

**PUSH PRODUCTION SYSTEM SIMULATION USING DISCRETE EVENTS:
MEDICATIONS PRODUCTION CASE****SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN PUSH POR EVENTOS
DISCRETOS: CASO DE PRODUCCIÓN DE MEDICAMENTOS****Msc. Hugo Fernando Castro Silva, Ing. Carlos Arturo Parra Ortega****Universidad de Pamplona**

Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia.

Tel: 57-7-5685303, Fax: 57-7-5685303 Ext. 156

{hcastro, carapa}@unipamplona.edu.co

Abstract: A fundamental aspect of the production systems is the measure of its performance. To obtain a measure, it is frequently appealed to mathematical models, but as a production system is of certain complexity, such as in the quantity of products and in the inputs that it uses, these models don't exist or they are difficult to deduce. For such a reason it is appealed to the production systems simulation. In this paper a push type production system is simulated, using discrete events as they are in the nets of lines, and from real data provided by a company of the pharmaceutical area.

Resumen: Un aspecto fundamental de los sistemas de producción es la medida de su desempeño. Para obtener una medida, se recurre frecuentemente a modelos matemáticos, pero a medida que un sistema de producción es de cierta complejidad, tanto en la cantidad de productos como en los insumos que utiliza, estos modelos no existen o son difíciles de deducir. Por tal motivo se recurre a la simulación de sistemas de producción. En este artículo se simula un sistema de producción de tipo push, utilizando un enfoque de eventos discretos como lo son las redes de colas, y a partir de datos reales proporcionados por una empresa del área farmacéutica.

Keywords: Push production system, Discrete events systems, Lines reds, Simulation.

1. INTRODUCCIÓN

Para mantener la competitividad en las líneas de fabricación es necesario conocer la utilización de sistemas de control de inventarios adecuados que aseguren un correcto funcionamiento de las mismas. Para empresas pequeñas, que son muy sensibles a cambios bruscos de demanda, se utiliza una política de control denominada *push*.

Los modelos construidos y simulados en este trabajo tratan de reproducir diferentes situaciones y complejidades con las que se encuentran las empresas en sus líneas de producción, particularmente con empresas del área farmacéutica. En la sección 2 se presentan los elementos de la simulación de inventarios y la esencia del sistema *push*.

Para comprobar el comportamiento del sistema se han utilizado medidores de producción tales como la producción total realizada (denominada *Throughput*) y los niveles de inventario en el sistema. La descripción de la empresa farmacéutica, el proceso de producción y los datos que proporcionó se presentan en las secciones 3,4 y 5 respectivamente. En la sección 6 se muestra la descripción del modelo como un sistema de eventos discretos. Para la simulación se ha utilizado el lenguaje de simulación GLIDER y se exponen sus resultados. Finalmente, en la sección ocho se exponen una serie de conclusiones obtenidas a partir de este trabajo.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. Sistemas de Control de Producción. Existen diversos sistemas para planear y controlar la producción en empresas de manufactura, como se resume en [Blanco, 2001], [Framiñan, 2000] y [Framiñan, 2001]. Por un lado tenemos el sistema *Pull*, inventado por Taiichi Ohno, cuya filosofía principal consiste en que el cliente “hala” el sistema de inventarios por medio de la demanda. Este sistema se basa en dos ideas: el *JIT* (justo a tiempo) y la automatización con operarios incluidos.

La producción resulta entonces en un flujo continuo de productos en proceso, de modo que el producto que fluye toma las partes necesarias en cada operación, y cuando se van consumiendo, se hacen pedidos a proveedores, proporcionando buenos resultados en cuanto a costos. Según [Monden, 1983], no es fácil de aplicar en los casos en que se obtiene un porcentaje alto de rechazos, existen tiempos de cambio de modelo (setup), órdenes de trabajo con tiempos de proceso muy breves o cuando la demanda fluctúa periódicamente.

Otro sistema de control es el *Push*, creado por Joseph Orlicky por medio de un sistema de información *MRP* (*Material Requirements Planning*), que aprovechó las bases de datos para diseñar una forma de calcular inventarios de productos con demanda dependiente, incluyendo al tiempo como variable en el sistema. La filosofía de este sistema consiste en que la producción “empuja” al sistema de inventarios. Un inconveniente de este sistema consiste en el aumento en el costo de almacenamiento de los productos, lo que incrementa su costo unitario de producción.

2.2. Modelos de Inventarios. A partir de estudios realizados en el campo de la investigación de operaciones, se han desarrollado modelos matemáticos del comportamiento de los inventarios en el tiempo [Law, 2000]. Sea $I(t)$ el nivel de inventarios en el tiempo t , $I^+(t)$ la cantidad de elementos físicamente disponible en t , donde $I^+(t) = \max \{I(t), 0\}$ y sea $I^-(t)$ el faltante en el tiempo t , se calcula como $I^-(t) = \max \{-I(t), 0\}$. Estos inventarios tienen costos asociados por bodegaje, relacionados con seguros, impuestos, salario del bodeguero, así como el costo de oportunidad de tener capital en inventarios, en lugar de invertirlos en otra actividad. Una forma de calcular la actividad promedio de elementos durante un período de n meses es:

$$I^+_{promedio} = \frac{\int_0^n I^+(t) dt}{n}$$

Luego el costo de almacenamiento es $h I^+_{promedio}$, donde h es un coeficiente que se considera constante. Por otra parte, el costo del faltante se traduce en una venta que se deja de hacer. Si se tiene la expresión del faltante promedio durante un período de n meses, se puede calcular el costo de ventas que no se hicieron. La expresión que promedia es la siguiente:

$$\bar{I}_{promedio} = \frac{\int_0^n \bar{I}(t) dt}{N}$$

El costo de ventas perdidas es $k \bar{I}_{promedio}$, donde k es un precio. Este modelo adquiere complejidad en la medida en que la organización maneje varios productos terminados, y además su demanda sea estocástica. Es decir, la función $I(t)$ es probabilística y no se sabe con certeza como variará en el siguiente valor de t . Es más complejo aún el modelo cuando la reposición de inventarios se lleva a cabo por medio de la manufacturación, ya que a su vez disminuirá los inventarios de los recursos utilizados, y así se convierte el sistema en una cadena de inventarios estocásticos.

Para estudiar esta cadena de inventarios estocásticos es muy difícil recurrir a un modelo matemático. En su lugar, se realizan estudios de simulación donde se reemplazan las demandas por distribuciones estadísticas, y se les asigna un criterio de tamaño a los lotes de producción y de compra de insumo.

Este documento mostrará mas adelante como se llevó a cabo un estudio de simulación para un sistema de control de producción tipo *push*.

2.3. Modelos de redes de colas. La especificación de un sistema orientado a eventos discretos, según el formalismo de redes de colas propuesto en [Banks, 2001], [Guasch, 2005] y [Law, 2000], consiste en representar los servidores donde se llevarán a cabo las actividades que se desarrollan en el sistema por medio de un conjunto de colas interconectadas. Los elementos que conforman un proceso de colas son:

- Las entidades temporales.
- Los recursos.
- El espacio de espera.

Un sistema de control producción de tipo *push* puede simularse como una red de colas especial, donde las entidades son los pedidos, a los cuales se les da atención y se les despacha el producto terminado. Usualmente no hay espacio de espera, ya que cada pedido se atiende tan pronto llega. La única manera en que ocurra una espera es cuando hay faltante, y se acumulan pedidos. Cuando el sistema es de manufactura *push*, hay tres redes de colas independientes, pero interconectadas entre sí: la red del pedido del cliente, la red del proceso de manufactura (reponer producto terminado) y la red de compras de insumo (para reponer insumos utilizados). Estas redes se relacionan por medio del intercambio de información, para indicar cuando generar una orden de producción o de compra. El entorno genera las demandas, las cuales se pueden comportar como variables aleatorias, tanto en el tamaño del pedido, como en el tiempo entre demandas.

2.4. Pasos en un estudio de simulación. Existen varias maneras de aplicar simulación para estudiar un sistema. Una propuesta para desarrollar un proyecto de simulación aparece en [Banks, 2001], y tiene los siguientes pasos: Formulación del problema y plan de estudio, Recolección de datos y definición del modelo, Validación del modelo, Construcción del programa y verificación, corridas piloto, validación, diseño de experimentos y análisis de salidas. Dado que *Mayprofarma* contribuyó con datos reales sobre demanda y producción, y además presentó una descripción del proceso de producción, el estudio de simulación se concentró en la predicción de eventos de producción y compra de insumos, dada una distribución de demanda por cada producto ofrecido. El análisis concluyó con la validación de las órdenes de producción reales contra los resultados de simulación.

3. BREVE HISTORIA DE MAYPROFARMA⁴ Y/O LABORATORIOS NOIPROCS LTDA.

MAYPROFARMA es una industria colombiana fundada en 1967, dedicada a la comercialización de productos farmacéuticos; Desde el año 1977 es productor con concesión de patentes y formulación de *LABORATORIOS NOIPROCS* de Holanda; Una vez terminada la concesión (1987) continúa la elaboración de sus productos con patentes registradas en Colombia. Es una Compañía dedicada a la *Fabricación y Comercialización de Productos Farmacéuticos para uso Humano*, dirigidos a mercados nacionales e internacionales.

La siguiente es su misión corporativa: “Desarrollar con nuestro equipo de trabajo calificado productos farmacéuticos encaminados a restaurar la salud del consumidor y garantizar la satisfacción de nuestros clientes, basados en procesos de calidad, contando con la infraestructura y tecnología necesaria y reconocida experiencia en el sector”

Actualmente cuenta con una planta de producción certificada en Buenas Prácticas de Manufacturas (*BPM*) por parte del Instituto Nacional de Vigilancia y Control de Medicamentos y Alimentos (*INVIMA*); además está próximo a recibir el certificado de calidad basado en la norma NTC ISO 9001:2000 por parte de Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (*ICONTEC*). Actualmente ofrece los productos que aparecen en la siguiente tabla:

Tabla 1. Productos ofrecidos por Mayprofarma y/o laboratorios Noiprocs Ltda.

NOMBRE PRODUCTO	PRINCIPIO ACTIVO
Ondafen Jarabe	Acetaminofén
Kataronex Jarabe	Dextrometorfano Bromhidrato
Tricalcio suspensión	Fosfato de calcio tribásico y Vitamina D
Trimeba 125 mg. Suspensión	Metronidazol
Trimeba 250 mg. Suspensión	Metronidazol
Obokon gotas pediátricas	Sulfato ferroso y Multivitaminas

⁴ Empresa farmacéutica que produce medicamentos líquidos, y que facilitó los datos para desarrollar la simulación.

4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO⁵.

El proceso se esquematiza en la figura 1, y se resume a continuación. Los insumos utilizados en el proceso de fabricación se reciben e inspeccionan, luego pasan a control de calidad donde se examina una muestra de ellos. Si no pasan el control son rechazados, por el contrario, los insumos que pasan el control son rotulados y quedan almacenados, para ser utilizados cuando ocurra una orden de producción.

Para iniciar el proceso de fabricación, el personal del área sigue las instrucciones descritas en los procedimientos para el ingreso, pesaje de materias primas, ingreso de las materias primas al área de producción, manejo de los equipos, etc.

Las materias primas son dispensadas y llevadas al área de fabricación donde el producto a granel es elaborado por los Auxiliares de Producción bajo la supervisión del Jefe de Producción. Una vez se tiene el producto se analiza por Control de Calidad para su aprobación o reproceso. Si el producto cumple con las especificaciones, se autoriza continuar con el proceso de envasado, el cual es realizado por los Auxiliares de Producción.

El producto envasado pasa al área de Acondicionamiento donde es etiquetado y envasado por el Auxiliar de Empaque. Para la aprobación del producto terminado el Jefe de Control de Calidad toma las muestras para realizar una inspección final del producto antes de ser enviado a bodega. El producto final es llevado a la bodega de producto terminado donde es almacenado para su distribución y venta.

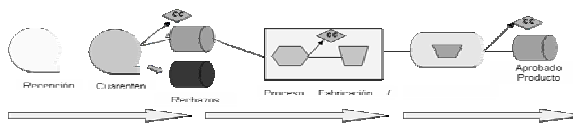


Fig. 1. Proceso general de producción en Mayprofarma.

Como se puede observar, es una empresa que utiliza los inventarios como un colchón de ajuste contra la falta de materiales, cambios bruscos en la demanda y paradas de las máquinas.

⁵ Tomado de documentación interna de Mayprofarma y/o laboratorios Noiprocs Ltda. Con autorización para publicar en órganos de difusión académicos.

5. ANÁLISIS DE DATOS DE ENTRADA

Una etapa sobre la que es necesario extenderse es el análisis de los datos recogidos. Básicamente se obtuvieron datos sobre demanda de producto terminado y la composición de cada producto. Con estos datos se construye una función de demanda estocástica para cada producto, y a partir de un punto de reorden, se generarán órdenes de producción para cada producto. Una relación de órdenes de producción reales también se obtuvo, para comparar con la salida de la simulación.

5.1. Composición del producto terminado. Cada producto ofrecido por laboratorio Mayprofarma tiene una composición determinada, y registrada en el Ministerio de Salud. En la siguiente tabla se muestra la composición de dos medicamentos: Ondafen Jarabe y suspensión Trimeba, cuya presentación final es de 100 mililitros por frasco. Como la capacidad en cada producción es de 300 litros, esto da como resultado un total de 3000 unidades de cada uno de estos medicamentos. Para calcular el consumo de los insumos utilizados, hay que multiplicar por 3000. Así, para producir 3000 unidades de Ondafen, se requieren 9 kg de Acetaminofén, su principio activo.

Tabla 2. Composición de Suspensión Trimeba y jarabe Ondafen⁶.

Trimeba suspensión x 250mg	100 ml
Clorhidrato de Prometazina	8000 mg
excipientes	
Azúcar	50000 mg
Glicerina USP	1600 mg
Sorbitol al 70%	4400 mg
Carboximetil celulosa sódica	200 mg
Goma tragacanto	100 mg
Polisorbato 80	300 mg
Sacarina sódica	10 mg
Metilparabeno	124 mg
Sabor piña	73 mg
Odafen Jarabe	100 ml
Acetaminofen	3000 mg
excipientes	
Propilen Glicol	35000 mg
Azúcar	34000 mg
Sorbitol	5000 mg
Metilparabeno sódico	100 mg
Propilparabeno sódico	10 mg
Saborizante Frambuesa	50 mg
Color rojo #3 CI 45430	17 mg

⁶ Datos tomados de Mayprofarma y/o laboratorios Noiprocs Ltda.

5.2. Ordenes de producción ejecutada. Para poder validar un modelo de simulación, hay que confrontar las órdenes de producción reales con las que genere la simulación, ya que los datos de entrada son la demanda y composición de cada producto terminado. Como supuesto de entrada al modelo, se va a suponer que en lo posible, se van a generar órdenes de producción de acuerdo con la capacidad máxima de la fábrica, que es de 300 litros de medicamento. La siguiente tabla resume los datos reales de producción. Contra los cuales se comparará la salida de simulación. La escala temporal inicia el 01/08/2003, y se cuenta en días.

Tabla 3. Producción de productos terminados

Productos terminados			
Tiempo	Kataronex	Trimeba125	Trimeba250
1	3000		
22		3000	
24			3000
63			
213			
239			
292			
294		2500	
299			1500
366			
371	3000		

Productos terminados			
Tiempo	Obokon	Odafen	Tricalcio
1			
22			
24			
63	300		
213		1000	
239	150		
292			1500
294			
299			
366	250		
371			

5.3. Demanda de producto terminado. Según los datos proporcionados por el laboratorio, las ventas durante un período de año y medio se resumen en la siguiente tabla, donde en cada columna hay un producto, y en las filas está la demanda del mes correspondiente. Esta demanda puede corresponder a una distribución estadística.

Tabla 4. Demanda mensual Obokon x 100 ml.

Obokon x 100 ml	
2003	
Jul	373
Ago	327
Sep	317
Oct	388
Nov	429
Dic	30

2004	
Ene	204
Feb	382
Mar	396
Abr	106
May	406
Jun	369
Jul	423
Ago	177
Sep	286
Oct	174
Nov	343
Dic	48

Al examinar los diferentes procesos aplicando pruebas estadísticas específicamente Kolmogorov-Smirnov y Chi-cuadrado, se pudo constatar que no se puede descartar que la mayoría de datos analizados se comporten como variables aleatorias uniformes.

6. MODELADO COMO UN SISTEMA DE EVENTOS DISCRETOS.

El sistema de producción de Mayprofarma tiene las siguientes entidades definidas: Producto terminado e Insumos. El producto terminado circula en dos ciclos diferentes: el ciclo de demanda de los clientes y el ciclo de producción de la empresa. Los insumos intervienen a su vez en el ciclo de producción y en el ciclo de compras de materia prima.

Estos ciclos se representan por medio de una red de nodos, según la metodología propuesta por [Law, 2000]. La red de nodos se conforma por un nodo para cálculos estadísticos y tres ciclos de entrada-recurso-salida: el ciclo de demanda de los clientes, el ciclo de fabricación de producto terminado y el ciclo de las compras de insumos. Dadas las características intrínsecas de la planta, muy difícilmente se van a presentar colas en la atención de los clientes, en la fabricación y en la compra de insumos.

El ciclo de pedidos tiene los siguientes nodos: **pedidos**, que es el nodo de tipo *Input* (originador de eventos), y con capacidad 6, por cada uno de los productos que solicitan los clientes al laboratorio. Así, **pedidos(1)** corresponde a los pedidos que hacen los clientes sobre gotas obokon, **pedidos(2)** a jarabe kataronex, y así sucesivamente. Este nodo se activa cada 30 días, indicando que durante ese período va a ocurrir una demanda aleatoria diferente para cada producto. El mensaje que circula por este ciclo tiene como campo principal el tamaño del pedido.

Cada vez que se genera una nueva venta, se descuenta la cantidad pedida de las existencias del producto, de manera que si estas existencias disminuyen más allá de cierto valor, se activará inmediatamente el ciclo de fabricación del producto correspondiente. Del pedido se llega al nodo **atención de pedidos**, que es un nodo de tipo *Resource*, con capacidad 6, y la permanencia en este nodo es de dos días aproximadamente, tiempo que toma como promedio el despacho del producto demandado. De la atención de pedidos se llega al nodo **despacho**, de tipo *Exit*, y que simboliza el despacho del producto al cliente.

El ciclo de fabricación se activa cuando descienden mucho las existencias de un producto determinado, generalmente los de mayor demanda. Tiene un nodo de tipo *Input* que se llama **Orden**, y es de multiplicidad seis, una para cada producto. En este nodo se calcula el tamaño del lote, que según políticas del laboratorio, corresponde a la capacidad máxima del mezclador: 300 litros. Entonces habrá consumos de materia prima de acuerdo a la composición del medicamento. El nodo sucesor se llama **fábrica**, es de tipo *Resource* con multiplicidad seis. En este nodo las existencias aumentarán por el tamaño del lote producido, y se pasará al nodo **bodega**, luego de dos unidades de tiempo, este nodo es de tipo *Exit* y de capacidad seis. En la figura 2 se pueden apreciar las relaciones entre estos nodos. El campo del mensaje que circula por este nodo representa la cantidad de unidades producidas.

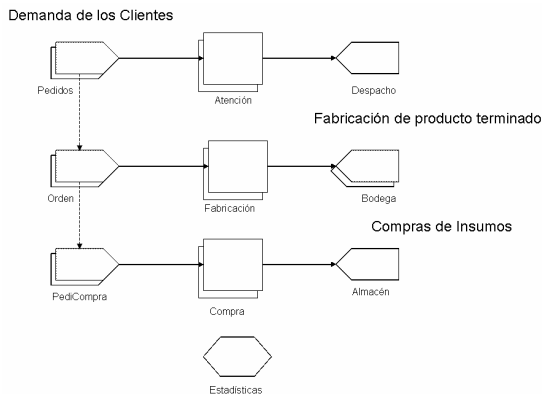


Fig. 2. Red de Eventos discretos

El ciclo de compras se activa en el orden de producción, siempre y cuando las existencias de los insumos desciendan más allá de cierto nivel. Por el momento se considera la materia prima como imperecedera, o sea que no hay que desechar los insumos si no ocurren órdenes de producción, o como recurso de existencia infinita, como es el caso del agua purificada.

Los insumos de alta rotación se compran en cantidades de 1000 kilos, y en 20 kg los de baja rotación. Existe un nodo de tipo *Input* con multiplicidad 30, una para cada tipo de insumo. De este nodo se pasa al nodo de tipo *Resource* denominado **compra**, también con capacidad 30. En este nodo se actualizan las existencias de insumos de acuerdo al tamaño de la compra. Luego se llega al nodo **almacén**, el cual representa el bodegaje de cada uno de los insumos que hayan sido comprados. Este nodo es de tipo *Exit*. El campo del mensaje que circula por estos nodos almacena el tamaño del lote de compra.

6.1. Lenguaje de simulación utilizado. Para llevar a cabo la simulación se seleccionó un lenguaje de simulación estándar, con el fin de concentrarse exclusivamente en la implementación del modelo. El lenguaje de simulación seleccionado es el Glider, desarrollado en la Universidad de los Andes (ULA) por el IEAC⁷ y CESIMO⁸. Las características que posee y que justifican su elección como lenguaje de simulación son [3]:

- El sistema a simular lo descompone en subsistemas (nodos dentro de una red) de manera que facilita la codificación de manera modular. Funciona tanto en sistemas continuos como discretos.
- Dispone de una variedad de formas de presentar resultados, como lo son reportes estadísticos, archivos de traza personalizados y gráficos.
- La transformación de la información se describe con código pascal, asociado a cada nodo y fácil de entender.
- El intercambio de información entre nodos se presenta de diversas maneras: como intercambio de mensajes o como valores en variables globales. De esta manera se facilita programar un sistema de inventarios.

Además de las estadísticas intrínsecas de Glider, también se va a guardar en un archivo de texto la evolución de las existencias de los seis productos ofrecidos por el laboratorio, y también la relación de compras de los insumos necesarios. Estos archivos se pueden graficar de acuerdo a los requerimientos del analista de simulación.

⁷ Instituto de Estadística Aplicada – Facultad de Ciencias Económicas y Sociales. ULA.

⁸ Centro de Simulación y Modelado – Facultad de Ingeniería. ULA.

7. RESULTADOS OBTENIDOS Y ANÁLISIS

Varias corridas se hicieron sobre el modelo propuesto, y los datos tienden a comportarse de la misma manera. El horizonte de simulación se tomó con 600 días, es decir, un período de dos años y medio. Se analizaron resultados sobre tres productos, de los cuales se muestra la gráfica en la figura 3. Se observa que según las existencias en el día 0 (inicio de simulación), algunos productos exhiben una orden de producción, y otros alcanzan a colocar dos órdenes de producción, con un espaciamiento similar al de los datos de producción proporcionados por mayprofarma. Para estos tres productos, hay órdenes de producción de 300 litros a los días 30 (2), 150 y 390. Los datos reales que proporcionó la empresa farmacéutica registraron órdenes de producción en los días 1, 22, 24, 294 y 370 para esos mismos productos. Aunque hay que destacar dos cosas: no siempre se produjo al máximo de la capacidad instalada, y la orden de producción podía ser cualquier día, no al final del período como se mostró en la simulación. Sin embargo, el comportamiento de los eventos de orden de producción fue similar.

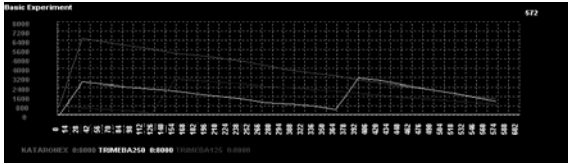


Fig. 3. Seguimiento del inventario de ataronex, Trimeba x 125 y Trimeba x 250.

La siguiente tabla también resulta de la ejecución del modelo, y resume la cantidad de órdenes de producción generadas durante los 600 días. También se incluye la salida de un archivo texto donde se muestra la evolución del inventario durante ese período. Los insumos que más se utilizan en todos los productos son los que registran órdenes de producción. Estos son el Clorhidrato de promhexina (Número de índice 1), el colorante rojo (7), sorbitol (11) y fosfato de calcio (27).

Tabla 5. Resultados de una corrida de simulación

```
Basic Experiment
Time 600.00 Time Stat. 600.00 Replication 1
16/11/2005 22h 48m 39s
Elapsed time 0h 0m 1.392s
Nod/Ind Ant/Li #Ent Lgth Max Mean Dev MaxSt
MeanSt Dev T.Free
ORDEN
1 # Gen. 0
2 # Gen. 2
3 # Gen. 1
```

```
4 # Gen. 2
5 # Gen. 2
6 # Gen. 0
FABRICA
1 IL 0 0 0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 600.000
2 IL 2 0 1.667-2 0.08138 2.00000 1.00000
1.73205 596.000
3 IL 1 0 1.333-2 0.05764 2.00000 0.0 2.00000
598.000
4 IL 2 0 1.667-2 0.08138 2.00000 1.00000
1.73205 596.000
5 IL 2 0 1.667-2 0.08138 2.00000 1.00000
1.73205 596.000
6 IL 0 0 0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 600.000
PEDCOMPRA
1 # Gen. 1
7 # Gen. 2
11 # Gen. 1
27 # Gen. 1
```

```
Ondafen
time
cant
# 1
2.0 1012
32.0 931
62.0 828
92.0 769
122.0 651
152.0 558
182.0 491
212.0 409
242.0 306
272.0 1244
302.0 1136
332.0 1078
362.0 1019
392.0 946
422.0 856
452.0 734
482.0 618
512.0 503
542.0 392
572.0 297
```

Lo que se puede observar es que la capacidad productiva de la empresa permanece ociosa la mayor parte del período (12 días de 600), debido al enfoque de producción utilizado, combinado con una demanda pequeña. En la medida en que se ofrezcan mayor cantidad de productos y ocurra mas demanda, será mas frecuente la utilización de la capacidad instalada.

8. CONCLUSIONES

Los sistemas de inventario de mediana complejidad, donde la función de demanda es aleatoria, tanto en cantidad como en período, y a su vez jalona órdenes de reposición de producto terminado y materia prima, se pueden estudiar mejor ejecutando un modelo de simulación, ya que su análisis matemático es difícil o no existe una fórmula que permita su manipulación algebraica.

La aplicación de un modelo de simulación facilitó una mejor comprensión del fenómeno del comportamiento de varios productos terminados afectando a varios insumos. Esta relación matricial muchos a muchos es difícil de obtener matemáticamente, sin embargo, su facilidad de simulación puede ser muy útil para establecer pronósticos de inventarios a corto plazo.

Se pudo aplicar un modelo de redes de colas a un problema de producción, donde la atención no se enfoca en la cola en sí, sino en la evolución del inventario de artículos dentro de un sistema de control de producción de tipo push. Además, el uso de un lenguaje de simulación facilitó la labor de modelado, ya que permitió concentrarse en el modelo de redes de colas solamente, y no en detalles de implementación.

A pesar de que se estableció un pronóstico del comportamiento de inventarios de producto terminado y de insumos dentro de una organización, se hace necesario ampliar con un estudio de costo de producción, y comparar con un sistema de control de producción de tipo pull, para averiguar si es factible en empresas farmacéuticas con demanda reducida pero muy variable.

REFERENCIAS

- Banks, J.; Carson, J.; Nelson, B. Nicol, D. Discrete-Event System Simulation. Editorial Prentice-Hall. 2001.
- Blanco, Luis E.; Fajardo, Ivan. Simulación con Promodel. Casos de producción y logística. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Mayo de 2001.
- Cesimo & Ieac. Glider Reference Manual, version 4.0. Universidad de los Andes. August, 1996.
- Framiñán, J.M., Ruiz-Usano, R., Leisten, R. "Input control and dispatching rules in a dynamic CONWIP flow-shop". *International Journal of Production Research*. 2000, 38, pp. 4589-4598
- Guasch, A.; Piera, M.; Casanovas, J.; Figueras, J. Modelado y Simulación: aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios. Editorial Alfaomega - Universitat Politècnica de Catalunya. Enero 2005.
- Law, A.; Kelton, D. Simulation Modeling and Analysis. Third Edition. McGraw-Hill, June 2000.
- Monden, Y. Toyota Production System: practical approach to management. Industrial Engineering and Management Press. Norcross. 1983.
- Ruiz, R.; Framiñán, J.; Crespo, A.; Muñoz, M. Sistema de Control Push-Pull: Un estudio comparativo. Rev. Escuela Superior de Ingenieros. Universidad de Sevilla. 2001.