EXPLORACIÓN DEL POSTPONEMENT COMO ESTRATEGIA DE GESTIÓN DE LA CADENA DE VALOR

Oscar Rubiano Ovalle

Universidad del Valle, Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística, Cali.
oscaruba@pino.univalle.edu.co

Marlon E. Hurtado Jiménez

Ingeniero Industrial, Universidad del Valle, Cali.
marlonhj@hotmail.com

Daniel F. Rangel Barrios

Ingeniero Industrial, Universidad del Valle, Cali.
danielfrb@hotmail.com

RESUMEN

En este artículo se presenta el estudio del "Postponement" como estrategia operativa de la gestión de la cadena de valor y su impacto en indicadores operativos claves, ante una demanda variable. El estudio se realiza con base en un sistema productivo hipotético de productos de línea. Para ello se diseñó un sistema de producción base, a partir del cual se construyó un modelo de simulación de su cadena de valor. Seguidamente, la cadena de valor se configuró para trabajar bajo diferentes enfoques de flujo y control de materiales, estos fueron, Push, Pull puro con Kanban, CONWIP y Postponement. Cada enfoque se evaluó con diferentes escenarios creados a partir de la variedad de productos fabricados y la variabilidad de la demanda. Los resultados muestran que ante el incremento tanto de la variedad de productos y como de la variabilidad de la demanda, el Postponement presenta mejores desempeños en las variables e indicadores operativos en una cadena de valor. Un objetivo adicional de este estudio, fue la creación de un ambiente de enseñanza del Postponement.

Palabras clave: Postponement, Cadena de Valor, Simulación, Push, Pull.

ABSTRACT

This paper presents a study of Postponement as an operating strategy in value stream management, and its impact on essential operating indicators when demand varies. The study is carried out with a hypothetical productive system for standard products. Therefore, a basic production system was designed, and then a simulation model of its value stream was built. Subsequently, the value stream was configured to operate in various materials flow and control approaches which were Push, Pure Pull with Kanban, CONWIP and Postponement. Each approach was evaluated with different scenarios created from a variety of products and demand variability options. Results show that with an increment in the variety of products and demand variability, Postponement generates the best performance in the value stream variables and operating indicators. An additional objective of this study was the creation of a Postponement teaching environment.

Keywords: Postponement, Value Stream, Simulation, Push, Pull.

Palabra técnica de la jerga de la Administración de Operaciones en idioma inglés, que significa aplazamiento o posposición en la estrategia de personalización masiva.

1. Introducción

En la nueva economía internacionalizada, donde toman mayor fuerza los acuerdos regionales, crece la variedad exigida por los clientes, de igual manera, los ciclos de vida de los productos se hacen más cortos, las empresas se ven obligadas a desarrollar estrategias de personalización adecuadas a las necesidades y expectativas individuales de cada cliente.

Sin embargo brindar variedad y personalización a los clientes en ambientes tradicionales de producción (fundamentalmente Push puro) podría generar costos logísticos muy altos para una organización, pues en estos ambientes hay mayor dificultad en el cumplimiento de las metas de calidad y tiempo. Por otro lado, estos sistemas tradicionales de producción se desenvuelven en entornos con alta incertidumbre que afectan los resultados de tareas como pronosticar la demanda, controlar variabilidades de procesos, responder a demandas variables, controlar inventarios, e inclusive la fabricación misma se hace más compleja, al igual que el servicio postventa. Estos entornos de los sistemas tradicionales traen consigo la promoción de prácticas de negociación y distribución que generan fenómenos como el síndrome del palo de "hockey" y el efecto "bullwhip" a lo largo de la cadena de suministro.

Una estrategia de construcción de ambientes productivos que permite producir bienes o servicios estandarizados, pero incorporando algún grado de personalización es el Postponement. Esta estrategia se convierte en una nueva manera de competir consistente en diseñar un sistema productivo que combina los beneficios económicos de la producción en masa, con la flexibilidad y enfoque al cliente de la producción personalizada [1, 2]. Sus objetivos operativos son a) ampliar la variedad del producto explotando opciones de diseño del producto y de la cadena de valor, b) entregar a los clientes exactamente lo que necesitan, esto es, satisfacer sus necesidades individuales, y c) mantener estándares altos de eficiencia, calidad y flexibilidad con costos bajos.

La flexibilidad requerida para dar el nivel de personalización deseado por el cliente, se logra a al definir un punto de la cadena de valor, a partir del cual, la configuración final del producto pueda variar, con el objetivo atender las demandas variables de los múltiples productos [3]. El Postponement significa de manera concisa, **esperar hasta el momento en que se conocen las necesidades de los clientes, para imprimirle al producto las características finales**. Al parecer fue Alderson [3] en 1950 quien acuñó el término Postponement y lo propuso como una estrategia para reducir los costos de en las empresas.

Zinn y Bowersox [4] describen diversos tipos de Postponement que pueden ser implementados, estos son: **Postponement de etiquetado**, de empaque, de ensamble, de fabricación y de tiempo. El Postponement de etiquetado se presenta cuando el producto terminado estándar se encuentra ya en inventario y el proceso de identificación de la marca, modelo, referencia, etc., se va realizando a medida que se va conociendo la demanda. En el **Postponement de empaque** los productos no son empacados en cantidades específicas hasta que el pedido sea recibido. **El Postponement de fabricación** se refiere al caso en que un ensamble final o la misma fabricación puede ser terminada en las instalaciones de la bodega o almacén, una vez se presenten los pedidos. Finalmente, el **Postponement de tiempo** se refiere a que los productos no son enviados a las tiendas detallistas, sino que están en un almacén central y son enviados directamente a los clientes luego de ser diferenciados para cada pedido. Los tipos de Postponement, se ilustran esquemáticamente en las figuras 1a, 1b, 1c, 1d y 1e.

Cada uno de los diferentes tipos de Postponement tiene costos y ventajas que impactan el rendimiento y el servicio al cliente. Por ejemplo, con el Postponement de ensamble los costos del inventario de productos terminados se reducen, pero los costos de ensamble podrían incrementarse debido al paso de la economía de escala (altos volúmenes y baja variedad) a la economía de alcance (alta variedad y bajos volúmenes). De igual forma, en el Postponement de fabricación y de ensamble mismo, los costos de los componentes pueden aumentar, ya que en algunos casos se tienen que implementar procesos más complejos.

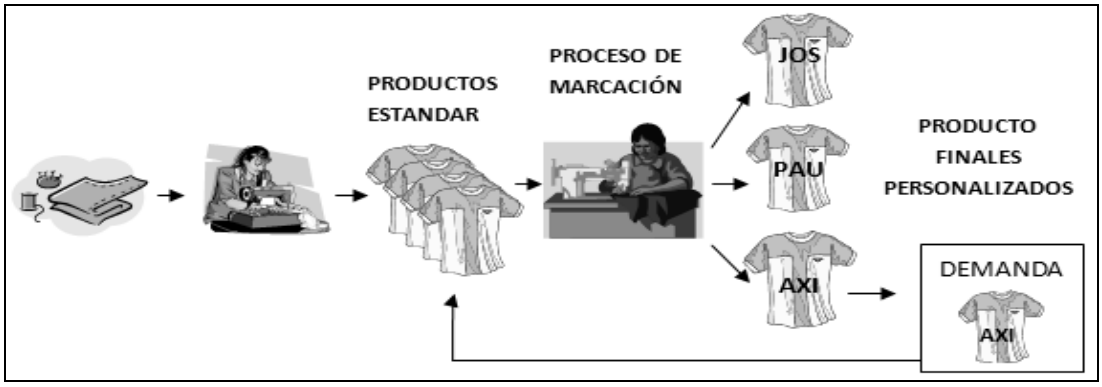


Figura 1a. Postponement de etiquetado

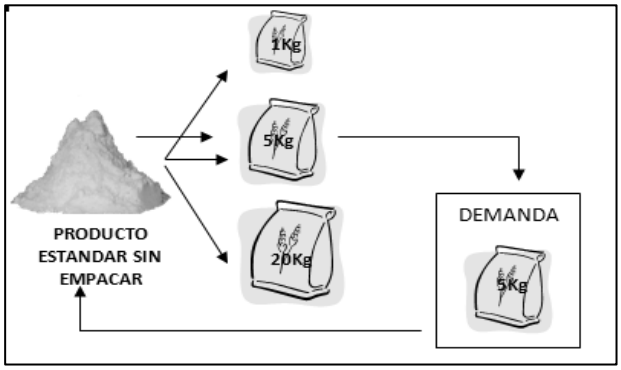


Figura 1b. Postponement de empaque

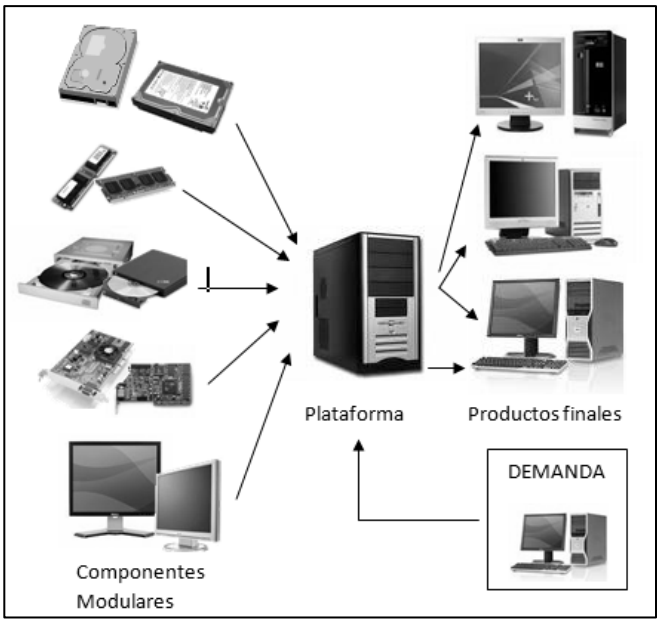


Figura 1c. Postponement de ensamble

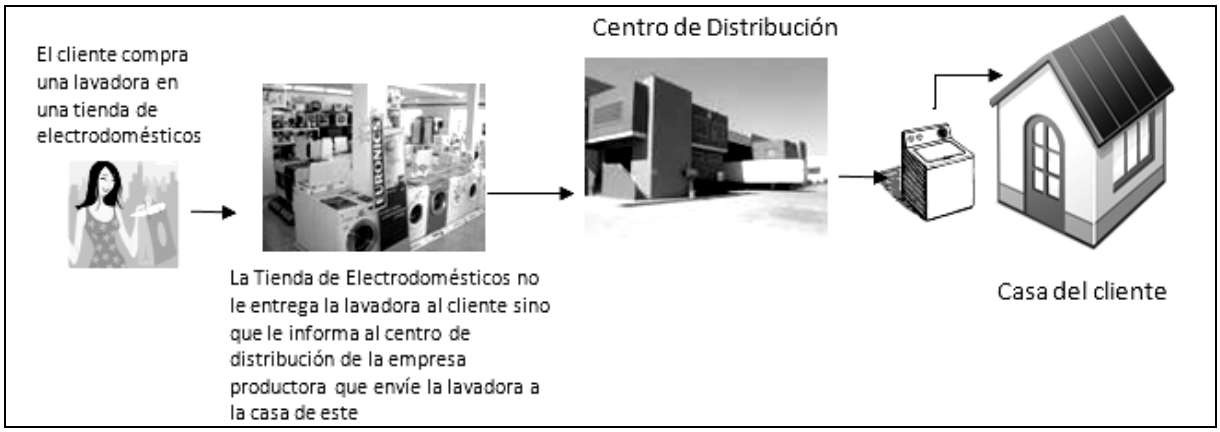


Figura 1d. Postponement de tiempo

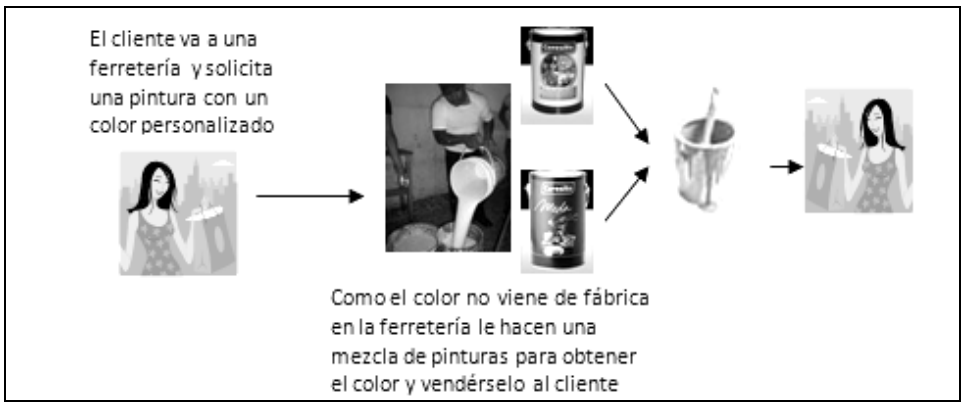


Figura 1e. Postponement de fabricación

Zinn y Bowersox [4] identifican tres tipos de factores que impactan los beneficios y costos asociados al Postponement, estos son: factores de mercado, factores de proceso y factores del producto. Los factores de *mercado* incluyen variaciones o correlaciones de la demanda para los diversos productos, tiempos de entrega y niveles de servicio personalizados. Los factores de *proceso* son las operaciones de fabricación y distribución que están bajo el control de la empresa, incluyendo la secuencia de las operaciones necesarias para modificar los atributos particulares del producto, la estructura de la cadena de valor, distribución en planta y políticas de inventario. Los factores del *producto* se relacionan con el proceso de diseño, lo que implica definir el nivel de modularidad en el diseño del producto con base en el costo y los beneficios obtenidos.

2. FUNDAMENTOS DEL POSTPONEMENT

2.1 El punto de diferenciación o punto de desacople

El Postponement opera con un punto de diferenciación o de desacople, que consiste en un área de almacenamiento del producto genérico o los módulos estándares, a los cuales se les agregan las características finales demandadas por el cliente. Esto permite a los planeadores hacer mejores pronósticos sobre la demanda final, ya que el producto modular es fabricado a partir de un pronóstico agregado y los productos finales se fabrican bajo un pronóstico con un horizonte de tiempo más corto o también sobre pedido [5]. El punto de diferenciación puede estar desde la fase de diseño hasta la de empaque o la de distribución [6]. El caso estudio presentado en este artículo se concentra en la etapa de manufactura, ya que es aquí donde se obtienen mayores beneficios en disminución de los costos de inventario debido a la concentración del riesgo en un producto genérico [7].

2.2 Diseño compartido y diseño modular

Para implementar el Postponement en una cadena de valor podría ser estrictamente necesario rediseñar los productos basados en los conceptos de diseño compartido y/o diseño modular [8].

El **diseño compartido** está definido como el uso de componentes comunes para productos individuales. Un ejemplo de este concepto fue presentado por la compañía fabricante de carros Ford cuando diseño un motor 3.0L V-6 el cual podía se ser usado en diferentes modelos de carros como muestra la figura 2 [8].

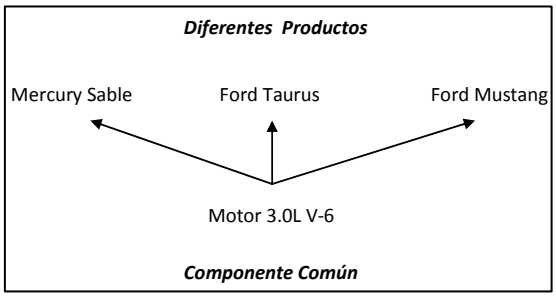


Figura 2. Ejemplo de aplicación del diseño compartido

El **diseño modular** se define como el uso de módulos intercambiables que son ensamblados en una plataforma para crear variedad y personalización en los productos [8, 9]. Un ejemplo de modularidad es aplicado por la compañía productora de computadores Dell. Ellos brindan la posibilidad a los clientes de escoger algunos componentes como el procesador, memoria RAM, capacidad del disco duro, entre otros, a partir del diseño modular de estos componentes, los cuales pueden ser ensamblados en diferentes plataformas diseñadas bajo este mismo concepto (figura 3).

3.1 Caso base: La cadena de valor y los productos hipotéticos del sistema

Puesto que uno de los objetivos de este estudio es crear un ambiente de enseñanza del Postponement, el caso base se desarrolló mediante una actividad lúdica de fabricación de figuras en papel. Éste consiste en una cadena de valor capaz de producir cuatro productos: avión comercial (cial), avión militar (mtar), aerodeslizador (aerodes) comercial y aerodeslizador militar; utilizando como materia prima hojas de papel tamaño carta.

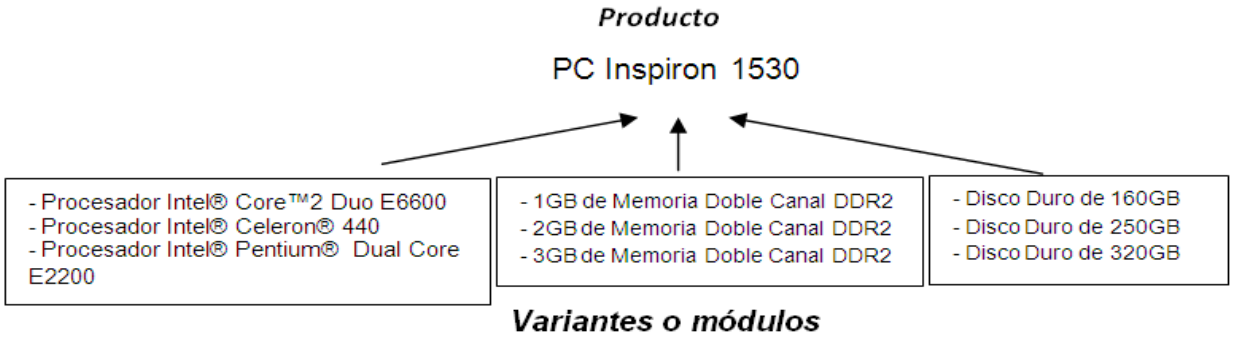


Figura 3. Ejemplo de aplicación del diseño modular

Resultando un total de tipos diferentes de computadores como se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Opciones de ensamble de computadores

COMPONENTE	NUMERO DE OPCIONES
Disco Duro	3
Memoria RAM	3
Procesador	4
Total de Combinaciones	**36**

3. El sistema productivo hipotético y el modelo

Para estudiar el funcionamiento del Postponement como estrategia de producción de la cadena de valor y observar su impacto en las variables e indicadores operativos, se creó un sistema productivo hipotético (caso base) y se modeló en Promodel®.

La línea de producción está configurada con 7 estaciones de trabajo, las cuales realizan un solo proceso y tienen capacidad 1, es decir procesan un producto mediante una operación por cada tiempo de ciclo. Para el caso base, en cada estación de trabajo opera una persona que realizará las operaciones manualmente. La figura 4 muestra el diagrama de proceso para la fabricación de los productos del caso base y el tiempo estándar de cada operación medido en el desarrollo de la lúdica. Cada estación realiza una operación. Adicional a los tiempos de operación, se estandarizaron los tiempos de transporte en 2 segundos entre cada estación de trabajo.

Obsérvese que para las cuatro referencias, las primeras cinco operaciones son comunes, pero los resultados del flujo y control de materiales dependerá de las características de funcionamiento inherentes en cada sistema de producción a evaluar.

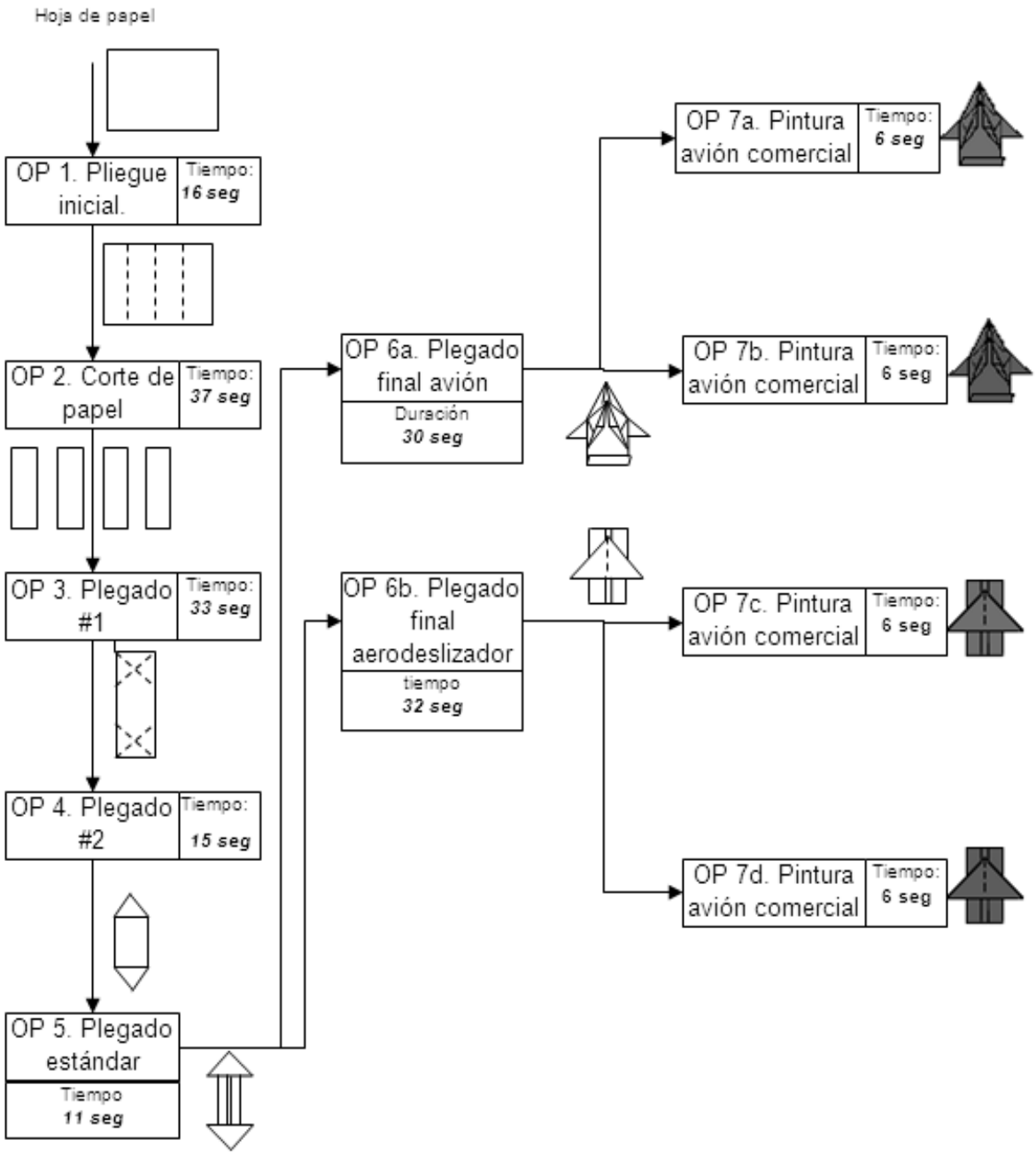


Figura 4. Cadena de valor del modelo

3.2 Configuraciones de los Sistemas Productivos

La figura 5 contiene la estructura del flujo de materiales, el flujo de información con la solicitud del cliente y la ubicación de los buffers de almacenamiento.

3.3 Layouts de los Sistemas Productivos

Las figuras 6a, 6b y 6c, muestran el layout de los sistemas productivos objeto de evaluación. En total se construyeron 4 modelos de simulación, uno para cada sistema productivo.

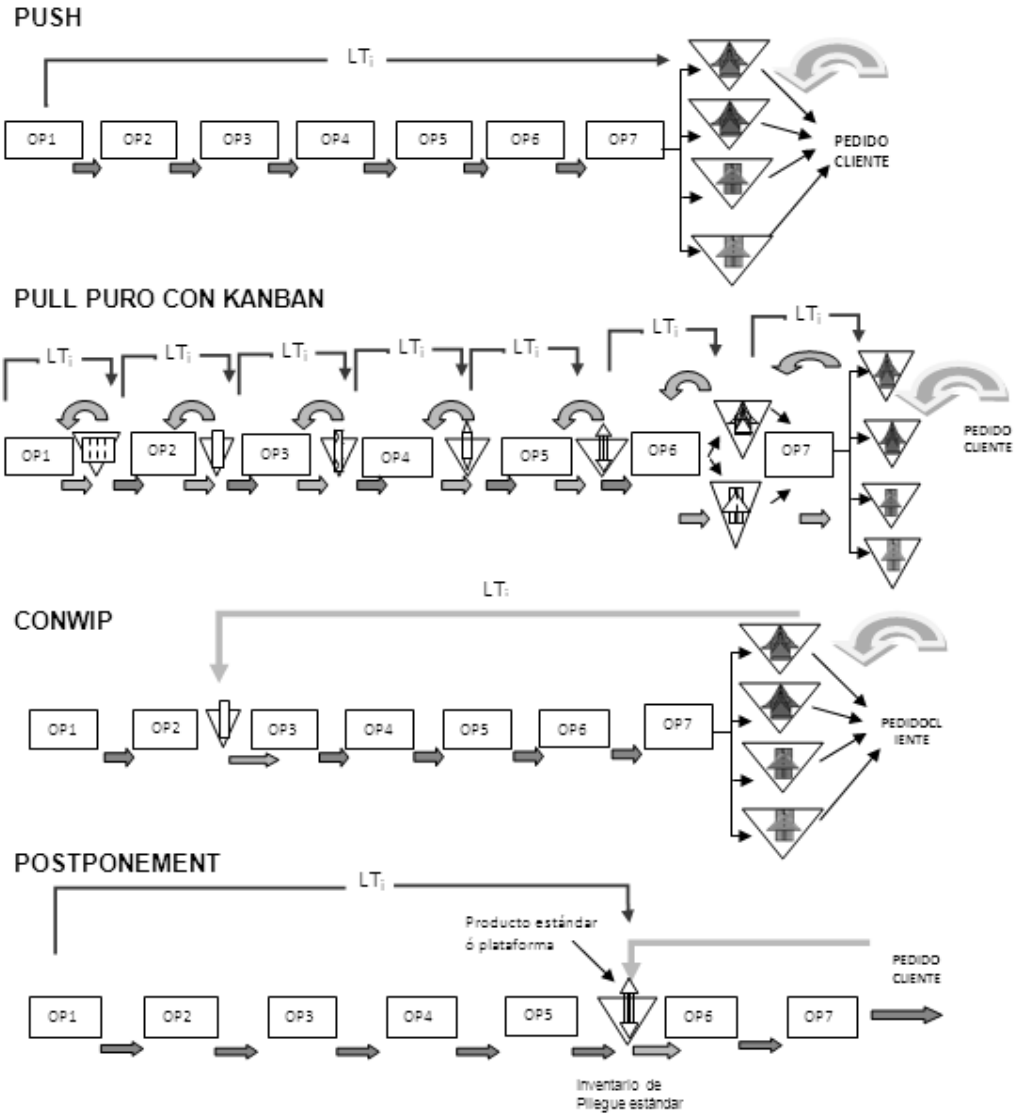


Figura 5. Flujo de materiales e información de reposición por parte del cliente para los sistemas de producción a evaluar

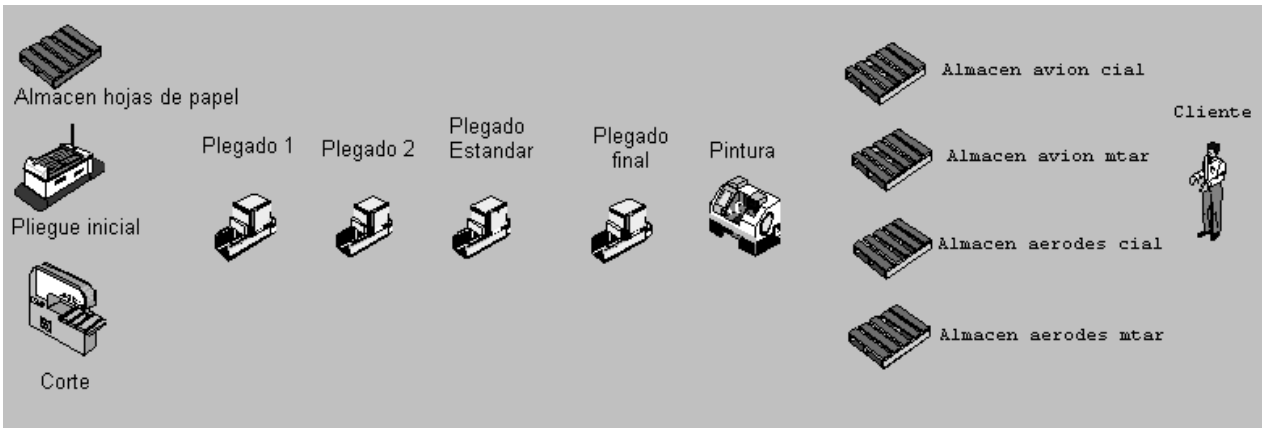


Figura 6.a. Layout de los sistema productivo Push y CONWIP

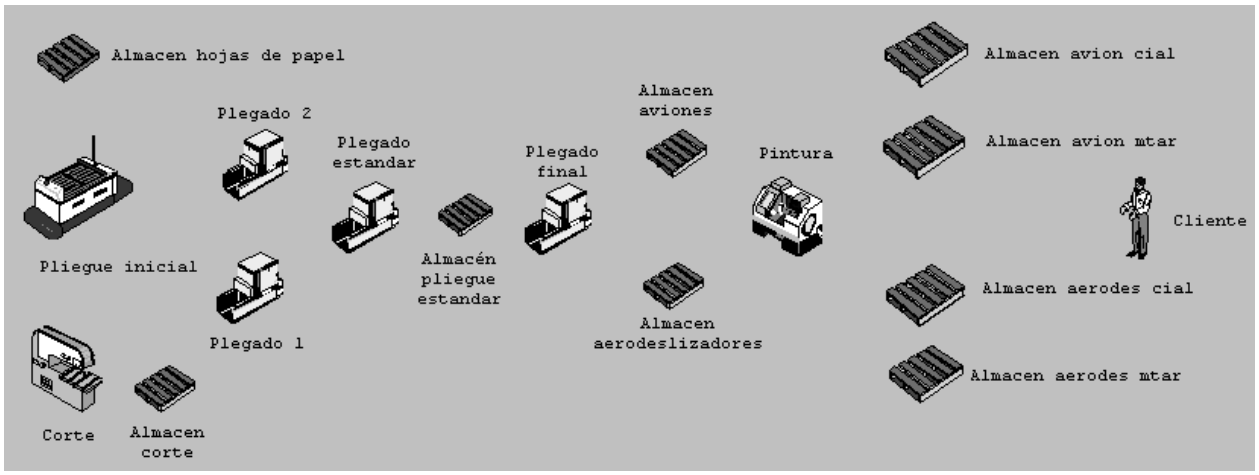


Figura 6b. Layout del sistema productivo Pull puro con kanban

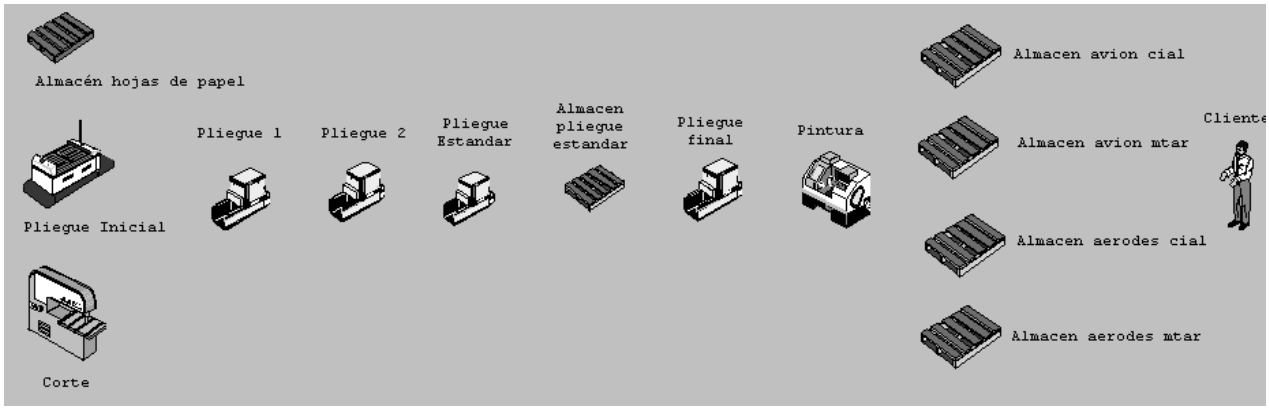


Figura 6c. Layout del sistema productivo Postponement

3.4 Parámetros y variables del modelo

Dada la naturaleza de cada sistema productivo, algunas variables y parámetros sólo se utilizan en la caracterización de cada sistema respectivo.

Parámetros:

i = Para el Push y para el CONWIP *i* se refiere a los productos finales (avión comercial, avión militar, aerodeslizador comercial y aerodeslizador militar). En el Pull con kanban se refiere a los productos finales y a los productos en proceso (Papel cortado, pliegue estándar, avión sin pintar y aerodeslizador sin pintar). Para el postponement no se utiliza subíndice, ya que este sistema sólo maneja y almacena una referencia genérica, que es el pliegue estándar.

h= Horizonte de simulación

Z**:** factor de nivel de servicio (adimensional).

σ_i**:** Desviación estándar de la demanda del producto final *i* (Unidades/período).

LT_i**:** Lead time del proceso del producto final o semiprocesado *i*. Para el Push es el tiempo de reposición del lote de fabricación (EOQ) de cada producto final, el cual se asume en este estudio para el producto *i*, como el tiempo que transcurre entre la terminación de un lote, y el inicio de la fabricación de otro lote del mismo producto (figura 5). Se asume también, que para volver a producir un producto *i* (por ejemplo el producto 1), se debe esperar hasta terminar la fabricación

del lote de los demás productos de la familia (en este caso, el 2, 3 y 4). Para el CONWIP, el lead time se asume como el tiempo de reposición del EOQ del producto final *i*, esto es el tiempo transcurrido desde la primera operación de la cadena de valor, hasta la última. En el caso del Pull con Kanban, el lead time hace referencia al tiempo de entrega del EOQ del producto *i* del almacén del proceso proveedor, al almacén del producto o semiprocesado *i*. Para el postponement LT_i es el tiempo de fabricación de un pliegue estándar.

D_{ih}: Demanda proyectada del producto *i* en el horizonte de simulación *h* (unidades/horizonte)

d_{it}: Demanda del producto o semiprocesado *i* en el momento *t* (unidades).

A: Costo de alistamiento ($/orden).

CM_i: Costo de mantener una unidad de inventario del producto *i* por horizonte de simulación ($/unidad-horizonte de simulación).

C_i: Costo de fabricar el producto *i* ($/unidad).

I_{it}: Inventario a la mano del producto *i* en el momento t (unidades).

P_{it}: Inventario en proceso del producto *i* en el momento t (unidades).

Variables:

D_i: Demanda media del producto o consumo medio del semiprocesado *i* (unidades/ unidad de tiempo).

EOQ_i: Tamaño de lote económico del producto *i*. En este trabajo se asume que los sistemas productivos utilizan como política de gestión de inventarios, la política clásica EOQ.

SS_i: Inventario de seguridad del producto o semiprocesado *i* (unidades).

CLT_i: Demanda del producto *i*, o consumo medio del semiprocesado *i*, durante el Lead Time (Para todos los sistemas) (unidades).

PR_i: Punto de reposición del producto o semiprocesado *i* (unidades).

ID_{it}: Inventario disponible del producto o semiprocesado *i* en tiempo *t* (unidades). Se expresa como la suma del inventario a mano, más el producto en proceso.

$Imax_i$: Inventario máximo del producto o semiprocesado *i* (unidades).

CT_i: Costo del inventario final del producto o semiprocesado *i* en el horizonte de simulación ($).

IM_i: Inventario medio del producto o semiprocesado *i* en el horizonte de simulación (unidades).

La tabla 2 muestra las ecuaciones usadas en los modelos.

Tabla 2. Ecuaciones de los modelos

ECUACIÓN	No
Demanda media del producto *i* por horizonte de simulación (para todos los sistemas) : $D_i = \frac{\sum_1^h D_{ih}}{h}$	(1)
Tamaño de lote a producir (Para Push, Pull y CONWIP): $EOQ_i = \sqrt{\frac{2AD_{ih}}{CM_i}}$	(2)
Tamaño de lote del Postponement=d_{it}	(3)
Inventario de seguridad, asumiendo lead time constante (Para todos los sistemas): $SS_i = Z \times \sigma_i \times \sqrt{LT_i}$	(4)
Demanda del producto *i*, o consumo medio del semiprocesado *i*, durante el Lead Time (Para todos los sistemas): $CLT_i = D_i \times LT_i$	(5)
Punto de reposición (Para Pull con kanban y CONWIP): $PR_i = SS_i + CLT_i$	(6)
Inventario disponible (Para todos los sistemas): $ID_{it} = I_{it} + P_{it}$	(7)
Inventario máximo (Para Pull con kanban y CONWIP): $Imax_i = PR_i + EOQ_i$	(8)
Inventario máximo (Para Push): $Imax_i = SS_i + D_i \times LT_i + D_i$	(9)
Costo de inventario al final del periodo (Para todos los sistemas): $CT_i = I_{it} \times C_i$	(10)

3.5 Indicadores de medición de las estrategias

Para medir el efecto de decisiones de cambio, se definieron cuatro indicadores relevantes.

- Inversión en Inventario Promedio: Para medir la inversión en inventario promedio, se definió un costo estimado para cada uno de los ítems que se mueven a lo largo de la línea de producción.
- Costo de Inventario Final: Es el costo del inventario final medido de forma similar que la inversión en inventario promedio.
- Nivel de Servicio: Es la medida de la proporción de entregas cumplidas en relación con el total de pedidos de los clientes.
- Tiempo de entrega medio por pedido: Es el tiempo que transcurre desde el momento en que se genera la orden del cliente hasta que es cumplida a satisfacción.

3.6 Validación del modelo

Al realizar la actividad lúdica y correr la simulación para los sistemas push (caso base) y postponement, se obtuvieron valores muy similares de inventario final, estos se muestran en la tabla 3.

En el caso del Postponement se obtuvieron los resultados de la tabla 4 para las dos simulaciones. Se concluye que el modelo reproduce los resultados de la simulación manual en la simulación por computador, por lo tanto el modelo representa con buena aproximación el sistema objeto de estudio.

Tabla 3. Inventario final de la simulación manual y simulación por computador del Push

Producto	Demanda generada manualmente mediante dados	Demanda generada por computador	Desviación de Demanda de Sim. Computador vs. Sim. Manual	Inventario Final Simulación Manual	Inventario Final Simulación por Computador	Desviación de Inventario Simulación por Computador vs. Simulación Manual
Avión comercial	13	13	0,0%	7	8	14%
Avión militar	15	14	-6,7%	6	8	33%
Aerodeslizador comercial	15	14	-6,7%	6	7	17%
Aerodeslizador militar	11	13	18,2%	11	10	-9%

Tabla 4. Inventario final de la simulación manual y simulación por computador del Postponement

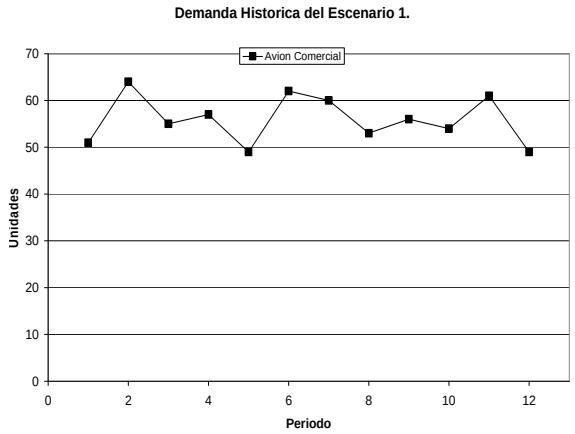
Producto	Inventario Final Simulación Manual	Inventario Final Simulación por Computador	Desviación de Inventario Simulación por Computador vs. Simulación Manual	Demanda Simulación Manual	Demanda Simulación por Computador	Desviación de Demanda de Simulación por Computador vs. Simulación Manual
Pliegue estándar	13	15	15,4%	-	-	-
Avión comercial	0	0	0%	11	14	27,3%
Avión militar	0	0	0%	16	15	-6,3%
Aerodeslizador comercial	0	0	0%	15	13	-13,3%
Aerodeslizador militar	0	0	0%	15	13	-13,3%

3.7 Escenarios a evaluar

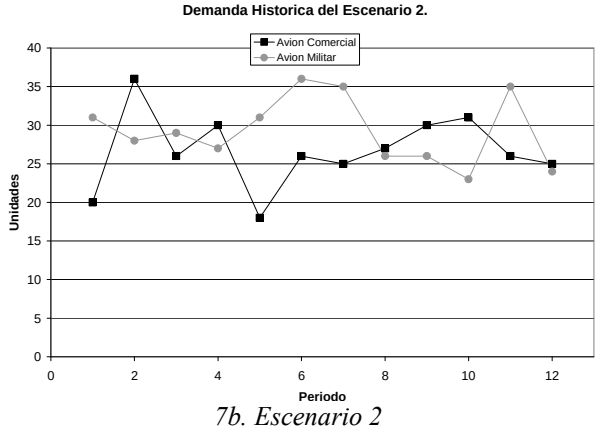
Este estudio mide el desempeño de las estrategias de producción, en términos de la inversión en Inventario Promedio, costo de Inventario final y tiempo de entrega por pedido, para un mismo nivel de servicio meta (95%). A continuación se formulan los escenarios de evaluación de los sistemas productivos enunciados o estrategias de producción:

3.7.1 Fase 1. Impacto de la variedad de productos: Escenarios 1, 2 y 3

En esta fase se evaluó el impacto de la variedad de productos sobre las estrategias de producción, para el mismo número de pedidos de los clientes en un periodo. Para este objetivo se trabajó con una demanda asumida constante y predeterminada, con distribución normal y con una variabilidad moderada (figuras 7a, b y c).

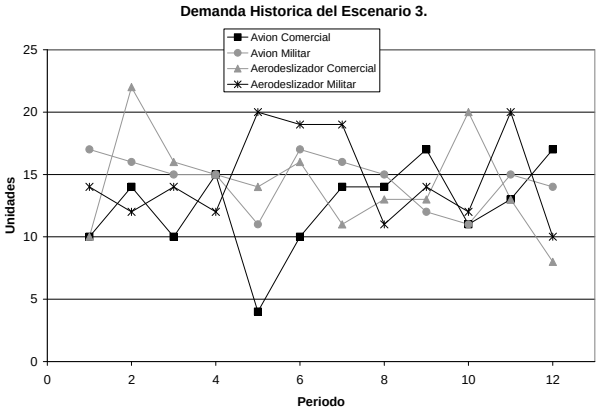


7a.Escenario 1



7b. Escenario 2

Figura 7. Demandas históricas asumidas para cada escenario



7c.Escenario 3

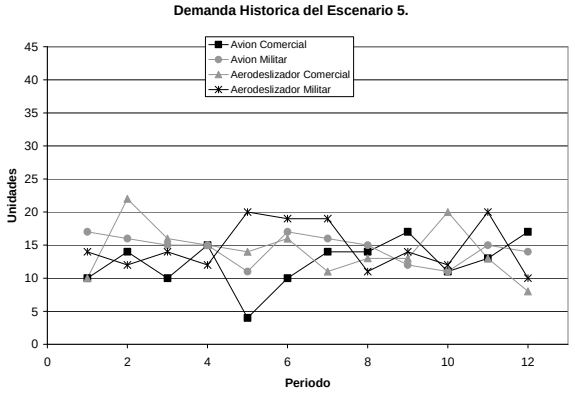
Figura 7. Demandas históricas asumidas para cada escenario (continuación)

- Escenario 1. Los sistemas de producción fabrican un solo producto (avión comercial).
- Escenario 2. Los sistemas de producción fabrican dos productos (avión y aerodeslizador comercial), por lo tanto la demanda se divide en los dos productos ofrecidos.
- Escenario 3. Los sistemas de producción fabrican cuatro productos (avión comercial, aerodeslizador comercial, avión militar y aerodeslizador militar), y la demanda se divide en los productos ofrecidos. En este escenario se nota más el concepto de producto genérico para obtener variaciones posteriores de producto final a partir del conocimiento de la demanda.

3.7.2 Fase 2. Impacto de la variabilidad de la demanda: Escenarios 4, 5 y 6

En esta fase se evaluó el impacto de la variabilidad de la demanda sobre las estrategias de producción, para el mismo número de productos fabricados (las 4 referencias definidas).

Para esto y consecuentemente con los objetivos de este estudio, se asumieron deliberadamente unas demandas históricas por producto sin tendencias, pero con un aumento sucesivo de la variabilidad (Figuras 8a, b, c y d). Seguidamente, se calculó y se ingresó para cada estrategia el inventario de seguridad por producto, requerido para proteger el flujo de producción de la variabilidad de la demanda.



8a. Escenario 4

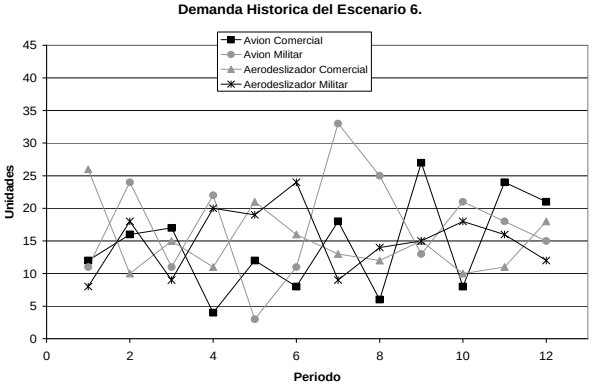
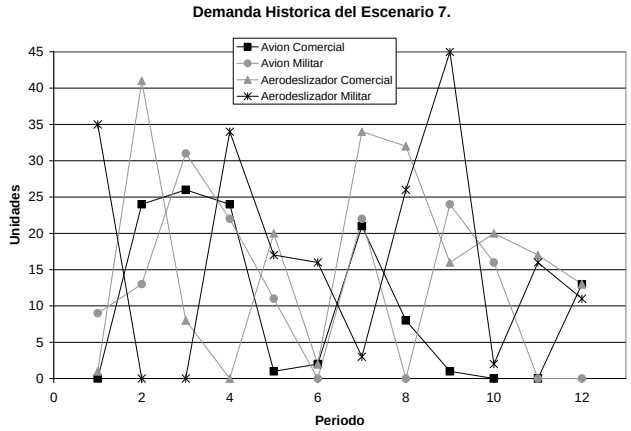
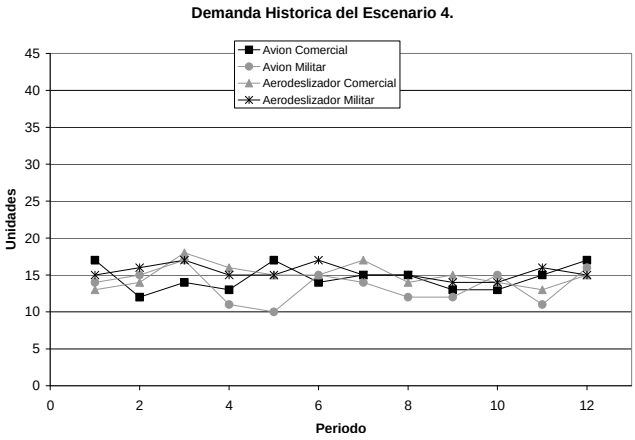


Figura 8b. Escenario 5



8c. Escenario 6



8d. Escenario 7

Figura 8. Demandas históricas simuladas para el para los escenarios

Las demandas por producto, se generaron mediante una función normal, asumiendo los mismos valores de demanda media y desviación estándar en cada escenario para cada productos. Se definieron 4 escenarios.

- Escenario 4. Demanda constante y variabilidad muy baja.
- Escenario 5. Demanda constante y variabilidad baja.
- Escenario 6. Demanda constante y variabilidad alta.
- Escenario 7. Demanda constante y variabilidad muy alta.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados de la Fase 1: Comportamiento de los sistemas de producción ante la diversificación de productos

4.1.1 Inversión en Inventario

Los resultados de la inversión en inventario promedio resultante requerida por cada estrategia de producción cuando se varía el número de productos ofrecidos por la cadena de valor se presenta en la figura 9.

Los sistemas de producción Push, Pull y CONWIP necesitan incrementar la inversión en inventario a medida que se aumenta la variedad de productos. Se valida la hipótesis de Benjaafar et al. [10], de que los niveles de inventario aumentan linealmente con el aumento en la variedad de productos.

Al aumentar el número de referencias, a diferencia de los sistemas Push, Pull y CONWIP, el Postponement no aumenta los niveles de inventario, ya que al aumentar la variedad de productos ofrecidos los sistemas Push, Pull y CONWIP deben producir para inventario y gestionar las referencias adicionalmente creadas, lo que se traduce en costos de inventario más altos ya que en estos sistemas, para cada referencia se realiza un pronóstico individual y por consiguiente requiere diferentes políticas de inventario, así como diferentes niveles de inventarios de seguridad. El Postponement por el contrario no requiere inventarios adicionales para gestionar las referencias adicionales, ya que solo almacena partes o productos genéricos estándar. Además el inventario de seguridad necesario permanece casi constante, ya que éste depende la desviación estándar de la demanda agregada y no de las demandas individuales.

4.1.2 Tiempo de entrega medio por pedido

La figura 10 muestra el tiempo de entrega promedio resultante para cada estrategia de producción a medida que aumenta el número de productos ofrecidos por la cadena de valor.

De acuerdo a la configuración definida para el Postponement en este estudio (figura 6), el tiempo de entrega promedio del Postponement es notoriamente mayor que el de los otros sistemas de producción ya que cada vez llega el pedido del cliente, éste espera a que el producto se termine de fabricar o se diferencie. Esto es comprensible dado el objetivo aplazamiento de las operaciones de diferenciación.

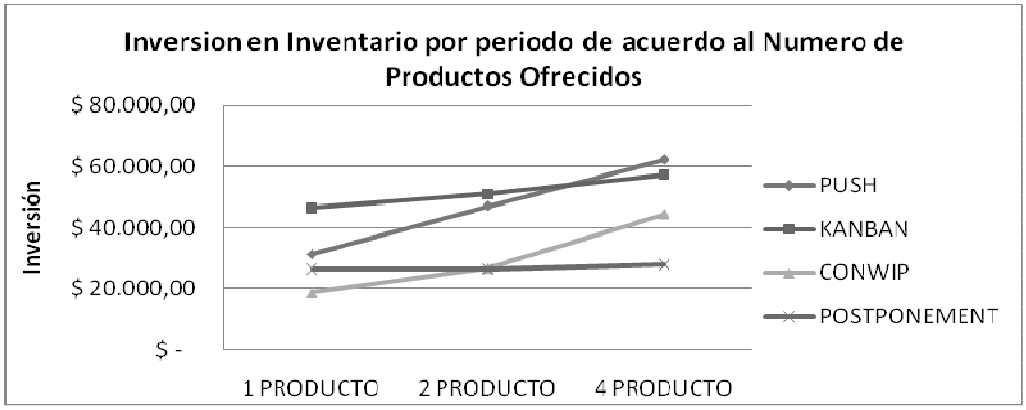


Figura 9. Inversión en inventario requerido por periodo de acuerdo al número de productos ofrecidos

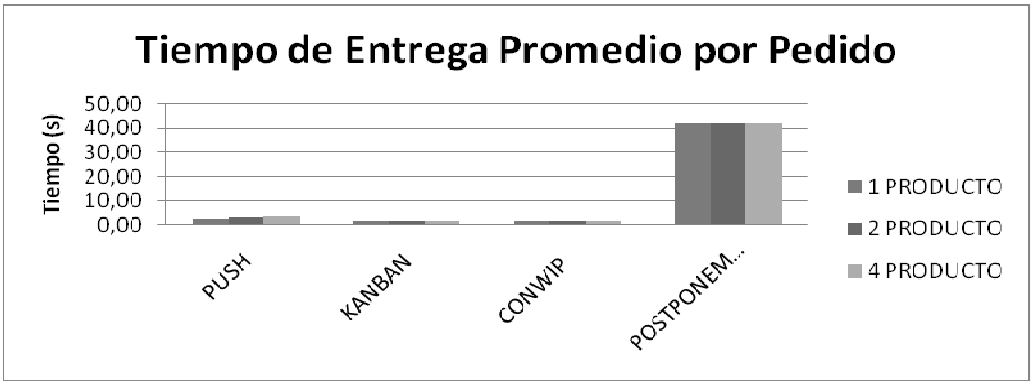


Figura 10. Tiempo de entrega por pedido

4.1.3 Costos de mantenimiento de inventario

Se asume de acuerdo a la teoría clásica de inventarios, que este costo está representado como un porcentaje del valor del inventario que se tiene por periodo. La Figura 11 presenta el comportamiento resultante que tienen los costos de mantenimiento de inventario a medida que se incrementa el número de productos ofrecidos en cada sistema de producción.

Obsérvese que a mayor cantidad de productos, mayor es el nivel de inventarios a mantener y en consecuencia, son mayores los costos de mantenimiento para todos tipos de sistemas productivos. En los sistemas Push, Pull y CONWIP el incremento se presenta casi de forma exponencial ya que al aumentar el número de productos el sistema tiene que crear un inventario de seguridad para cada ítem. Por otro lado, el sistema que incurre en mayores niveles y costos de inventarios es el sistema Push, mientras que el sistema Pull puro con Kanban lo supera con menores niveles. Resulta interesante que para muy baja variedad de productos el CONWIP es el único sistema que supera al Postponement en el mantenimiento y costos de inventarios, mientras que al aumentar la variedad de productos, el Postponement es la mejor opción.

Se destaca aquí que los sistemas Pull y CONWIP (e incluso el Push) pueden ofrecer niveles de servicio similares a los del postponement, pero a costa de niveles altos de inversión en inventario.

4.2 Resultados de la fase 2: Comportamiento de los sistemas de producción ante a la variabilidad de la demanda

4.2.1 Inversión en inventario promedio

La inversión resultante en inventario promedio requerida por cada estrategia de producción cuando trabaja con demandas con diferentes niveles de variabilidad se muestra en la figura 12.

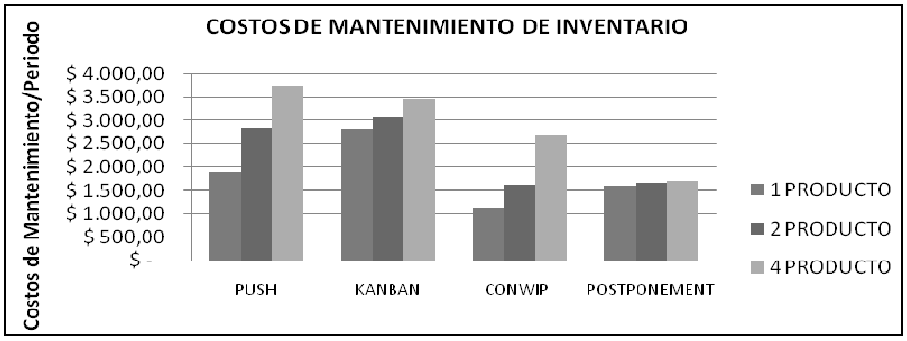


Figura 11. Costo de mantenimiento de inventario por sistema de producción

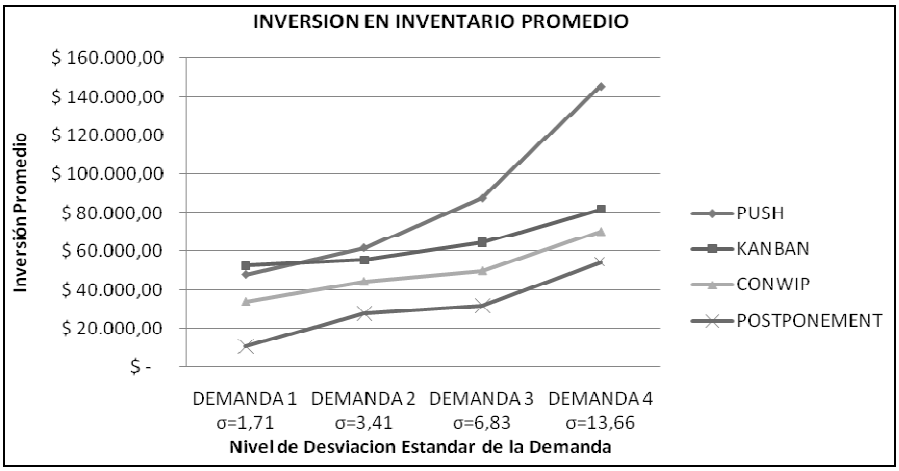


Figura 12. Inversión en inventario requerido por periodo de acuerdo a la variabilidad de la demanda de los productos ofrecidos

El sistema Push es la estrategia de producción que requiere mayor inversión en inventario a medida que la variabilidad de la demanda por ítem aumenta (para un mismo nivel de servicio deseado), al punto de tener un comportamiento casi exponencial. Este fenómeno se presenta ya que la necesidad en inventario de seguridad es proporcional a la variabilidad de la demanda por ítem (Inventario de seguridad = k*desviación estándar).

A pesar de que los sistemas de producción CONWIP y Pull aplican el mismo concepto para el cálculo de los inventarios de seguridad, estos sistemas manejan inventarios de productos intermedios los cuales tienen un costo menor que los inventarios de productos finales, por lo tanto en el momento de calcular la inversión en inventario requerida por estos sistemas, encontramos que su valor es menor al costo de los inventario mantenidos en el Push. También se valida la hipótesis de Spearman [11], de que el CONWIP maneja menores niveles inventarios que el Pull puro con Kanban.

Ante el aumento de variabilidad, a diferencia de las otras estrategias de producción, el Postponement requiere una inversión menor en inventario al manejar un producto genérico o estándar inventario que para el caso estudio es un producto intermedio (pliegue estándar). Al operar sólo con un producto intermedio estándar el cálculo de los inventarios de seguridad se simplifica a un producto agregado, lo que permite reducir la inversión en inventarios.

4.2.2 Tiempo de entrega medio por pedido

En la figura 13 se observa el tiempo de entrega medio por pedido que ofrecería cada sistema de acuerdo a la variabilidad de la demanda. Al igual que con el inventario promedio el Postponement es el sistema de producción que maneja una menor inversión de inventario final.

El Postponement es el sistema de producción que maneja el mayor tiempo de entrega por pedido, incidiendo en esto, definitivamente la posposición o aplazamiento de algunas operaciones de diferenciación.

4.2.3 Costos de mantenimiento de inventario

En la figura 14 se observa el valor del inventario final que cada sistema de producción maneja al terminar la simulación.

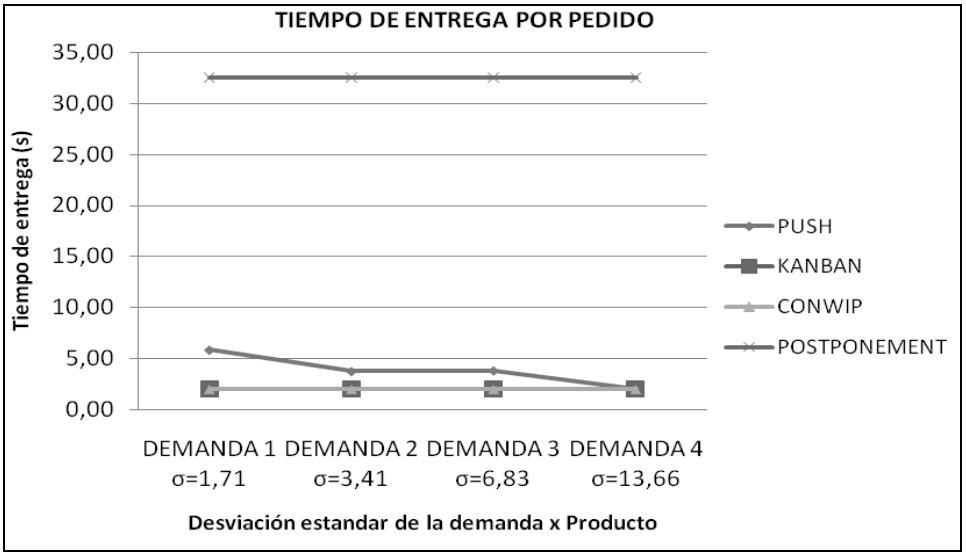


Figura 13. Tiempo de entrega promedio por pedido

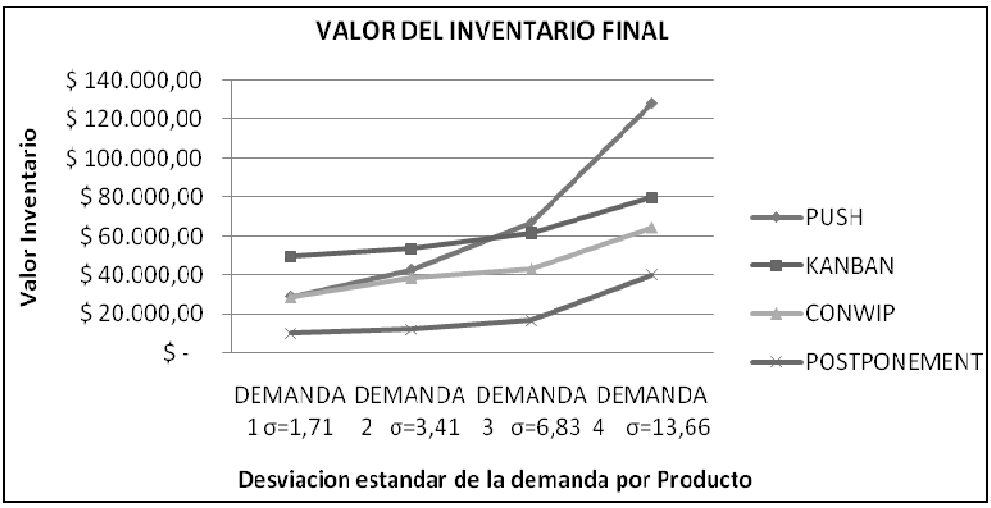


Figura 14. Valor del inventario Final generado por cada sistema de producción

5. Conclusiones

- El Postponement permite aumentar la variedad de productos fabricados en una cadena de valor, manteniendo los niveles de inventario, sin aumentar sus costos. Esto es posible porque esta estrategia gestiona fundamentalmente inventarios de productos genéricos estándar, sin terminar.
- La capacidad de una empresa para implementar con éxito la estrategia del Postponement, depende básicamente de cómo la compañía puede adaptar su proceso y las características del producto a los requerimientos del mercado; principalmente enfocando los cambios al diseño del producto o del proceso, de tal forma que la implementación del Postponement llegue a ser más fácil y más rentable.
- El Postponement es una estrategia de producción muy útil para empresas que manejan una gran variedad de productos con demandas muy variables, ya que favorece indicadores de gestión como costos de inventarios y niveles de servicio.
- El Postponement es un sistema de producción muy útil para empresas que manejan productos con ciclos de vida cortos, pues contribuye a reducir el riesgo de pérdidas por obsolescencia de los inventarios, además, al manejar un diseño estándar, brinda la posibilidad a la empresa de transformar el articulo conforme a las preferencias del mercado, que para el caso de estos productos suelen ser muy variables e imprevistas.
- La implementación del Postponement permite a los planeadores elaborar pronósticos más exactos, al trabajar con un horizonte de tiempo más corto y productos genéricos.
- La ubicación del punto de diferenciación en la secuencia de procesos, impacta directamente el tiempo de entrega, lo cual obliga a configurar la cadena de valor de tal manera que esta "desventaja" del Postponement sea compensada entregándole a los clientes, exactamente lo que necesitan a un costo menor. Indudablemente la ubicación de este sitio de almacenamiento en la secuencia de los procesos productivos, está condicionado al tiempo que el los clientes están dispuestos a esperar para obtener el producto.

6. Referencias bibliográficas

1. Yang, B. and Burns N. June, 2003. "Implications of postponement for the supply chain". International Journal of Production Research, Volume 41, Number 9.

2. Yang, B., Burns, N. and Backhouse, C. 2004. Postponement: a review and an integrated framework. International Journal of Operations & Production Management.
3. Alderson, W. "Marketing Efficiency and the Principle of Postponement". September 1950. Cost and Profit Outlook.
4. Zinn, W. and Bowersox, D. 1988. "Planning physical distribution with the principle of Postponement". Journal of Business Logistics.
5. Billington, C., Lee, H. L and Carter, B. July-August 1993. "Hewlett-packard gains control of inventory and service through design for localization". Interfaces.
6. Yang, B., Burns, N. and Backhouse, C. 2005. "The application of postponement in industry". Engineering Management, IEEE Transactions on.
7. Rietze, S. Case Studies of Postponement in the Supply Chain. 2004. B.S. Operations Research United States Air Force Academy.
8. Tung, K. Modularity and component sharing as a product designs and manufacturing strategy. June 1991. Master of Science in management, Massachusetts Institute of Tecnology.
9. Gershenson, J. K., Prasad, G. J. and Zhang Y. 2003. "Product modularity: definitions and benefits". Journal of Engineering Design.
10. Benjaafar, S., Kim, J., and Vishwanadham. N. "On the effect of product variety in production-inventory systems". 2004. Annals of Operations Research.
11. Hopp, W., Spearman. 1996. Mark. Factory physics. Irwin. Chicago.

Universidad del Valle

ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL Y ESTADÍSTICA (EIIE)

PROGRAMAS DE FORMACIÓN PROFESIONAL EN POSGRADO

MAESTRÍA EN INGENIERIA

Registro ICFES:
12036003001760011100
Línea de Énfasis Ingeniería Industrial

ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

Registro ICFES:
12035600658760011310 0

ESPECIALIZACIÓN EN ESTADÍSTICA APLICADA

Registro ICFES:
12035310338760011150 0

ESPECIALIZACIÓN EN LOGÍSTICA

Registro ICFES:
12035338060760011150 0

INFORMES:

Ciudad Universitaria Meléndez
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística
Edificio: 346
Teléfonos: 339 24 10 – 321 21 86
Fax: 339 84 62 – 3315274
A.A. 25360
Cali, Colombia



Programas de Formación Profesional en Pregrado

ESTADÍSTICA

Perfil profesional:

- Dirige, organiza, estructura y administra oficinas o departamentos de estadística en empresas privadas o del estado.
- Asesora en diseño y análisis de experimentos
- a las instituciones de investigación científica y tecnológica y a los profesionales de otros campos.
- Diseña, ejecuta y analiza encuestas e implementa las técnicas de muestreo necesarias en campos como: estudios de mercados, estudios de existencias, estudios socioeconómicos, etc.
- Asesora en la definición y validación de modelos estadísticos – matemáticos para estudios investigativos en los cuales se requiera analizar el comportamiento simultáneo de varios factores aleatorios para la explicación de una problemática existente.
- Es un experto en el uso de bancos de datos con fines estadísticos y excelente asesor en procesamiento y análisis de información mediante el uso de software estadístico altamente especializado.

INGENIERIA INDUSTRIAL

Perfil profesional:

- Diseña, analiza y desarrolla sistemas productivos de bienes y servicios.
- Aplica técnicas de mejoramiento de procesos.
- Evalúa financiera y económicamente la factibilidad de proyectos.
- Evalúa y gestiona el cambio tecnológico y la innovación, para contribuir a la productividad, y competitividad de las organizaciones.
- Diseña y optimiza cadenas y redes de suministro regionales e internacionales.
- Lidera procesos de cambio.

INFORMES:

Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística
Edificio: 346
Teléfonos: 3212196-3212222
Fax: 3315274
A.A 25360
Cali, Colombia

Heurística
Revista académica de la Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística (EIIE), de la Universidad del Valle.

Instrucciones para los autores

La revista ***Heurística*** es una publicación científica y tecnológica de la Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle, cuyo objetivo es el de publicar artículos en cualquiera de las áreas de ingeniería industrial, estadística, investigación de operaciones, sistémica y áreas relacionadas con las anteriores.

Los artículos pueden estar escritos en Español o en Inglés y pueden enmarcarse dentro de la clasificación de artículos dada por Colciencias:

Artículos de investigación científica o tecnológica: Presentan resultados originales de investigación.

Artículos de reflexión: Presentan resultados de investigación sobre un tema específico desde la perspectiva analítica, interpretativa o crítica de los autores, recurriendo a fuentes bibliográficas originales.

Artículos de revisión: Presentan el resultado de una revisión analítica de la literatura sobre un tema específico, sistematizando o integrando los resultados de investigaciones ya publicadas con el fin de dar cuenta del avance y las tendencias de desarrollo de ese tema. Incluyen una cuidadosa y amplia revisión bibliográfica.

Se consideran igualmente las siguientes clasificaciones de artículos y notas cortas:

Casos y notas técnicas: Se publican aquí casos de estudio que no puedan enmarcarse dentro de las categorías anteriores. Las notas técnicas, por su parte, son informes cortos sobre aspectos específicos cuya longitud y alcance no clasifica como artículo completo.

Ensayo: Consiste en una reflexión filosófica, pedagógica, sociológica, histórica o literaria o una combinación de éstas, en la cual se trata uno o más problemas de los múltiples que pueden caber en una escuela como la de ingeniería industrial y estadística. Son bienvenidas las reflexiones críticas que liguen el quehacer universitario con las realidades sociales de nuestro país, región o ciudad.

Comentarios de libros: Se publican aquí comentarios de libros recientemente publicados, relacionados con las áreas temáticas de la revista.

La edición de la revista es anual. Los artículos deben ser originales y no deben encontrarse bajo evaluación en otras revistas.

INSTRUCCIONES DE ESCRITURA Y ENVÍO DE MANUSCRITOS

Los manuscritos deben ser enviados al Editor Jefe de la revista en forma electrónica (heuristica@pino.univalle.edu.co) y en forma impresa (dos copias). La estructura general de los artículos debe ser la siguiente:

Longitud de los artículos y tipo de letra. Un artículo no debería exceder de 12 páginas, formato tamaño carta, letra Times New Roman, tamaño 11, a espacio sencillo, incluyendo tablas, figuras, apéndices y referencias bibliográficas. Las márgenes sugeridas son de 2.5 cm en todos los lados de

la página. Un artículo de 4 páginas o menos será considerado como nota técnica. Artículos de más de 12 páginas de longitud podrán ser considerados excepcionalmente.

Título. El título del manuscrito debe reflejar sin ambigüedades y en forma concisa el contenido y alcance del trabajo. Deben evitarse títulos de más de 20 palabras. Se sugiere escribir el título centrado, con un margen de 4 cm desde la parte superior de la página, en negrilla, letra Times New Roman tamaño 18.

Autores. Los nombres de los autores se deben escribir en negrilla, en letra Times New Roman, tamaño 16, centrados. Se debe incluir el primer nombre del autor, la inicial de su segundo nombre si aplica, y el primer apellido completo. Debajo de cada nombre debe aparecer la afiliación de cada autor, consistente en la facultad, escuela, institución, empresa u organización a la que pertenezca el autor, incluyendo su dirección y su correo electrónico. La afiliación de cada autor se escribe en letra Times New Roman, tamaño 11 y no va en negrilla. Debe identificarse con un superíndice al autor corresponsal, quien tendrá comunicación con el editor de la revista y con los lectores en caso de preguntas y requerimientos. Se sugiere no incluir los títulos académicos ni los cargos ocupados por los autores dentro de su afiliación.

Resumen y abstract. El resumen debe presentar los objetivos y el alcance del trabajo, al igual que sus principales resultados y conclusiones. El abstract debe ser la versión fiel en Inglés del resumen. Tanto el abstract como el resumen no deben contener más de 150 palabras. El resumen se debe escribir en letra Times New Roman, tamaño 10 y el título **"Resumen"** ajustado al margen izquierdo, en la misma letra, tamaño 12.

Palabras clave y Keywords. Se pueden incluir hasta 7 palabras clave a continuación del resumen, cada una con un máximo de 3 palabras. Las mismas palabras clave se reproducen en Inglés después del abstract.

Texto principal. Generalmente los artículos de investigación científica y tecnológica deben contener las siguientes secciones o sus equivalentes:

1. Introducción
2. Metodología
3. Resultados y discusión
4. Conclusiones

Cada una de estas secciones puede contener subsecciones, las cuales deben numerarse de acuerdo con el número de la subsección. Por ejemplo, podrían existir las secciones **2.1, 2.2, 2.2.1, 2.2.2 y 2.3** en la metodología. Se recomienda, sin embargo, no sobrepasar de dos niveles de numeración. Los títulos de las secciones se deben escribir en el borde izquierdo de la página, en letra Times New Roman, tamaño 12, en negrilla. Las subsecciones se escriben en forma semejante, pero en tamaño 11. El texto principal se debe escribir en Times New Roman tamaño 11. El texto principal puede contener un ***Apéndice***, el cual comprende elementos no esenciales para la lectura del texto principal, pero que podrían aclarar aspectos importantes a lectores que lo requieran, como por ejemplo demostraciones de teoremas, códigos de programa, aclaraciones, tablas secundarias, etc. Igualmente, el texto principal puede contener una sección de ***Agradecimientos***, inmediatamente después de las conclusiones (o de los apéndices si existen). La posición relativa de estos elementos es la siguiente: ***Conclusiones***, ***Apéndice*** (si lo hay), ***Agradecimientos*** (si los hay) y ***Referencias Bibliográficas.***

Ecuaciones. Las ecuaciones deben aparecer centradas en el texto principal y deben identificarse secuencialmente con números entre paréntesis ajustados en el margen derecho. Las ecuaciones deben ser lo más clara posibles y todos sus componentes y variables deben estar definidos en el cuerpo

principal del artículo cuando se presentan por primera vez.

Tablas. Por motivos de diagramación, las tablas no se deben incluir en el texto principal, sino que se deben anexar al final, después de las referencias bibliográficas, utilizando una tabla por página. Las tablas se deben identificar en la parte superior con el título **"Tabla X"**, donde X es el número consecutivo de la tabla, seguido de su descripción de la manera más breve pero más informativa posible, todo escrito en negrilla, en el mismo tamaño y tipo de letra que los del texto principal. No deben utilizarse líneas verticales en la tabla y los números deben ser alineados y uniformes en la cantidad de cifras decimales que presentan.

Figuras. Al igual que las tablas, las figuras se anexan al final del documento, una por página. Las figuras se identifican en forma semejante a las tablas, pero su título se escribe en su parte inferior. Todas las figuras deben ser en blanco y negro y deben ser de una calidad tal que se conserve su claridad y legibilidad aún al reducirlas al formato de la revista.

Referencias bibliográficas. La identificación de las referencias a lo largo del texto principal se debe hacer por el apellido del primer autor y el año de publicación entre paréntesis. Si un mismo autor tiene más de una publicación en el mismo año, deben distinguirse con letras a, b, c, etc. Por ejemplo: Pérez (2003a). Si una referencia es de tres autores o más, se utiliza la abreviatura et al. Por ejemplo, Ramírez et al. (2006).

La lista de referencias debe estar ordenada alfabéticamente por el primer autor, teniendo el año como segundo criterio de ordenamiento. Debe existir una correspondencia uno a uno entre las referencias citadas en el artículo y las referencias listadas al final. A continuación se da un ejemplo del formato de cada tipo de referencia, incluyendo las letras en ***Itálica*** requeridas:

Artículos: Chi, Hoi-Ming, O. K. Ersoy, H. Moskowitz y J. Ward (2007). Modeling and optimizing a vendor managed replenishment system using machine learning and genetic algorithms. *European Journal of Operational Research* 180 (1), 174-193.

Libros: Montgomery, Douglas C., L. A. Johnson y J. S. Gardiner (1990). *Forecasting & Time Series Analysis,* segunda edición, McGraw-Hill, Inc., New York.

Capítulos de libros con editores: Shapiro, Jeremy F. (1993). Mathematical Programming Models and Methods for Production Planning and Scheduling. In: G.L. Nemhauser, S.C. Graves, A.H.G. Rinnooy Kan, and P.H. Zipkin (editores), *Logistics of Production and Inventory, (Handbooks in Operations Research and Management Science),* North-Holland, Amsterdam,(Chapter 8), 371-443.

Ponencias en congresos: Macro, Joseph G. y R.E. Salmi (2002). *A Simulation Tool to Determine Warehouse Efficiencies and Storage Locations*. In: Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, San Diego, USA, 1274 -1281.

Proyectos y tesis de grado: Bräysy, O. (2001). *Local search and variable neighborhood search algorithms for the vehicle routing problem with time windows.* Doctoral Thesis, Department of Industrial Engineering, University of Vaasa, Finland.

Fuentes de Internet: Swain, James J. (2007). *Finding a Path in an Uncertain World*. Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS): Statistical Software Análisis Survey. http:// lionhrtpub.com/orms/orms-207/frsurvey.html