study of some production control systems type “Pull” based on cards “Kanban” to clarify the differences between various operating mechanisms employed by each one of the systems compared in this investigation. To meet the objective proposed in this research, were built simulation models for some production control systems type “Pull”, using the simulation software PROMODEL™

**Key Word** —“Kanban”, PROMODEL™, Simulation, Production control systems type Pull,

## I. INTRODUCCIÓN

En el actual entorno empresarial en el cual se encuentran las compañías, es importante contar con un sistema de control de la producción que permita reducir los costos a través de la eliminación de desperdicios y la reducción de

inventarios, sin descuidar la calidad en cada uno de los productos fabricados y los tiempos de respuesta al cliente; en este sentido los sistemas de control de la producción tipo “Pull”, ayudan a las empresas a cumplir dichos objetivos. Sin embargo, elegir cuál de los distintos sistemas de producción tipo “Pull”, se debe implementar en las líneas de producción de la empresa, es una tarea complicada, puesto que la información existente acerca del funcionamiento de algunos sistemas de control de la producción tipo “Pull” es muy limitada.

Está investigación tiene como propósito abordar el problema que surge cuando las compañías tratan de identificar cual de los diversos sistemas de control de la producción tipo “Pull”, es el que mejor se adapta a sus líneas de producción y cuáles son las diferencias entre un sistema y otro.

Para dar una solución a este problema, se construyeron modelos simulados de los sistemas de control de la producción tipo “Pull” conocidos como: sistema “Kanban Mono Ficha”, Sistema “Conwip”, sistema “Kanban con una Política Mínima Blocking”, sistema “Kanban Doble Tarjeta”, sistema “Kanban Tipo Trigger” y sistema “Kanban Tarjeta Doble Función”. Dichos modelos se han simulado utilizando el software de simulación PROMODEL™<sup>2</sup>, en una línea de producción de tipo “Flow-shop”, formada por tres estaciones de trabajo. Además, para estudiar el comportamiento de cada uno de los sistemas simulados, se han evaluado variables como: Producto en proceso, órdenes entregadas, y el tiempo de ciclo promedio de respuesta a los pedidos de los clientes.

<sup>1</sup> Físico, Ph.D, Profesor Titular

<sup>2</sup> PROMODEL™: Es un simulador con animación para computadoras personales. Permite simular cualquier tipo de sistema de manufactura. Puedes simular Justo a Tiempo, Teoría de restricciones, sistemas de empujar, jalar, logística, etc. Prácticamente cualquier sistema puede ser simulado.(http://www.PROMODEL.com.mx).

## II. CONCEPTOS BÁSICOS RELACIONADOS CON LA INVESTIGACIÓN

Antes de comenzar a estudiar este artículo es importante tener claro algunos conceptos, los cuales se describen a continuación:

### A. Sistema "Pull" [1]

Nahmias (2005), página 348, y Karmarkar, U. (1989) definen un sistema "Pull" como: "Un sistema en el que se inicia la producción como una reacción a la presente demanda."

Es un sistema donde la demanda del producto final desencadena un jalonamiento de materiales a través de todo el sistema de producción. Se hace hincapié en el uso de información en tiempo real para controlar el trabajo en proceso y los inventarios. Los sistemas "Pull" proporcionan visibilidad de las operaciones, haciendo hincapié en bajos inventarios y tamaños de lotes pequeños. El objetivo de los sistemas "Pull" es dejar que la demanda oriente la producción, es decir, empezar a fabricar el producto después de que la demanda ha llegado al sistema, en lugar de tener la previsión de impulsar los productos a los almacenes.

### B. El sistema "Kanban"

"Kanban" es bien conocido como un sistema de control de la producción tipo "Pull" que ha sido utilizado en diversos entornos de fabricación; primero bajo el nombre de Sistema de Producción Toyota, luego como parte de la filosofía Justo a Tiempo y más tarde como una herramienta de la Manufactura Esbelta (Dallery y Liberopoulos, 2000). "Kanban" en Japonés significa tarjeta. Los sistemas "Kanban" son originalmente creados para sistemas de producción manuales y por lo tanto, requieren de disciplina. Con los años, no ha cambiado mucho en estos sistemas de control de la producción. Sin embargo, "Kanban" ha cambiado su significado literal, de tarjeta a señal. En el entorno actual, un "Kanban" puede ser un mensaje electrónico, una señal luminosa, una tarjeta de autorización o incluso una pelota de golf [2].

### C. "Flow-Shop" [3]

La enciclopedia (Encyclopedia of production and manufacturing management (2000)) define "Flow-shop" como: "Línea de flujo compuesta por procesos u operaciones dispuestas en forma lineal, donde los procesos están dispuestos de acuerdo a la secuencia de las operaciones dictadas por el producto, sin mucha flexibilidad".

## III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para muchas compañías manufactureras es muy difícil elegir un sistema de control adecuado, que asegure un correcto funcionamiento en las líneas de producción. Sin embargo hoy en día, es conocido por muchos, como los sistemas de control de la producción tipo "Pull", aventajan a los sistemas de producción tradicionales en aspectos fundamentales como por ejemplo, en la eliminación de desperdicios y el control de inventarios. El problema surge cuando las compañías tratan de identificar cual de los diversos sistemas de control de la producción tipo "Pull", es el que mejor se adapta a sus líneas de producción y cuáles son las diferencias entre un sistema y otro, ya que existe poca información relacionada con los mecanismos de funcionamiento de algunos de estos sistemas. Por esto los modelos que se pretenden construir, simular y analizar en este trabajo tratan de reproducir las diferentes situaciones y complejidades con las que se encuentran las empresas frecuentemente al momento de determinar, cual sistema de producción tipo "Pull" implementar. Además de brindar información sobre la forma de operar de los siguientes sistemas de producción tipo "Pull":

- Sistema "Kanban Mono Ficha".
- Sistema "Conwip".
- Sistema "Kanban con una Política Minimal Blocking".
- sistema "Kanban Doble Tarjeta".
- Sistema "Kanban Tipo Trigger".
- Sistema "Kanaban Tarjeta Doble Función".

Versiones simplificadas de los anteriores sistemas de producción tipo "Pull", serán modelados con ayuda del Software de Simulación PROMODEL™.

## IV. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación está basada en la investigación experimental y se llevó a cabo a través de la ejecución de modelos de simulación. Los modelos de simulación se construyen utilizando el Software PROMODEL™.

### A. Fases de la investigación

Esta investigación esta soportada en 2 fases. La fase 1 se enfoca en la utilización de la simulación discreta para la construcción de seis modelos de control de la producción tipo "Pull" utilizando el Software PROMODEL™. En la segunda fase se realiza un análisis de los resultados y del funcionamiento de cada uno de los modelos simulados.

### B. Parámetros de la investigación

Los parámetros para esta investigación son los siguientes:

1. **Diseños de producción:** La investigación se lleva a cabo para un diseño de producción en línea recta tipo "Flow shop", dividido en tres etapas, donde el producto pasa por las tres etapas antes de convertirse en un producto terminado.

2. **Número de productos:** Esta investigación se lleva a cabo para un producto, donde cada estación de trabajo en los modelos de simulación tiene la capacidad para procesar un producto a la vez. Las llegadas de materiales (productos) son ilimitadas para todos los modelos.
3. **Estaciones de trabajo (procesamiento):** El tiempo de procesamiento para cada estación de trabajo en todos los modelos es el siguiente:

Estación de trabajo 1: cinco minutos  
 Estación de trabajo 2: siete minutos  
 Estación de trabajo 3: ocho minutos

4. **La demanda (llegadas):** Todos los modelos se ponen a prueba con llegadas de pedidos de clientes cada cinco y diez minutos.
5. **Velocidad (Entidades):** la velocidad de tránsito de las entidades por la red (Path Network) son las siguientes:

Producto: 10 metros por minuto.  
 “Kanban”: 500 metros por minuto.  
 Pedido Cliente: 500 metros por minuto.

6. **Número de “Kanbans”:** Es el mínimo con el que puede operar cada sistema, es decir uno por estación de trabajo.
7. **Distancia entre estaciones de trabajo:** la distancia entre las estaciones de trabajo es de 2 metros. Las distancias entre las demás locaciones son proporcionales a la anterior distancia.
8. **Duración de las simulaciones:** Cada uno de los modelos simulados se corre durante un periodo de tiempo de 24 horas.
9. **Variables:** Estas representan las medidas de desempeño que serán utilizadas con el propósito de comparar los seis modelos de simulación tipo “Pull”. Las variables que se construyeron para cada modelo son las siguientes:

- Producto en proceso.
- Órdenes entregadas.
- Tiempo de ciclo promedio Pedido cliente.

C. Modelos de simulación

Los modelos de simulación han sido construidos teniendo en cuenta las condiciones y parámetros discutidos en los numerales anteriores. Seis modelos de simulación fueron construidos para cumplir con los objetivos de esta investigación. A continuación se presenta una descripción

de algunos componentes que conforman cada uno de modelos comparados en este trabajo.

**1. Sistema “Kanban Mono Ficha” [4]**

Para la construcción del modelo simulado del sistema “Kanban Mono Ficha”, se incorporaron 12 locaciones, dentro de las cuales encontramos tres estaciones de trabajo, cuatro locaciones de inventario en proceso, tres locaciones donde se colocan las entidades “Kanban” y dos locaciones que hacen referencia a la demanda y al proveedor. En este modelo también se incorporaron tres tipos de entidades. El primer tipo hace referencia al producto a ser fabricado, el segundo tipo corresponde a las señales “Kanban” de producción y el tercer tipo corresponde a los pedidos de los clientes.

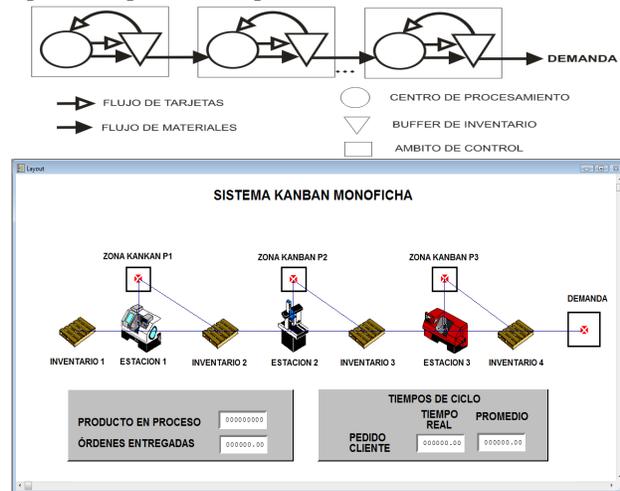


Figura 1. “Layout” del sistema “Kanban Mono Ficha”.

**2. Sistema “Conwip” [4]**

En la construcción del modelo simulado para el sistema “Conwip”, se incorporaron 10 locaciones, dentro de las cuales encontramos tres estaciones de trabajo, cuatro locaciones de inventario en proceso, una locación donde se colocan las entidades “Kanban” y dos locaciones que hacen referencia a la demanda y al proveedor. En este modelo se incorporaron también tres tipos de entidades. El primer tipo corresponde a las señales “Kanban”, el segundo tipo hace referencia al producto a ser fabricado y el tercer tipo corresponde a los pedidos de los clientes.

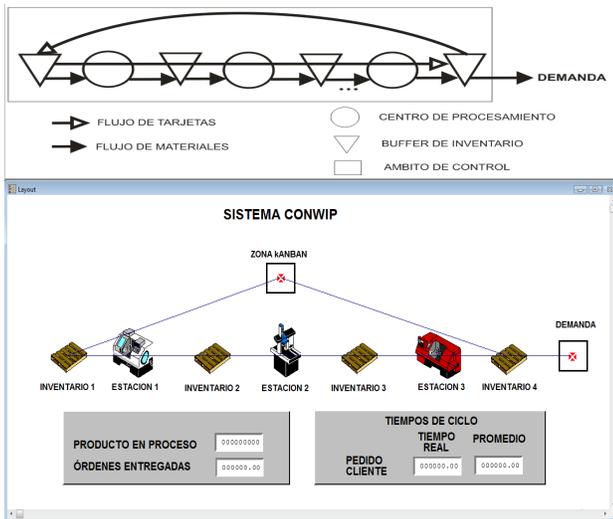


Figura 2. "Layout" del sistema "Conwip".

**3. Sistema "Kanban Tipo Minimal Blocking" [4]**

En la construcción del modelo simulado para el sistema "Kanban Tipo Minimal Blocking", se incorporaron 14 locaciones, dentro de las cuales encontramos tres estaciones de trabajo, seis locaciones de inventario en proceso, tres locaciones donde se colocan las entidades "Kanban" y dos locaciones que hacen referencia a la demanda y al proveedor. En este modelo también se incorporaron tres tipos de entidades. El primer tipo hace referencia al producto a ser fabricado, el segundo tipo corresponde a las señales "Kanban" de transporte y el tercer tipo corresponde a los pedidos de los clientes.

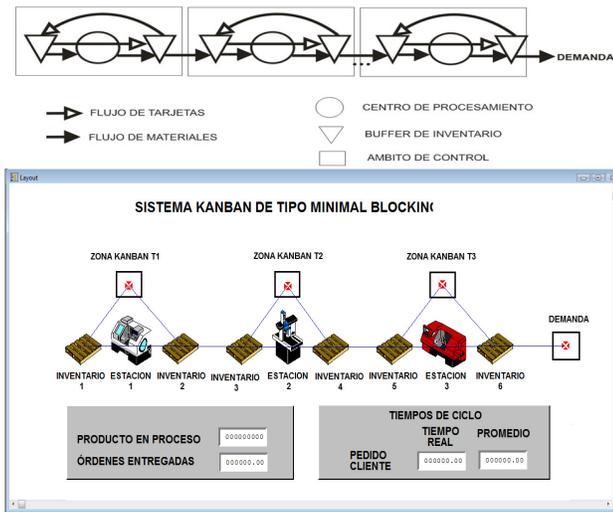


Figura 3. "Layout" del sistema "Kanban Tipo Minimal Blocking".

**4. Sistema "Kanban Doble Tarjeta" [4]**

En la construcción del modelo simulado para el sistema "Kanban Doble Tarjeta", se incorporaron 16 locaciones, dentro de las cuales encontramos tres estaciones de trabajo,

seis locaciones de inventario en proceso, tres locaciones donde se colocan las entidades "Kanban" de producción y dos locaciones donde se colocan las entidades "Kanban" de transporte, además de dos locaciones que hacen referencia a la demanda y al proveedor. En este modelo también se incorporaron cuatro tipos de entidades. El primer tipo corresponde al producto a ser fabricado, el segundo y el tercer tipo hacen referencia a las señales "Kanban" de transporte y de producción y finalmente el cuarto tipo de entidades corresponde a los pedidos de los clientes.

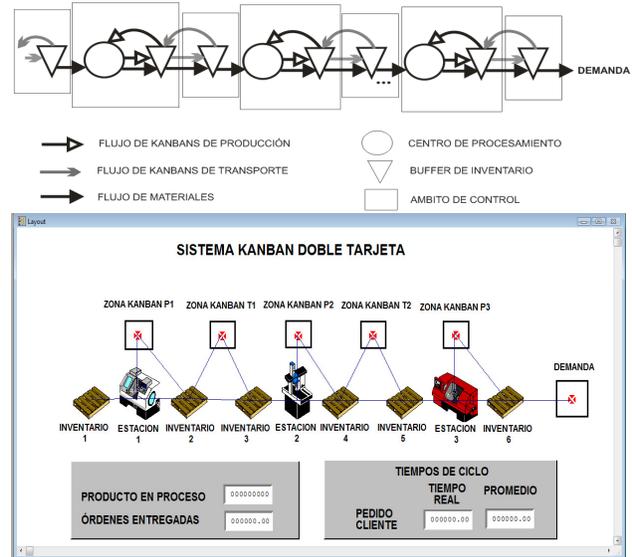
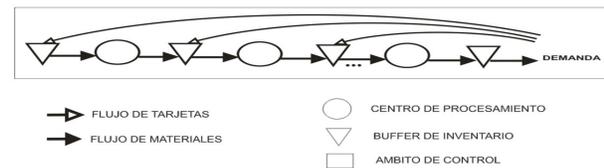


Figura 4. "Layout" del sistema "Kanban Doble Tarjeta".

**5. Sistema "Kanban Tipo Trigger" [5]**

En la construcción del modelo simulado para el sistema "Kanban Tipo Trigger", se incorporaron 12 locaciones, dentro de las cuales encontramos tres estaciones de trabajo, cuatro locaciones de inventario en proceso, tres locaciones donde se colocan las entidades "Kanban" y dos locaciones que hacen referencia a la demanda y al proveedor. En este modelo se introdujeron también tres tipos de entidades. El primer tipo hace referencia al producto a ser fabricado, el segundo tipo de entidades corresponde a las señales "Kanban" de transporte y el tercer tipo corresponde a los pedidos de los clientes. Finalmente, debido a que para el funcionamiento de este sistema es necesario hacer una división del WIP total, se crearon tres variables que miden la cantidad de producto en proceso entre las estaciones de trabajo y de esta forma controlar el envío de las tarjetas "Kanban" de transporte, a las locaciones "INVENTARIO\_1, 2 y 3".



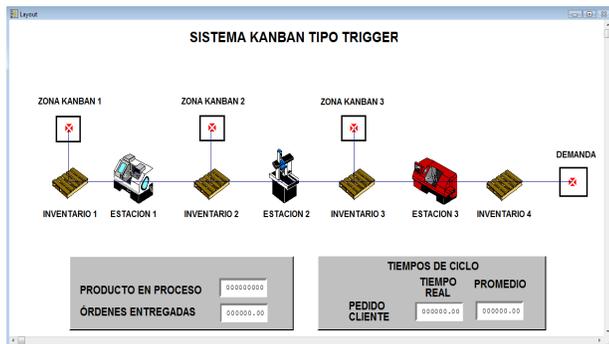


Figura 5. "Layout" del sistema "Kanban Trigger".

**6. Sistema "Kanban Tarjeta Doble Función".**

En la construcción del modelo simulado para el sistema "Kanban Tarjeta Doble Función", se incorporaron 12 locaciones, dentro de las cuales encontramos, tres estaciones de trabajo, cuatro locaciones de inventario en proceso, tres locaciones donde se colocan las entidades "Kanban" y dos locaciones que hacen referencia a la demanda y al proveedor. En este modelo se introdujeron también tres tipos de entidades. El primer tipo hace referencia al producto a ser fabricado, el segundo tipo de entidades corresponde a las señales "Kanban" duales y el tercer tipo corresponde a los pedidos de los clientes.

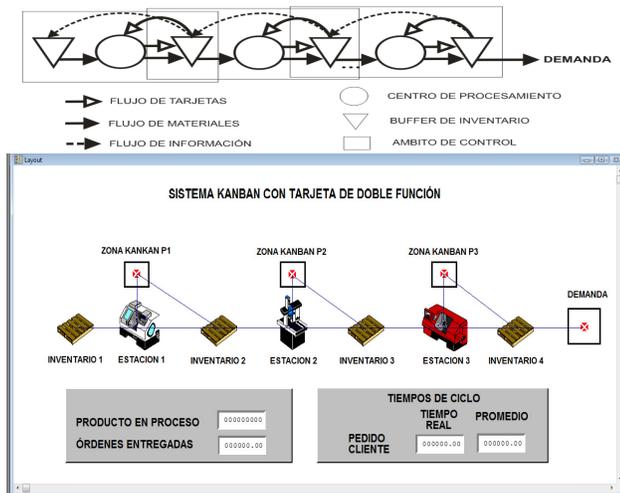


Figura 6. "Layout" del sistema "Kanban Tarjeta Doble Función".

**V. RESULTADOS EXPERIMENTALES**

En las secciones siguientes se ofrece un análisis de las medidas de desempeño en forma de tabla para todos los sistemas, donde la tabla 1, muestra los resultados para los experimentos de simulación con una frecuencia de llegada de pedidos de diez minutos. La tabla 2, muestra los resultados para las corridas de simulación con una frecuencia de llegadas de pedidos al sistema de 5 minutos, distancias entre locaciones aumentadas en un factor de 10 y

velocidad de tránsito del producto disminuida en un factor de 10 con respecto a las relacionadas en la sección 3.3 numeral 5 velocidad del producto que pasa a un metro por minuto y numeral 7 que pasa a 20 metros.

A. Análisis de los resultados para las corridas de simulación con una frecuencia de llegadas de pedidos al sistema de 10 minutos.

SISTEMAS	PROMEDIO PRODUCTO EN PROCESO	ORDENES ENTREGADAS	TIEMPO DE CICLO
			PROMEDIO PEDIDO CLIENTE (min)
CONWIP	2,98	144	0,96
KANBAN MONO FICHA	3,94	144	0,96
KANBAN TARJETA DOBLE FUNCIÓN	2,98	144	0,99
KANBAN MINIMAL BLOCKING	4,94	144	0,96
KANBAN DOBLE TARJETA	5,89	144	0,93
KANBAN TRIGGER	2,82	144	8,3

Tabla 1. Resumen comparativo de los resultados experimentales

La tabla anterior muestra los resultados de las simulaciones con una frecuencia de llegada de demandas al sistema de diez minutos; donde hay que anotar, que esta frecuencia de llegadas es menor a la frecuencia con la que cada sistema puede llegar a generar salidas de producto terminado.

La columna "PROMEDIO PRODUCTO EN PROCESO" muestra la cantidad promedio de productos en proceso en cada sistema, al finalizar los experimentos de simulación; donde en teoría tienen ventaja los sistemas que permiten una cantidad promedio menor de productos en proceso. Hay que aclarar, que los sistemas que permitieron mayor promedio de productos en proceso son aquellos que poseen dos "buffers" de inventario entre estaciones de trabajo; y entre estos sistemas el que mostró mejores resultados para esta variable, fue el sistema "Kanban Minimal Blocking" con un promedio de 4,94 unidades. Entre los sistemas que solo poseen un "buffer" de inventario entre estaciones de trabajo el sistema que permitió menor cantidad promedio de producto en proceso, fue el sistema "Kanban Trigger" con un promedio de 2,82 unidades. En conclusión podemos destacar que el sistema que presentó mejores resultados en esta medida de desempeño fue el sistema "Kanban Trigger".

La columna "ÓRDENES ENTREGADAS" presenta la cantidad de pedidos entregados a los clientes al finalizar los experimentos de simulación. Podemos ver, que todos los sistemas que se compararon mostraron el mismo resultado de 144 órdenes entregadas; esto se debe a que la frecuencia con que llegan los pedidos de los clientes es menor a la frecuencia con que cada sistema genera salidas de productos.

La columna "TIEMPO DE CICLO PROMEDIO PEDIDO CLIENTE", muestra el resultado promedio de la variable "TIEMPO DE CICLO PEDIDO CLIENTE" al finalizar los experimentos de simulación. Para esta medida de desempeño, el sistema que obtuvo el mejor resultado fue el sistema "Kanban Doble Tarjeta", con un tiempo de ciclo promedio de 0,93 minutos.

B. Análisis de los resultados para las corridas de simulación con una frecuencia de llegadas de pedidos al sistema de 5 minutos.

SISTEMAS	PROMEDIO PRODUCTO EN PROCESO	ORDENES ENTREGADAS	TIEMPO DE CICLO
			PROMEDIO PEDIDO CLIENTE (min)
CONWIP	2,96	51	624,36
KANBAN MONO FICHA	4,78	75	572,85
KANBAN TARJETA DOBLE FUNCIÓN	2,94	49	643,22
KANBAN MINIMAL BLOCKING	4,79	64	599,44
KANBAN DOBLE TARJETA	6,45	93	530,14
KANBAN TRIGGER	5,19	77	553,02

Tabla 2. Resumen comparativo de los resultados experimentales  
La tabla anterior muestra los resultados de las simulaciones con intervalos de llegada de demandas al sistema de 5 minutos; donde hay que anotar, que esta frecuencia de llegadas es mayor a la frecuencia con la que cada sistema puede llegar a generar salidas. Las distancias entre locaciones es de 20 metros y la velocidad de tránsito del producto es de un metro por minuto. Los anteriores valores permiten apreciar la influencia de la estructura de los diferentes sistemas analizados en los resultados de las características de operación analizadas:  
Producto en proceso, órdenes entregadas, tiempo de ciclo promedio Pedido cliente.

En la columna “PROMEDIO PRODUCTO EN PROCESO”, podemos observar, que de los sistemas que poseen dos “buffer” de inventario entre estaciones de trabajo, el sistema que mostró mejores resultados para esta variable, fue el sistema “Kanban Minimal Blocking” con un promedio de 4,79 unidades. Entre los sistemas que solo poseen un “buffer” de inventario entre estaciones de trabajo los sistemas que permitieron menor promedio de producto en proceso, fueron los sistemas “Kanban Tarjeta Doble Función” y “Conwip”, con un promedio de 2,94 y 2,96 respectivamente. En conclusión los sistemas que presentaron mejores resultados en esta medida de desempeño, bajo las condiciones planteadas, fueron los sistemas “Conwip” y “Kanban Tarjeta Doble Función”.

En la columna “ÓRDENES ENTREGADAS” podemos ver, que el sistema que obtuvo el mejor resultado en esta medida de desempeño fue el sistema “Kanban Doble Tarjeta” con 93 órdenes entregadas.

La columna “TIEMPO DE CICLO PROMEDIO PEDIDO CLIENTE”, muestra el resultado promedio de la variable “TIEMPO DE CICLO PEDIDO CLIENTE” al finalizar los experimentos de simulación. En esta medida de desempeño, el modelo que presentó mejor tiempo de ciclo fue el sistema “Kanban Doble Tarjeta” con un tiempo promedio de 530,14 minutos.

## VI. CONCLUSIONES

Las órdenes entregadas y el tiempo de ciclo promedio pedido cliente, son las medidas de desempeño más importantes en esta investigación, ya que estas son las que están directamente relacionadas con el cliente, con base en esto y teniendo en cuenta los resultados de los experimentos de simulación realizados, podemos concluir, que para una frecuencia de llegadas de pedidos de 10 minutos todos los sistemas presentaron resultados iguales en la variable órdenes entregadas con 144 unidades, mientras que respecto a la variable tiempo de ciclo promedio pedido cliente, observamos que el sistema “Kanban Doble Tarjeta” mostró el mejor desempeño, con un tiempo de ciclo promedio de 0,93 minutos, seguido de los sistemas “Conwip”, “Kanban Mono Ficha” y “Kanban Minimal Blocking”, con un tiempo de ciclo promedio de 0,96 minutos para cada uno de los sistemas y por último los sistemas “Kanban Tarjeta Doble Función” y “Kanban Trigger” con tiempos de ciclo promedio de 0,99 y 8,30 minutos respectivamente.

Podemos concluir que el aumentar las distancias entre las estaciones de trabajo y disminuir la velocidad de tránsito de los productos, los sistemas muestran mayores diferencias entre sí, en las variables órdenes entregadas y tiempo de ciclo del pedido del cliente, respecto a los resultados vistos en la tabla 1, ya que de esta forma la estructura de cada sistema representa mayor influencia en los resultados de los experimentos de simulación; bajo estas condiciones el sistema que mostró los mejores resultados en las variables mencionadas anteriormente fue el sistema “Kanban Doble Tarjeta” con 93 órdenes entregadas y un tiempo de ciclo promedio (pedido cliente) de 530,14 minutos; en segundo lugar estuvo el sistema “Kanban Trigger” con 77 órdenes entregadas y un tiempo de ciclo promedio (pedido cliente) de 553,02 minutos; en tercer lugar estuvo el sistema “Kanban Mono Ficha” con 75 órdenes entregadas y un tiempo de ciclo promedio (pedido cliente) de 572,85 minutos; en cuarto lugar estuvo el sistema “Kanban Minimal Blocking” con 64 órdenes entregadas y un tiempo de ciclo promedio (pedido cliente) de 599,44 minutos; en quinto lugar estuvo el sistema “Conwip” con 51 órdenes entregadas y un tiempo de ciclo promedio (pedido cliente) de 624,36 minutos y en sexto y último lugar estuvo el sistema “Kanban Tarjeta Doble Función” con 49 órdenes entregadas y un tiempo de ciclo promedio (pedido cliente) de 643,22 minutos.

## REFERENCIAS

- [1]. NAHMIA, Steven. Production And Operation Analysis. McGraw-hill, 2004. ISBN: 0390906689, 9780390906687.
- [2]. VOLLMANN, Thomas E.; WHYBARK, Clay; BERRY, William L.; JACOBS, F. Robert. Planeación y Control de la Producción: Administración De La Cadena De Suministros (5A ED.) (2005). ISBN: 9701050665.

- [3]. ENCYCLOPEDIA OF PRODUCTION AND MANUFACTURING MANAGEMENT (2000). ISBN: 0-7923-8630-2.
- [4]. CRESPO FRANCISCO, T.; VELANDO RODRÍGUEZ.; M.E.; GARCÍA VÁZQUEZ, J.M. Universidad de Vigo. Alternativas para utilizar un sistema de control de la producción de tipo “kanban”. Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa. Vol. 4, N° 1, 1998, pp. 101-122.
- [5]. SOTO MEJÍA, José A.; LÓPEZ R. Juan Fernando: Laboratorio de Simulación Discreta, Primera Edición. ISBN: 978-958-44-6516-0. Postergraph S.A. Enero 2010.