



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



CONSTRUCCIÓN DE MODELOS DE SIMULACIÓN PARA EVALUAR SECUENCIAS DE PRODUCCIÓN.

Tutor Académico:

ING. JIMÉNEZ B., Manuel E.

Realizado por:

FERRER A., Isabel I.

CI: 17.173.690

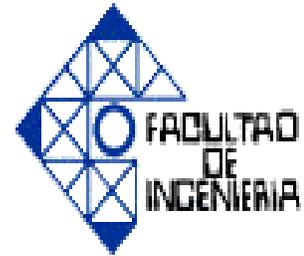
SUCHENI R., Edgar A.

CI: 17.066.078

Bárbula, Octubre de 2008



UNIVERSIDAD DE CARABOBO.
FACULTAD DE INGENIERÍA.
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL.



CONSTRUCCIÓN DE MODELOS DE SIMULACIÓN PARA EVALUAR SECUENCIAS DE PRODUCCIÓN.

Trabajo Especial de Grado presentado ante la Ilustre Universidad de Carabobo para
optar por el título de Ingeniero Industrial.

Tutor Académico:

ING. JIMÉNEZ B., Manuel E.

Realizado por:

FERRER A., Isabel I.

CI: 17.173.690

SUCHENI R., Edgar A.

CI: 17.066.078

Bárbula, Octubre de 2008



UNIVERSIDAD DE CARABOBO.

FACULTAD DE INGENIERÍA.

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



CONSTRUCCIÓN DE MODELOS DE SIMULACIÓN PARA EVALUAR SECUENCIAS DE PRODUCCIÓN.

AUTORES:

Br. Ferrer A. Isabel I. CI: 17.173.690

Br. Sucheni R. Edgar A. CI: 17.066.078

TUTOR: Ing. Jiménez B. Manuel E.

AÑO: 2008

RESUMEN

La investigación tiene como finalidad determinar la secuencia de producción utilizando como herramienta la simulación. El estudio está basado en teoría de simulación de sistemas, secuencia de producción, empresas que empujan y halan la producción con estructuras FLOW SHOP y JOB SHOP. Se exponen las debilidades de los métodos analíticos que determinan la secuencia de producción, para incluir algunas de estas en la investigación, es decir los modelos se construyeron solventando una de las deficiencias de los métodos analíticos para determinar la secuencia de producción con el fin de que el sistema se asemeje más a la realidad. Se construyen modelos de simulación incluyendo como variables aleatorias los tiempos de puesta punto y los de procesamiento, se verifican los modelos y se evalúan los resultados. Como herramienta para la construcción y corrida de los modelos se utilizó el programa Arena. Para la determinación de la secuencia de producción se utilizó como función objetivo maximizar el nivel de servicio al menor costo posible. Luego de evaluar las secuencias propuestas en los cuatro modelos FLOW SHOP se eligió para cada modelo aquella que arrojó el mejor nivel de servicio al menor costo; para el modelo JOB SHOP igualmente se eligió la regla de prioridad que arrojó el mejor nivel de servicio.

PALABRAS CLAVES: Secuencia, Producción, Simulación, FLOW SHOP, JOB SHOP.

INTRODUCCIÓN

La determinación de la secuencia de producción en una empresa es un aspecto muy importante dentro de la planificación de la producción ya que esta como establecimiento de las prioridades de paso de los pedidos en los diferentes centros de trabajo es la que hace cumplir o incumplir con las fechas de entrega planificadas, empleando o no la menor cantidad de inventarios y recursos, es por eso que tener una buena secuencia resulta vital para las empresas ya que conlleva a mejorar el nivel de servicio. Al lograr determinar de manera más rápida la secuencia de producción y con una perspectiva más cercana a la realidad se podrá satisfacer mejor las necesidades de los clientes.

Por lo general las empresas, pueden determinar la secuencia de producción, utilizando métodos analíticos, sin embargo estos tienen algunas deficiencias tales como, los métodos resultan bastante complejos cuando aumentan los pedidos o los centros de trabajo, no toman como aleatorias variables importantes como el tiempo de puesta punto y los tiempos de procesamiento situación que si ocurre en la realidad, entre otras.

Esta investigación tiene como fin construir modelos de simulación por medio de los cuales se pueda determinar la secuencia de producción bajo escenarios de empresas que empujan o halan la producción con estructuras FLOW SHOP y JOB SHOP, incorporando como variables aleatorias los tiempos de puesta punto y los de procesamiento, buscando así un escenario que se ajuste mejor a la realidad, con el fin de obtener la secuencia de producción que proporcione un nivel de servicio satisfactorio, evitando aumentar los costos diarios por almacenamiento de los productos.

Este Trabajo Especial de Grado se encuentra dividido en cinco capítulos, el capítulo I, presenta el problema, el cual contiene el objetivo general y los objetivos específicos, así como la justificación, el alcance y las limitaciones; en el capítulo II,

se presentan los antecedentes de la investigación, el marco teórico y metodológico; el capítulo III, muestra dos modelos que evalúan la secuencia de producción, trabajan empujando la producción, bajo una estructura FLOW SHOP; el capítulo IV, presenta al igual que en el capítulo anterior dos modelos que evalúan la secuencia de producción, trabajan halando la producción a través de un kanban y su estructura es FLOW SHOP; y finalmente el capítulo V, expone tres modelos que determinan la secuencia de producción por medio de tres reglas de prioridad, y además trabaja con una estructura JOB SHOP. Por último se presentan las conclusiones obtenidas durante la investigación.

CAPITULO I
EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según Calderon (s/f), la cadena de suministros es el proceso en el cual se integran las funciones del proveedor, fabricante, cliente, distribuidor y el detallista para llevar a cabo un proceso productivo mediante la información, y el movimiento de recursos y/o bienes. Es decir, la cadena de suministros abarca a partir del proveedor del proveedor hasta el cliente del cliente, más específicamente desde las áreas de mercadeo, ventas, investigación y desarrollo, pronósticos, producción, almacenamiento, transporte, compras, logística, sistemas de información, finanzas hasta servicio al cliente.

En una cadena de suministro, el flujo de información es vital para poder entregar los insumos en el momento adecuado, tanto para no parar líneas de producción, como para tampoco crear un excedente de inventario y de esta forma, entregar a tiempo el producto terminado al cliente final.

Los sistemas de producción son parte esencial de la cadena de suministros, ya que son el proceso específico por medio del cual los elementos se transforman en productos útiles.

Según Joines, Barton, et al (2000), las operaciones de producción, tienen el potencial de fortalecer o debilitar las habilidades competitivas de las empresas. Sin embargo, debido a una fuerte competencia y unos márgenes de seguridad decrecientes en los negocios, la eficiente y consolidada operación de producción se convierte en una necesidad para la supervivencia de las empresas en el mercado actual. Es por esta razón que prever la realización de la producción ha sido el principal interés de los Ingenieros.

Los sistemas de producción se encuentran afectados por diferentes aspectos, como lo son: la demanda o los pedidos de los clientes, las materias primas y proveedores, el volumen de producción, la mezcla y su posterior

secuencia. Estos aspectos influyen directamente en la elaboración del producto, motivo por el cual un error en cualquiera de estos puntos generaría problemas o deficiencias en el sistema.

Parte del sistema de producción es el programa de operaciones el cual está encargado de establecer prioridades entre los pedidos a desarrollar, ordenándolos por estaciones de trabajo. La función de este programa es determinar que operaciones se van a realizar sobre los distintos pedidos, durante cada momento, en cada estación de trabajo, de forma que con la capacidad disponible de cada uno de ellas se cumplan las fechas de entrega planificadas, empleando la menor cantidad de recursos posibles.

Una vez que se ha concretado, revisado y autorizado este programa de operaciones; es cuando se procede a la confección del pedido, que contendrá toda la información precisa sobre el mismo: producto, cantidad, ruta que ha de seguir, materiales a obtener del almacén, entre otros. Entonces es requisito que para complemento y fluidez del programa de operaciones es necesario un producto, una explosión de materiales, un volumen de producción, una mezcla y establecer una adecuada secuencia de producción, entre otras cosas.

La secuencia como establecimiento de las prioridades de paso de los pedidos en las diferentes estaciones de trabajo para cumplir con las fechas de entrega planificadas con la menor cantidad de inventarios y recursos, es una de las partes más importantes del programa de operaciones.

Las decisiones de secuencia de producción se valen de métodos analíticos para su determinación, sin embargo estos tienen algunas deficiencias como por ejemplo: los métodos resultan bastante complejos cuando aumentan los pedidos o los centros de trabajo, métodos que parten de la hipótesis de que es indiferente la fecha de conclusión de cada lote, lo que supone un problema si las fechas de entrega planificadas entre pedidos son diferentes y la ordenación resultante pueda

hacer que se incumplan las fechas de entrega de algunos pedidos. La natural complejidad de variables como los tiempo de procesamiento de cada unidad, los tiempos de puesta a punto de las máquinas, el sistema de producción (Halar, Empujar), la estructura de la planta (FLOW SHOP, JOB SHOP); junto al comportamiento dinámico de los sistemas de producción crean valiosas pérdidas de información lo que ocasiona una visión parcial del problema real.

En la actual búsqueda del mejoramiento continuo de las empresas, se requiere un método que sin necesidad de modificar las condiciones en las que labora la empresa este se apegue lo más posible a la realidad, que admita un análisis profundo y detallado. Por ello, herramientas que permitan modelar esta complejidad se hacen relevantes y necesarias. Según García (2006), la simulación es una herramienta que hace posible conocer mejor el sistema en estudio, ya que permite evaluar diversos escenarios considerando variables aleatorias como lo son el tiempo de puesta punto de las máquinas y los tiempos de procesamiento de los ítems en las estaciones, además de visualizar su comportamiento a través del tiempo. Es por eso que con la simulación se pueden incluir las carencias expuestas por los métodos analíticos.

Con base en lo anterior se escogió hacer uso de la simulación para experimentar con secuencias de producción, con el fin de estimar cual seria la más adecuada, para proporcionar un buen nivel de servicio.

El propósito del presente trabajo es elaborar modelos de simulación que evalúen la secuencia de producción tomando en cuenta diferentes escenarios como por ejemplo un sistema de producción de halar, de empujar, estructuras FLOW SHOP o JOB SHOP, tomando en cuenta las variables aleatoria, tiempos de puesta a punto de las máquinas y tiempos de procesamiento de cada unidad en cada centro de trabajo, y así obtener una secuencia de producción que le permita a la empresa ofrecer el mejor nivel de servicio posible.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Construir modelos de simulación por medio de los cuales se pueda evaluar la secuencia de producción para seleccionar la más conveniente.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Estudiar las variables de interés que se presentan en un problema de secuencia según las diferentes configuraciones de producción.
- b. Desarrollar modelos de simulación para evaluar la secuencia en diferentes escenarios de producción.
- c. Verificar los modelos de simulación para asegurarse que son una buena representación del sistema.
- d. Analizar los resultados arrojados por el simulador para obtener la secuencia de producción que mejor se ajuste al caso en estudio.

1.3 ALCANCE

El trabajo está orientado a elaborar modelos de simulación que permitan evaluar secuencias de producción para las diferentes configuraciones: sistemas de halar o contra pedido, sistemas de empujar o contra inventario, estructuras FLOW SHOP y JOB SHOP.

En el caso particular de esta investigación la estructura FLOW SHOP trabajará con un máximo de diez pedidos, se elaboran cinco tipos de artículos, se trabaja con cinco centros de trabajo y a su vez cada uno posee solo un recurso, los tiempos de puesta a punto y procesamiento son variables aleatorias y se busca mejorar el nivel de servicio por medio de la holgura de los pedidos a fabricar;

mientras que en la estructura JOB SHOP se opera con un máximo de 25 pedidos en proceso y además 10 nuevos pedidos, trabaja con diez tipos diferentes de artículos, cinco centros de trabajo y al igual que en el caso anterior cada uno posee solo un recurso, igualmente los tiempos de puesta a punto y procesamiento son variables aleatorias y se busca obtener la secuencia que arroje mejor nivel de servicio.

1.4 LIMITACIONES

En el presente trabajo de investigación se tienen las siguientes limitaciones:

- a. El uso de la licencia arena esta sujeto a los horarios del laboratorio de la escuela de Ingeniería Industrial.
- b. La escasa bibliografía disponible en español del programa arena, para complementar la información que se requirió.

1.5 JUSTIFICACIÓN

El mercado de hoy en día no solamente debe competir ofreciendo buenos precios y una excelente calidad en los productos, sino que también hay que tomar en cuenta la maximización de los beneficios y el nivel de servicio de los clientes haciendo uso eficiente de los recursos solicitados por el proceso.

Una acertada secuencia de producción, facilita el cumplimiento de las fechas de entrega planificadas, para así ofrecer un mejor nivel de servicio al cliente y además permite reducir costos en el almacenamiento de producto terminado.

Es por ello que, la aplicación de esta tesis en un ámbito laboral usando la simulación como una herramienta para la determinación de la secuencia de producción ofrece una alternativa más precisa y confiable, ya que ésta entre otras cosas, toma en cuenta una de las debilidades de los métodos analíticos dispuestos, como lo son tomar en cuenta los tiempos de puesta punto y de procesamiento como aleatorios en lugar de constantes, haciendo más viable la respuesta de la secuencia de producción, la presentación visual que permite al usuario una alternativa más sencilla de hacer y ver las cosas, además de precisar menos simplificaciones.

Esta investigación resulta importante para la Universidad de Carabobo, ya que representa una contribución académica que fortalece la formación de nuevos investigadores principalmente en las áreas de: Producción y Simulación de Sistemas. Además de que este trabajo representa un avance en el conocimiento generado por los cambios dinámicos del entorno, y que complementa a los métodos analíticos, los cuales no perciben parte de los problemas que abarca la secuencia de producción; como por ejemplo: la indiferencia en las fechas de culminación de cada lote, consideran como parámetros constantes los tiempos de puesta punto y de procesamiento, y el arduo trabajo que ocasionan estos métodos cuando se aumentan el número de pedidos o cuando se aumentan los centros de trabajo.

Este trabajo de investigación significa para los autores la integración de los conocimientos adquiridos en diferentes materias a lo largo de su formación académica tales como: Métodos Estadísticos, Plantas Industriales, Producción I, Producción II y Simulación de Sistemas. Además representa el último requisito para la obtención del título de Ingeniero Industrial en la Universidad de Carabobo.

CAPITULO II
MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Existen trabajos relacionados con este proyecto, que sirven como bases teóricas, algunos de los cuales se mencionan a continuación:

Fernández y Martínez (2007), **“DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE UNIDADES DE TRANSPORTE NECESARIAS PARA SATISFACER LA DEMANDA DE ESTUDIANTES EN LAS RUTAS: CENTRO-UC Y UC-CENTRO DE LA UNIVERSIDAD DE CARABOBO.”**

Se realizó un estudio de las Rutas Centro-UC y UC-Centro del sistema de transporte de la Universidad de Carabobo, con la finalidad de satisfacer de una mejor manera la demanda de estudiantes que se trasladan en dichas rutas. Una vez seleccionadas las variables de estudio, se analizó estadísticamente su comportamiento para incluirlas en el modelo construido el cual se simuló con la ayuda del paquete de simulación ARENA. Se generaron diferentes propuestas de mejora, seleccionando así una combinación de autobuses con una política de trabajo distinta a la actual; lo cual aumenta el nivel de servicio hasta un 90,56% y permite disminuir los tiempos en cola y la cantidad de estudiantes en cola en aproximadamente un 70%.

La importancia de éste trabajo para la presente investigación es la utilización de la simulación con el programa Arena, además de proporcionar bases teóricas para la elaboración de la investigación.

Castro, y Tortolero, (2006) **“DETERMINACIÓN DE LA MEZCLA Y EL TAMAÑO DE LA FLOTILLA DE VEHÍCULOS DE UNA EMPRESA DE ALIMENTOS DE CONSUMO MASIVO PARA EL TRANSPORTE DE SUS PRODUCTOS TERMINADOS.”**

El trabajo de Castro y Tortolero se refiere a la propuesta de mejora en la red de transporte primaria de la empresa KRAFT FOODS VENEZUELA, con el propósito de reducir los costos en esta área, elevar el porcentaje de cumplimiento de despacho de las cantidades programadas y reduciendo el tiempo de falta de vehículos para realizar los traslados. Se realiza un análisis de la situación actual donde se detectaron las siguientes fallas, mezcla inadecuada de los vehículos de transporte, tiempo con falta de transporte, en las planta ubicadas en Valencia y Barquisimeto respectivamente. Se selecciono las variables de estudio, se analizó el comportamiento de las mismas mediante ajuste a distribuciones de probabilidades, se determinaron los costos operativos de la situación de transporte utilizada. Se evaluaron las diferentes alternativas mediante el uso del programa de simulación ARENA 7.1 y se seleccionó una reestructuración de la flota de transporte en Valencia y Barquisimeto.

La importancia de esta investigación es que muestra las fases de elaboración de un estudio de simulación.

Colmenares (2006), **“PROPUESTAS DE MEJORAS EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE PRODUCTOS (CASO: PEPSI-COLA VENEZUELA C.A. AGENCIA VALENCIA).”**

El trabajo mencionado se refiere a una propuesta de mejoras en el sistema de distribución de productos de la empresa PEPSI-COLA VENEZUELA C.A., con el fin de reducir costos y mejorar la eficiencia en la utilización de los vehículos de la empresa. Se realizo un análisis de la situación actual del sistema de rutas de distribución, se seleccionaron las variables de estudio, y finalmente se evaluaron diferentes alternativas mediante el uso de un simulador y se selecciono la que registro disminución en los costos generados, y mejora la eficiencia en la utilización de la capacidad de carga de los camiones. Se propuso un sistema de indicadores de gestión que permita una evaluación periódica del estado del sistema y detectar fallas que se puedan presentar en el mismo.

El trabajo de Colmenares presenta las principales funciones del programa Arena, sus descripciones, características y posibles usos, lo cual sirve como guía para un mejor manejo del programa.

Joines, Barton (2000), **“PRODUCT-MIX ANALYSIS WITH DISCRETE EVENT SIMULATION”**

En el trabajo presentado en el congreso de invierno de simulación se estudió la mezcla de producción a través de una línea hipotética de producción de carros de juguetes, el objetivo principal de trabajo es demostrar la inmensa utilidad que tiene la conducción de decisiones de mezcla de producción a través de la simulación de eventos discretos. Entre las conclusiones que se presentaron en el congreso resaltan la importancia de la simulación para la elaboración de planes de negocio y de producción ya que es una herramienta con la cual se pueden estudiar respuestas de diferentes escenarios en corto tiempo y con bajos costos, para así poder escoger soluciones que produzcan buenos desempeños.

Este trabajo está relacionado con la presente investigación ya que destaca la importancia de la simulación para la determinación de parámetros de producción específicamente de la mezcla de la producción y menciona el posible uso de la simulación para la determinación de secuencias de producción.

2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.2.1 Cadenas de suministro

Según Calderon (s/f), la función principal de la cadena de suministro es optimizar el proceso de producción desde la compra de los insumos hasta entregar el producto terminado al cliente final. Los principales actores en una

cadena de suministro son los siguientes: proveedores, fabricantes, clientes, detallistas, transportistas, distribuidores.

Los beneficios de una buena administración de la cadena de suministro son la reducción de costos y de inventarios, la mejor capacidad de respuesta y el servicio al cliente, los ciclos de producción y la compra/venta más eficiente.

Entonces planificar todas las actividades de la empresa, las compras, la producción y la distribución de los productos, adecuándose y respetando las demandas de los clientes podría ser una definición sintética de la optimización de la cadena de suministros. La cadena de suministro es un proceso de funcionamiento cuyo fin es asegurar una gestión y una sincronización del conjunto de los procesos que permite a una empresa y sus proveedores tomar en consideración y responder a las necesidades de los clientes finales.

2.2.1.1 Funciones de la cadena de suministro

Según el Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP) (s/f) las principales funciones de la cadena de suministro son:

- a. Administración del portafolio de productos y servicios (PPS), que es la oferta que la compañía hace al mercado. Toda la cadena de suministros se diseña y ejecuta para soportar esta oferta.
- b. Servicio a clientes (SCA), responsable de contar la necesidad del cliente con la operación interna de la compañía. Los sistemas tradicionales permiten que la organización visualice los compromisos derivados de las órdenes procesadas, pero en términos simples, si existe inventario para satisfacer la demanda del cliente, SCA, pasa sus instrucciones directamente a distribución; si hay que producir, pasa sus instrucciones a control de producción.

- c. Control de producción (CP), que, derivado de las políticas particulares de servicio que tenga la compañía y de la administración de la demanda, se encarga de programar la producción interna y, como consecuencia, dispara la actividad de abastecimiento de insumos.
- d. Abastecimiento (Aba), que se encarga de proveer los insumos necesarios para satisfacer las necesidades de producción (materia prima y materiales) cuidando los tiempos de entrega de los proveedores y los niveles de inventario de insumos.
- e. Distribución (Dis), que se encarga de custodiar insumos y producto terminado, hacerlo llegar a los clientes y/o a su red de distribución, que puede incluir otros almacenes o centros de distribución.

2.2.2 Sistemas de producción

Según Berdegué (s/f), los sistemas de producción se pueden definir como un conjunto de partes interrelacionadas que existen para alcanzar un determinado objetivo. Donde cada parte del sistema puede ser un departamento, un organismo o un subsistema. De esta manera una empresa puede ser vista como un sistema con sus departamentos como subsistemas.

2.2.2.1 Sistemas de empujar: los sistemas basados en empujar la producción son aquellos que elaboran bienes para satisfacer una demanda pronosticada, se basan en programas de producción que determinan las cantidades requeridas de insumos, las mezclas, el volumen y la secuencia en que se producirá.

2.2.2.2 Sistemas de halar: los sistemas de halar son aquellos en los cuales la cadena de suministro se activa con la emisión de pedidos en los centros de trabajo, a diferencia de los sistemas de empujar, los sistemas de halar no producen basados en pronósticos de demanda sino por la emisión de pedidos. La política de estos es el trabajo justo a tiempo.

2.2.3 Programa de operaciones

Según Machuca (1995), la programación de operaciones se define como un esquema de producción en donde se determina que operaciones se van a realizar sobre los distintos pedidos, durante cada momento del horizonte de planificación, en cada centro de trabajo, de forma que, con la capacidad disponible en cada uno de ellos, se cumplan las fechas de entrega planificadas, empleando el menor volumen de recursos e inventarios posibles.

El horizonte de planificación dependerá de las características del proceso productivo y su entorno, variando entre unas horas y varias semanas, como por ejemplo si se trabaja con FLOW SHOP o JOB SHOP, si se trabaja contra pedido o contra inventario, entre otras.

El programa de operaciones está conformado por tres actividades:

- a. Asignación de carga de máquinas.
- b. Secuenciación.
- c. Programación detallada.

2.2.4 Secuencia

Machuca (1995), define la secuencia como el establecimiento de las prioridades de paso de los pedidos en los diferentes centros de trabajo para cumplir las fechas de entrega planificadas con la menor cantidad de inventarios y recursos. Es decir el orden mediante el cual se procesan los productos en un centro de trabajo.

La forma de obtener la secuencia dependerá del tipo de configuración de la planta si es FLOW SHOP o JOB SHOP.

2.2.5 Configuración de la planta

2.2.5.1 FLOW SHOP

Se utiliza para fabricar pocos productos en lotes homogéneos de gran tamaño. Para el desarrollo de las sucesivas operaciones, los diferentes elementos fabricados en un centro de trabajo tienen la misma secuencia de paso por las máquinas que lo integran. La actividad a desarrollar en cada momento por todos los equipos del centro de trabajo viene dada por el orden de entrada de los pedidos en la primera máquina. Este vendrá marcado por unas prioridades determinadas, las cuales indicarán la secuencia de paso de los lotes de los distintos pedidos; de ésta dependerá el número de pedidos completados a tiempo, los costos de preparación, el valor de los tiempos de suministro, el volumen de inventarios, etc.

2.2.5.2 JOB SHOP

Es una estructura que suele fabricar contra pedido, lotes normalmente pequeños de ítems muy dispares, los cuales tienen diferente secuencia de paso por las máquinas o centros de trabajo; éstos son utilizados en el desarrollo de una o varias operaciones de las rutas de algunos ítems. Además, para cada uno de ellos, la obtención de un lote puede diferir notablemente en términos de materiales necesarios, tiempo de procesamiento en cada centro de trabajo, necesidades de preparación, etc. El que la secuencia de paso de los N pedidos a procesar por las M máquinas sea diferente implica que no es suficiente establecer el orden de entrada en la primera (como en el caso anterior), sino que hay que determinar la secuencia en todas y cada una de ellas. Esto, además, ha de hacerse considerando las distintas rutas, de forma que un pedido no puede entrar en un centro de trabajo hasta que se hayan realizado las operaciones precedentes de su ruta.

Habrá que determinar, pues, la ordenación o secuencia de paso de los N lotes en cada una de las M máquinas que, respetando las rutas de los pedidos y la capacidad disponible, cumpla las fechas de entrega de éstos, empleando el menor tiempo total en la obtención de todos los lotes a procesar.

2.2.6 Reglas de prioridad

Machuca (1995), define reglas de prioridad como reglas que permiten seleccionar el próximo trabajo a realizar en un centro de trabajo cuando éste está próximo a quedarse libre. Entre ellas menciona las siguientes:

- a. **Operación más corta:** también se denomina SOT o SIO. De acuerdo con ella, se elige como próximo trabajo a realizar en un centro de trabajo, aquel cuya operación en dicho centro tarde menos en realizarse. De esa forma se hace máximo el número de trabajos procesados por periodo en el centro de trabajo y, por tanto, se ayuda a minimizar los tiempos de ocios en los centros de trabajo. Sin embargo se ignora la información relativa a las fechas de entrega.
- b. **Operación más larga:** también denominada LOT o LIO. El próximo trabajo a realizar en un centro de trabajo será aquel cuya operación en dicho centro tarde más en realizarse. La idea que la preside es que, normalmente, los trabajos más largos son los más grandes y más importantes y, por tanto, deben ser los primeros en realizarse. Se supone, además, que estos serán los trabajos con menor holgura (aunque esto no siempre será así ya que dependerá de las fechas de entrega).
- c. **Trabajo más corto:** también denominado SRPT. El sentido es similar al de la regla de la operación más corta, con la diferencia que aquí se selecciona el trabajo al que le reste el menor tiempo de proceso considerando el conjunto de sus operaciones. Con ello se pretende terminar el mayor número posible de trabajos por unidad de tiempo, lo que supone que ayudara a emplear el menor tiempo total de procesamiento de los pedidos en todas las máquinas.

- d. **Trabajo más largo:** también denominado LRPT. Es similar a la regla de operación más larga, pero tomando ahora aquel trabajo que tenga mayor tiempo de proceso restante.
- e. **Menor relación crítica:** definido como:

$$RC = TiR \div TrabR$$

TiR: tiempo restante.

TrabR: trabajo restante.

Esta regla proporciona una visión comparada del tiempo y la carga que resta para entregar y concluir un trabajo. Si la relación crítica da un valor menor que uno indica que hay incumplimiento en la fecha de entrega, debido a que el trabajo que aún resta por ejecutar es mayor que el tiempo que resta para la entrega del pedido. En el caso de que la relación crítica sea igual a uno se cuenta con el tiempo exacto para entregar el pedido a tiempo. Sin embargo, esto no podrá cumplirse si se ocasionan demoras no previstas. Finalmente si la relación crítica es mayor que uno, se cuenta con más tiempo del necesario para entregar el pedido al cliente.

- f. **Menor fecha de entrega:** se realiza en primer lugar aquel pedido cuya fecha de entrega esta más próxima, cualquiera que sea el tiempo de proceso que le reste. Es una aplicación simple del objetivo de cumplir las fechas de entrega, que deja afuera las consideraciones sobre el logro del menor tiempo total de procesamiento de los pedidos.
- g. **Menor tiempo de holgura:** también llamada DS y Slack. Se trata de realizar primero aquel trabajo con menor tiempo de holgura, siendo esta la diferencia entre el tiempo que falta hasta la fecha de entrega y el tiempo de proceso restante. Al igual que la menor relación crítica, pretende dar una idea del tiempo que resta para cumplir con la fecha de entrega planificada en comparación con el tiempo de proceso que falta para acabarlo. Si la holgura da menor que cero, indica que el tiempo de procesamiento del lote es mayor que el tiempo que se dispone para entregarlo, razón por la cual el pedido no será entregado a tiempo. Si el valor de la holgura es igual a cero esto indica que el tiempo de procesamiento es justo para entregar el pedido

siempre y cuando el procesamiento del mismo no requiera del uso de un tiempo imprevisto o no contemplado. Finalmente si se obtiene una holgura mayor a cero el pedido cuenta con más tiempo del necesario para ser entregado al cliente.

2.2.7 Sistema

Shannon (1988), expone como definición de sistema, conjunto de objetos e ideas que están interrelacionadas entre sí como una unidad para la consecución de un fin.

Un sistema es una sección de la realidad que es el foco primario de un estudio y sus componentes interactúan con otros de acuerdo a ciertas reglas dentro de una frontera identificada para el propósito del estudio. Un sistema puede realizar una función que no es realizable por sus componentes individuales.

Los objetos o componentes que forman parte del sistema se denominan *entidades*. Estas entidades poseen propiedades denominadas *atributos*, y se relacionan entre sí a través de *relaciones* o *funciones*. Estas relaciones pueden ser:

1. Estáticas o estructurales.
2. Dinámicas o funcionales.

2.2.7.1 Clasificación de sistemas

De acuerdo a su naturaleza, un sistema puede ser:

- a. **Determinístico:** si el sistema no contiene ningún elemento aleatorio. En este tipo de sistema, las variables de salidas e internas quedan perfectamente determinadas al especificar las variables de entrada, los parámetros y las variables de estado. Es decir, las relaciones funcionales entre las variables del sistema están perfectamente definidas.

- b. **Estocástico:** en este caso algún elemento del sistema tiene una conducta aleatoria. Entonces, para entradas conocidas no es posible asegurar los valores de salida.
- c. **Continuo:** se tiene un sistema continuo cuando las relaciones funcionales entre las variables del sistema sólo permiten que el estado evolucione en el tiempo en forma continua (basta que una variable evolucione continuamente). Matemáticamente, el estado cambia en infinitos puntos de tiempo.
- d. **Discreto:** se tiene un sistema discreto cuando las relaciones funcionales del sistema sólo permiten que el estado varíe en un conjunto finito (contable) de puntos temporales. Las causas instantáneas de los cambios de estados se denominan eventos.

2.2.8 Modelo

Shannon (1988), define modelo como la representación de un objeto, sistema, o idea. Usualmente, su propósito es ayudar a explicar, entender o mejorar un sistema.

El arte de modelar consiste en la habilidad para analizar un problema, resumir sus características esenciales, seleccionar y modificar las suposiciones básicas que caracterizan al sistema, y luego enriquecer y elaborar el modelo hasta obtener una aproximación útil. Los pasos para este proceso según Shannon (1988) son:

- a. Establecer una definición clara de los objetivos.
- b. Analizar el sistema real.
- c. Dividir el problema del sistema en problemas simples.
- d. Buscar analogías.
- e. Considerar un ejemplo numérico específico del problema.
- f. Determinar las variables de interés.

- g. Escribir los datos obvios.
- h. Escribir las ecuaciones teóricas o empíricas que describen los fenómenos presentes y relacionan las variables de interés.
- i. Si se tiene un modelo manejable, enriquecerlo. De otra manera, simplificarlo.

Según Shannon (1988), un modelo debe ser:

- a. Fácil de entender por parte del usuario.
- b. Dirigido a metas u objetivos.
- c. Sensato, en cuanto no de respuestas absurdas.
- d. Fácil de manipular y controlar por parte del usuario.
- e. Completo, en lo referente a asuntos importantes.
- f. Adaptable, con un sencillo procedimiento para modificar o actualizar el modelo.
- g. Evolutivo, debe ser sencillo al principio y volverse más complejo en el tiempo.

2.2.9 Simulación

Banks (2001), define a la simulación como el desarrollo de un modelo lógico matemático de un sistema, de tal forma que se tiene una imitación de la operación de un proceso de la vida real o de un sistema a través del tiempo. La simulación involucra la generación de una historia artificial de un sistema, la observación de esta historia mediante la manipulación experimental, ayuda a inferir las características operacionales de tal sistema.

García (2006), define la simulación como el conjunto de relaciones lógicas, matemáticas y probabilísticas que integran el comportamiento de un sistema bajo estudio cuando se presenta un evento determinado. El objetivo del modelo de simulación consiste, precisamente, en comprender, analizar y mejorar las condiciones de operaciones relevantes de los sistemas.

2.2.9.1 Aplicaciones de la simulación

Banks (2001), menciona las siguientes aplicaciones de la simulación:

- a) El sistema real no existe. Es costoso, peligroso, consume mucho tiempo, o imposible de construir y experimentar con prototipos.
- b) Experimentar con el sistema real es complicado, costoso, peligroso, o puede causar serios desajustes.
- c) Necesidad de estudiar el pasado, presente, o futuro del sistema en tiempo real, tiempo expandido, o tiempo comprimido.
- d) El sistema es tan complejo que su evaluación analítica es prohibitiva, bien sea porque el modelado matemático es imposible, o porque el modelado matemático no tiene solución analítica o numérica simple y práctica.

2.2.9.2 Etapas de un estudio de simulación

Banks (2001), expone que en el desarrollo de un estudio de simulación se pueden distinguir las siguientes etapas:

- a. Formulación del problema: exponer el problema claramente y definir las metas del estudio.
- b. Establecimiento de los objetivos y la planeación global del proyecto, planear la agenda y recursos necesarios para el proyecto.
- c. Conceptualización del modelo: identificar las características esenciales del problema, hacer los supuestos correctos y diseñar el modelo de simulación.
- d. Recolección y análisis de datos: identificar, recolectar y realizar el análisis estadístico de los datos de entrada para el modelo.
- e. Construcción del modelo: construir o programar el modelo.
- f. Verificación del modelo: probar que el modelo sea correcto y este completo.
- g. Validación de los resultados: determinar si el modelo es una representación precisa del sistema real.
- h. Evaluación de corridas y análisis de resultados: correr el modelo para generar resultados para escenarios definidos.

- i. Documentación y reporte: documentar el proyecto, el modelo y los resultados.
- j. Implementación: poner la solución en práctica.

2.2.9.3 Ventajas de la simulación

Dentro de las ventajas que tiene la simulación, se citan aquellas que mencionan Law, Kelton (1982):

- a. La mayoría de los sistemas reales complejos con elementos estocásticos, no pueden ser descritos de forma precisa con modelos matemáticos. La simulación es una alternativa para estudiar estos sistemas.
- b. La simulación permite estimar el desempeño de un sistema existente bajo un conjunto proyectado de condiciones de operación.
- c. A través de la simulación es posible comparar diferentes propuestas de diseños alternativos de sistemas, para determinar cuál cumple mejor los requerimientos.
- d. En la simulación se puede mantener más el control sobre las condiciones experimentales de lo que es posible cuando se experimenta en el sistema mismo.
- e. La simulación permite el estudio de un sistema por períodos largos.

2.3 TIPO DE ESTUDIO.

El tipo de investigación es de carácter experimental. Ramírez (s/f), expone que la investigación experimental estudia los fenómenos en contextos artificiales con el fin de manipular las variables en estudio, formando dos grupos similares de acuerdo con características previamente establecidas. Uno de los grupos será el experimental y el otro hará las veces de grupo control. Luego de aplicado el tratamiento experimental se procederá a observar y comparar ambos grupos. Por razonamientos lógicos e inferencias estadísticas es posible determinar si la

diferencia en los cambios, es debido al factor experimental. Este tipo de investigación permite controlar la influencia de las variables que intervienen en la investigación, colocando en ambos grupos situaciones con características similares. Este desarrollo debe estar apoyado en una investigación de tipo documental, de campo o una combinación de ambas.

2.4 FASES DE LA INVESTIGACIÓN

2.4.1 Fase I: Recopilación de información y definición de las variables.

Se identificaran las variables que intervienen en el problema de secuencia de producción que son de interés para los modelos, se identificarán las características esenciales del problema y se harán los supuestos necesarios. Para ello se utilizarán las técnicas e instrumentos de recolección adecuados para obtener los datos necesarios y así poder llevar a cabo el estudio.

2.4.2 Fase II: Desarrollo del modelo de simulación.

Se realizó el diseño y la construcción de los modelos de simulación para analizar la secuencia, incluyendo diferentes escenarios de producción tomando en cuenta si se trabaja con un sistema de halar o empujar, con estructura FLOW SHOP o JOB SHOP, con el fin de representar los aspectos más relevantes a la hora de estudiar la secuenciación.

2.4.3 Fase III: Verificación del modelo.

Se comprobó que los modelos corren sin errores y de que son una buena representación del sistema planteado. Haciendo corridas del modelo y analizando los resultados para escenarios definidos.

2.4.4 Fase IV: Análisis de resultado.

Realizar un análisis de los resultados obtenidos por el simulador para así escoger aquella secuencia que sea más conveniente y se ajuste mejor a los criterios de selección previamente establecidos.

CAPITULO III
MODELOS QUE EVALUAN SECUENCIAS DE PRODUCCIÓN, EMPUJANDO LA
PRODUCCIÓN Y CON ESTRUCTURA FLOW SHOP.

3. MODELOS DE SIMULACION PARA DETERMINAR SECUENCIAS DE PRODUCCION EN EMPRESAS CON ESTRUCTURA FLOW SHOP, EMPUJANDO LA PRODUCCIÓN.

En el presente capítulo se describirán cada uno de los sistemas estudiados y se explicará el modelo construido, ilustrando su uso por medio de la resolución de un ejemplo.

3.1 ESTRUCTURA FLOW SHOP, EMPUJANDO LA PRODUCCION.

La empresa en estudio opera con cinco estaciones, a su vez cada estación dispone de un recurso, elabora cinco tipos de artículos, tiene una estructura FLOW SHOP y se trabaja empujando la producción. Bajo estas condiciones Machuca y otros (1995) señalan la existencia de dos posibles casos:

1. Las unidades van pasando una a una por cada maquina, sin necesidad de esperar a que cada operación se ejecute sobre el lote completo; una vez que la elaboración del lote ha sido concluida, se procederá a la preparación del centro de trabajo para la fabricación de un pedido de otro artículo diferente.
2. El paso por cada centro de trabajo se realiza de forma que hasta que se ejecute la operación (o conjunto de ellas) sobre todos los artículos o unidades del lote no pasan estos al siguiente centro de trabajo. Una vez que la elaboración del lote ha sido concluida, se procederá a la preparación del centro de trabajo para la fabricación de un pedido de otro artículo diferente.

3.1.1 Modelo 1. Trabajando con FLOW SHOP, empujando la producción y las unidades van pasando una a una por cada maquina, sin necesidad de esperar a que cada operación se ejecute sobre el lote completo.

3.1.1.1 Datos de entrada.

El modelo construido permite determinar la secuencia considerando hasta un máximo de diez pedidos, los tiempos de puesta a punto en la estación j ($j=1, \dots, 5$), se consideran variables aleatorias y los tiempos de procesar una unidad del ítem i ($i=1, \dots, 5$), en la estación j ($j=1, \dots, 5$) son variables aleatorias. Ver tablas N° 1 y 2

Tabla N° 1. Tiempos de puesta a punto en cada estación.

Estación	Distribución	Unidad de medida
A	Triangular (0,5 ; 0,8 ; 1,5)	Horas
B	Triangular (1 ; 1,2 ; 1,8)	Horas
C	Triangular (0,2 ; 0,7 ; 0,9)	Horas
D	Triangular (0,5 ; 1 ; 1,5)	Horas
E	Triangular (0,3 ; 1,6 ; 2)	Horas

Tabla Nº 2. Tiempo de procesamiento de una unidad del ítem i en la estación j.

Tipo de ítem	Estación	Distribución	Unidad de medida
1	A	Normal (10 ; 2)	Minutos
1	B	Uniforme (12 ; 14)	Minutos
1	C	Uniforme (10 ; 12)	Minutos
1	D	Normal (13 ; 1)	Minutos
1	E	Normal (18 ; 4)	Minutos
2	A	Normal (11 ; 1,5)	Minutos
2	B	Normal (12 ; 2)	Minutos
2	C	Triangular (9 ; 11 ; 12)	Minutos
2	D	Normal (13 ; 2)	Minutos
2	E	Uniforme (15 ; 18)	Minutos
3	A	Normal (11 ; 0,7)	Minutos
3	B	Triangular (8 ; 10 ; 13)	Minutos
3	C	Uniforme (8 ; 15)	Minutos
3	D	Uniforme (10 ; 12)	Minutos
3	E	Normal (16 ; 2,5)	Minutos
4	A	Uniforme (8 ; 12)	Minutos
4	B	Normal (13 ; 3)	Minutos
4	C	Uniforme (15 ; 20)	Minutos
4	D	Uniforme (15 ; 20)	Minutos
4	E	Uniforme (13 ; 16)	Minutos
5	A	Triangular (7 ; 9 ; 11)	Minutos
5	B	Uniforme (10 ; 13)	Minutos
5	C	Normal (13 ; 2)	Minutos
5	D	Triangular (13 ; 14 ; 17)	Minutos
5	E	Triangular (7 ; 8 ; 9)	Minutos

Además de la información que se presenta anteriormente, para el correcto funcionamiento del modelo es necesario que el usuario ingrese los siguientes

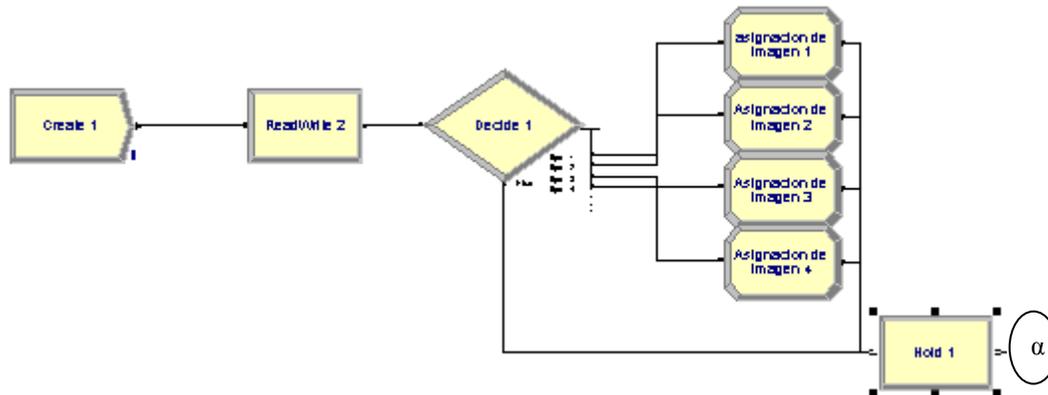
datos: el número de pedidos a secuenciar y para cada pedido debe indicar el tipo de producto o ítem, el tamaño del lote que se debe elaborar, la fecha de entrega (número de días en que debe estar lista la orden) y la posición del pedido dentro de la secuencia de producción.

3.1.1.2 DIAGRAMA Y EXPLICACIÓN DEL MODELO

El modelo a construir busca evaluar para cada secuencia alimentada en el sistema la holgura que presenta cada pedido, esto con el fin de poder así determinar aquella secuencia que logre un nivel de servicio satisfactorio.

El modelo comienza con un nodo *create* Ver figura 2, encargado de generar tantas entidades (pedidos) como diga el archivo *número de pedidos*. Los pedidos que salen del *create* se dirigen hacia un nodo *readwrite* que le asigna a cada uno el tamaño del lote que tendrá, el tipo de producto que lo conforma, la fecha de entrega y su posición en la secuencia de producción. Luego de salir del *readwrite* los pedidos pasan por un nodo *decide* el cual identifica el tipo de producto que maneja el lote, para luego pasar al nodo *assign* donde se le fija la imagen que le corresponde a cada producto, una vez finalizada ésta actividad, el ciclo de la primera etapa finaliza en el nodo *hold* quien está encargado de retener a los pedidos hasta que lleguen todos, para así poder ordenarlos según la secuencia estipulada por el usuario.

Figura 1. Primera etapa del modelo 1.



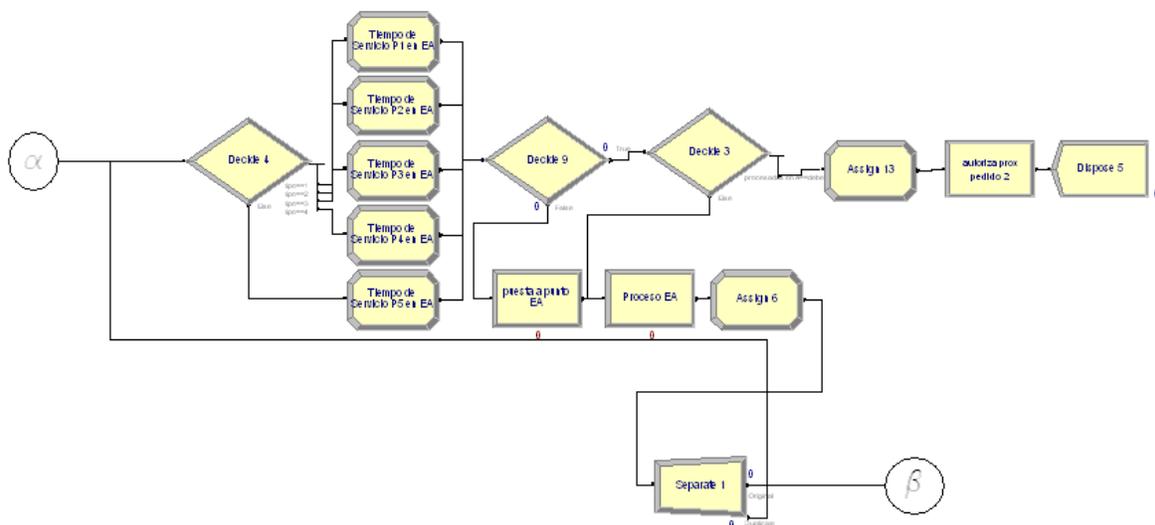
La cadena continua con la segunda etapa del modelo al que se puede definir como la ESTACIÓN A de la planta, aquí se realiza la primera fase de producción. Esta comienza cuando se libera el primer pedido y se dirige a un nodo *decide* Ver figura 3, el cual identifica el tipo de producto que se va a procesar, de allí lo envía a su correspondiente nodo *assign* quien establece a cada unidad el tiempo de procesamiento de la ESTACIÓN A para cada producto, además este nodo define una variable llamada procesadas en A. Cada una de las unidades al salir de su *assign* se dirigen a un mismo nodo *decide* que pregunta si ¿la unidad a procesar por la estación A es igual a la última unidad procesada por la estación A?

- En caso de ser positiva la respuesta es porque la unidad que procesó anteriormente la estación es igual a la próxima que se va a procesar y por lo tanto la estación no requiere de puesta punto para continuar el recorrido, la unidad continua hacia otro nodo *decide* el cual pregunta ¿procesadas en A es igual al tamaño del lote?
 - ✓ En caso de ser afirmativa la respuesta es porque el lote ha sido culminado y la unidad se dirige a un nodo *signal* el cual se encarga de autorizar la entrada a la estación A del próximo pedido a procesar.
 - ✓ El caso contrario se debe a que faltan unidades por fabricar para completar el lote. La unidad continúa el recorrido en un nodo *process* donde se simula el procesamiento de la pieza en dicha

estación. Luego la unidad se dirige a un nodo *assign* encargado de incrementar la variable procesadas en A, además registra el tipo de producto que fue procesado y se dirige a la siguiente estación, ya que para este modelo la unidad que es procesada por la estación A, pasa inmediatamente a la siguiente estación para ser procesada.

- Si la respuesta es negativa se debe a que la unidad que se va a procesar no es igual a la última unidad procesada, por lo tanto la estación A requiere de una puesta a punto que se realiza por medio de un nodo *process*. Una vez que la unidad sale de allí continúa el recorrido en otro *process* donde se simula el procesamiento de la pieza. Luego la unidad se dirige a un nodo *assign* donde se incrementa la variable procesadas en A y se registra además el tipo de producto que fue procesado, finalmente se dirige a la siguiente estación, ya que para este modelo la unidad que es procesada por la estación A, pasa inmediatamente a la siguiente estación para ser procesada.

Figura 2. Segunda etapa correspondiente a la estación A del modelo 1.



La tercera, cuarta, quinta y sexta etapa del modelo corresponden a la segunda, tercera, cuarta y quinta estación de la planta respectivamente y operan

como se describe a continuación. Para efectos del trabajo solo se explicara la segunda estación o ESTACIÓN B.

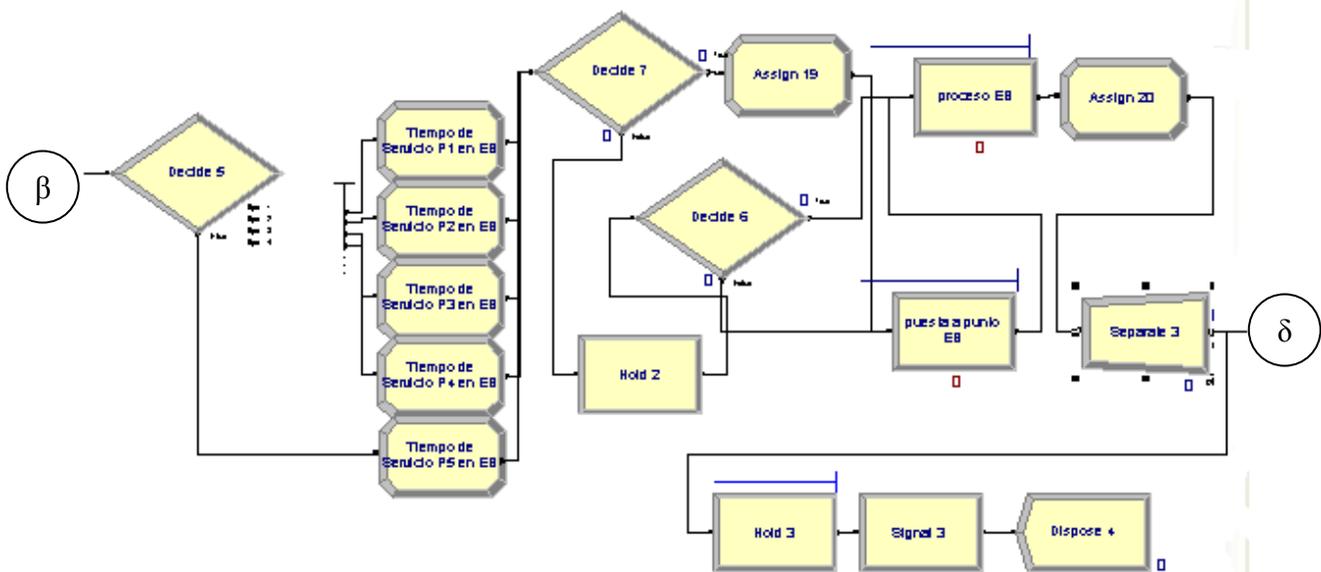
Al igual que la primera estación comienza con un nodo *decide* ver figura 4, el cual identifica el tipo de producto que está entrando a la estación, para luego ser enviado a su correspondiente *assign* donde será fijado el tiempo de procesamiento según el tipo de producto. Luego las unidades se dirigen hacia un *decide* cuya función es preguntar si ¿la unidad que se va a procesar es la primera que pasa por la estación B?

- De ser positiva la respuesta es porque está entrando a la estación B la primera unidad y por lo tanto se va a requerir una puesta punto. El recorrido continúa en un nodo *assign* que se encarga de modificar la variable procesadas en B. Luego en un *process* se realiza la puesta a punto de la estación B y de allí la unidad pasa a otro *process* donde se ejecuta el procesamiento de la pieza en la estación. Posteriormente ésta pasa a un nodo *assign* encargado de leer que tipo de producto que fue procesado por la estación. El siguiente paso es dirigirse a la siguiente estación para ser procesada. Si la estación de la que está saliendo la pieza es la E, entonces se dirige hacia la séptima etapa del modelo la cual será explicada posteriormente.
- En caso de ser negativa la respuesta es porque ya fue procesada la primera unidad en la estación, por lo tanto no es necesaria la puesta punto de esta, la unidad continúa el recorrido en un nodo *decide* el cual pregunta si ¿la unidad a procesar por la estación B es igual a la última unidad procesada por la estación B?, esto con el fin de determinar si es necesario realizar una puesta punto.
 - ✓ En caso de ser afirmativa la respuesta es porque se está trabajando con el mismo tipo de artículo, y por lo tanto no se requiere de la puesta punto, sino que la pieza pasa directamente al nodo donde es procesada. Posteriormente ésta se dirige a un nodo *assign* encargado de leer que tipo de producto que fue procesado por la

estación. Finalmente la pieza pasa a la siguiente estación para ser procesada. Si la estación de la que está saliendo la pieza es la E, entonces va hacia la séptima etapa del modelo.

- ✓ De ser negativa la respuesta es porque el artículo que ésta entrando a la estación es diferente al procesado justamente anterior a él, entonces la pieza va a un nodo *process* donde se realiza la puesta punto y de allí se procesa la pieza en el nodo *process* para posteriormente dirigirse a un nodo *assign* encargado de leer que tipo de producto procesado por la estación. Finalmente la pieza pasa a la siguiente estación para ser procesada. Esto se repite para las ESTACIONES C, D y E. Si la estación de la que está saliendo la pieza es la E, entonces se dirige hacia la séptima etapa del modelo.

Figura 3. Tercera etapa correspondiente a la estación B del modelo 1



La última etapa del modelo es cuando la unidad sale de la ESTACIÓN E y va a un nodo *batch* Ver figura 5, que almacena unidades hasta completar el pedido. Luego de culminado, este pasa a un nodo *decide* el cual identifica que pedido es,

enviándolo a su correspondiente nodo *assign*, aquí se le añade una característica al pedido llamada holgura la cual se calcula como:

$$H = Fe - Fcp$$

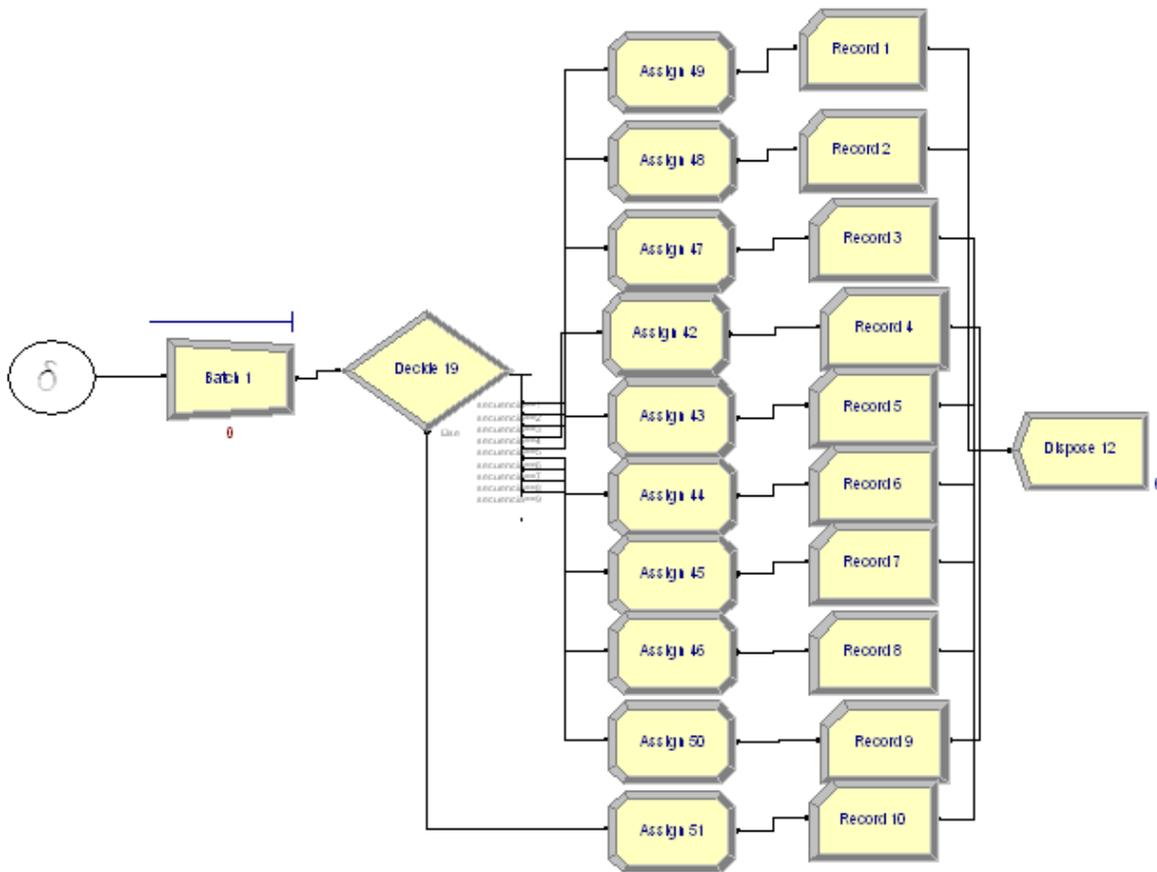
Fe: fecha de entrega.

Fcp: fecha de culminación del pedido.

Esto con el fin de poder observar la disponibilidad de tiempo que se tiene para entregar cada pedido. Si la holgura es mayor o igual a cero el pedido gozará de H días de holgura, mientras que si ésta es menor que cero el pedido será entregado al cliente con H días de retraso.

Al salir del *assign* pasa por un nodo *record* quien se encarga de almacenar la información para que pueda aparecer en los reportes. Finalmente la unidad al salir del *record* pasa a un nodo *dispose* para ser destruida.

Figura 4. Séptima etapa correspondiente a la recopilación de la información para el modelo 1.



EJEMPLO 1.

A continuación se presenta un caso práctico el cual corresponde a una empresa que posee una estructura FLOW SHOP, que empuja la producción y las unidades van pasando una a una por cada maquina, sin necesidad de esperar a que cada operación se ejecute sobre el lote completo; una vez que la elaboración del lote ha sido concluida, se procederá a la preparación de la estación o centro de trabajo para la fabricación de otro pedido diferente. La empresa labora 14 horas diarias, todos los días de la semana.

Para los siguientes 8 pedidos cuyas características se muestran en la tabla N° 3, la empresa desea determinar una secuencia que proporcione un nivel de servicio satisfactorio.

Tabla N° 3. Características de los pedidos para el modelo 1.

Pedido	Tipo de ítem	Tamaño del lote (unidades)	Fecha de entrega (días)
I	1	320	38
II	5	600	30
III	2	360	56
IV	2	350	56
V	3	500	40
VI	5	224	45
VII	4	400	15
VIII	1	200	22

En la siguiente tabla se presentan los costos por unidad por día de almacenamiento y retraso de cada producto.

Tabla N° 4. Costos por almacenamiento y retraso de los ítems.

Tipo de ítem	Costo por unidad por día de almacenamiento (Bs.F/U*día)	Costo por unidad por día de retraso (Bs.F/U*día)
1	0,6	1,8
2	0,4	1,6
3	0,1	0,3
4	0,5	1,5
5	0,3	0,6

A continuación el usuario ingresa en el archivo “atributo de pedidos.txt”, la posición de cada pedido en la secuencia de producción que desee probar. Ver tabla N° 5.

Tabla Nº 5. Primera secuencia de producción a probar del modelo 1.

Pedido	Tipo de ítem	Tamaño del lote (unidades)	Fecha de entrega (días)	Posición en la secuencia
I	1	320	38	4
II	5	600	30	3
III	2	360	52	7
IV	2	350	48	8
V	3	500	40	5
VI	5	224	45	6
VII	4	400	15	2
VIII	1	200	22	1

Seguidamente se debe determinar el número de corridas necesarias para que el estudio cuente con la tolerancia exigida en las estimaciones a realizar, en este caso se utilizara una tolerancia de $\pm 7\%$. Se realizo un estudio piloto de 25 replicas, usando un $\alpha=0.05$ el cual arrojó los siguientes resultados.

Tabla Nº 6. Resultados de la primera secuencia para el modelo 1.

Pedidos (posición en la secuencia)	Holgura promedio (días)
I (4)	8,5415 \pm 0,04
II (3)	7,5874 \pm 0,02
III (7)	7,5121 \pm 0,05
IV (8)	0,6366 \pm 0,05
V (5)	0,9124 \pm 0,05
VI (6)	3,6851 \pm 0,05
VII (2)	3,1283 \pm 0,01
VIII (1)	17,2767 \pm 0,04

Para determinar si el número de corridas es suficiente se debe comprobar que todos los valores de las holguras se encuentren contemplados dentro de las tolerancias fijadas.

En la tabla N° 7 se muestran estos valores ya calculados, y para cada uno de los lotes se señala si cumplen o no con la tolerancia deseada.

Tabla N° 7. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para la primera secuencia del modelo 1.

Pedidos (posición en la secuencia)	Holgura promedio (días)	Tolerancia Min. 7%	Tolerancia Máx. 7%	
I (4)	8,5415 ± 0,04	7.943595	9.139405	cumple
II (3)	7,5874 ± 0,02	7.056282	8.118518	cumple
III (7)	7,5121 ± 0,05	6.986253	8.037947	cumple
IV (8)	0,6366 ± 0,05	0.592038	0.681162	no cumple
V (5)	0,9124 ± 0,05	0.848532	0.976268	cumple
VI (6)	3,6851 ± 0,05	3.427143	3.943057	cumple
VII (2)	3,1283 ± 0,01	2.909319	3.347281	cumple
VIII (1)	17,2767 ± 0,04	16.06733	18.48607	cumple

Como se puede observar en la tabla N° 7, el pedido IV, secuenciado en la posición 8 no cumple con la condición, por lo tanto se debe calcular el número de corridas necesarias para que éste cumpla con la tolerancia exigida.

A continuación se presentara una tabla con el resultado de cada corrida y de allí se calculará el valor de la media y de la desviación típica de la muestra, estos valores serán usados para calcular el número de corridas necesarias que cumplan con la tolerancia fijada. Ver tabla N° 8.

Tabla N 8. Holgura del pedido IV para cada replica.

Numero de la replica	Holgura del pedido IV (días)
1	0.5486
2	0.7173
3	0.4696
4	0.6744
5	0.7212
6	0.6176
7	0.5726
8	0.8463
9	0.7357
10	0.723
11	0.5652
12	0.4669
13	0.6331
14	0.7887
15	0.4508
16	0.5486
17	0.604
18	0.5421
19	0.6427
20	0.5927
21	0.697
22	0.885
23	0.5606
24	0.6955
25	0.6169

Con los datos anteriores y haciendo uso del programa StatGraphic, se obtuvo el número de replicas necesarias para el pedido IV, que cumplen con la tolerancia exigida por la empresa. Los resultados se muestran en la tabla N° 9.

Tabla N° 9. Análisis del número de corridas para la primera secuencia del modelo 1.

Pedidos (posición en la secuencia)	\bar{X} (días)	S (días)	Número de corridas necesarias para cumplir con la tolerancia
IV (8)	0.636644	0.112305	27

El número de replicas necesarias que arrojó el programa fue de 27, luego éste valor se ingresó al simulador y se obtuvieron los resultados que se presentan a continuación en la tabla N° 10.

Tabla N° 10. Resultados de la primera secuencia para el modelo 1.

Pedidos (posición en la secuencia)	Holgura promedio (días)
I (4)	8,5451 ± 0,04
II (3)	7,5892 ± 0,02
III (7)	7,5166 ± 0,04
IV (8)	0,6399 ± 0,04
V (5)	0,9186 ± 0,05
VI (6)	3,6899 ± 0,04
VII (2)	3,1312 ± 0,02
VIII (1)	17,2803 ± 0,03

Tabla N° 11. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para la primera secuencia del modelo 1.

Pedido	Tipo de ítem	Tamaño del lote (unidades)	Holgura promedio (días)	Costo promedio por almacenamiento del pedido (Bs.F)	Costo promedio por retraso del pedido (Bs.F)	Total (Bs.F)
I	1	320	8,5451	1640,65	0	1640,65
II	5	600	7,5892	1366,05	0	1366,05
III	2	360	7,5166	1082,39	0	1082,39
IV	2	350	0,6399	89,58	0	89,58
V	3	500	0,9186	45,93	0	45,93
VI	5	224	3,6899	247,96	0	247,96
VII	4	400	3,1312	626,24	0	626,24
VIII	1	200	17,2803	2073,63	0	2073,63
Costo promedio total de la secuencia						7172,46

En la secuencia estudiada se obtuvo un nivel de servicio del 100%, lo cual cumple con la prioridad de la empresa (maximizar el nivel de servicio). Sin embargo, existen valores que se podrían mejorar para obtener así un mejor rendimiento del sistema, como por ejemplo: el pedido VIII fue el primero en la secuencia de producción y arrojó una holgura de 17,28 días, lo que ocasiona que el pedido se almacene por más de dos semanas arrojando un costo promedio de almacenamiento de Bs.F 2073,636 razón por la cual el pedido se puede fabricar en posiciones posteriores de la secuencia de producción.

Otra situación de alerta acerca de los resultados, son los pedido I, II, III secuenciados en las posiciones 4, 3 y 7 los cuales arrojan holguras promedios de 8,5451; 7,5892 y 7,5166 días respectivamente. El pedido I genera un costo promedio de almacenamiento de Bs.F 1640,6592, el pedido II de Bs.F 1366,056 y

finalmente el pedido III acarrea un costo promedio de Bs.F 1082,3904. Con base en los resultados anteriores se plantea una secuencia que busca mantener el nivel de servicio y mejore los costos de posesión en los que incurre la empresa.

La opción propuesta para el pedido VIII será intercambiar posición con el pedido VII la cual se encuentra actualmente en la segunda posición. Mientras que el pedido III será intercambiado con el pedido IV, el pedido I pasará a la quinta posición la cual le correspondía al pedido V, el pedido II pasará a la cuarta posición y finalmente el quinto pedido será secuenciado en la tercera posición. Ver tabla N° 12.

Tabla N° 12. Segunda secuencia de producción a probar del modelo 1.

Pedido	Tipo de ítem	Tamaño del lote (unidades)	Fecha de entrega (días)	Posición en la secuencia
I	1	320	38	5
II	5	600	30	4
III	2	360	52	8
IV	2	350	48	7
V	3	500	40	3
VI	5	224	45	6
VII	4	400	15	1
VIII	1	200	22	2

Para esta segunda secuencia se usaran las 27 replicas calculadas anteriormente y se comprobará si los resultados se ajustan a la tolerancia de $\pm 7\%$ exigida por la empresa, usando un $\alpha=0.05$.

Luego de simular la nueva secuencia de producción se obtuvieron los resultados que aparecen en la tabla N° 13.

Tabla N° 13. Resultados de la segunda secuencia para el modelo 1.

Pedidos (posición en la secuencia)	Holgura promedio (días)
I (5)	1,9620 ± 0,05
II (4)	0,9930 ± 0,02
III (8)	3,6891 ± 0,05
IV (7)	0,7630 ± 0,05
V (3)	17,2858 ± 0,04
VI (6)	6,7283 ± 0,05
VII (1)	6,3301 ± 0,01
VIII (2)	8,8932 ± 0,04

Para determinar si el número de corridas es suficiente se debe comprobar que todos los valores de las holguras se encuentren contemplados dentro de las tolerancias fijadas.

En la tabla N° 14 se muestran estos valores ya calculados, y para cada uno de los lotes se señala si cumplen o no con la tolerancia deseada.

Tabla N° 14. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para la segunda secuencia del modelo 1.

Pedidos (posición en la secuencia)	Holgura promedio (días)	Tolerancia Min. 7%	Tolerancia Máx. 7%	
I (5)	1,9620 ± 0,05	1,82466	2,09934	Cumple
II (4)	0,9930 ± 0,02	0,92349	1,06251	Cumple
III (8)	3,6891 ± 0,05	3,430863	3,947337	Cumple
IV (7)	0,7630 ± 0,05	0,70959	0,81641	Cumple
V (3)	17,2858 ± 0,04	16,075794	18,495806	Cumple
VI (6)	6,7283 ± 0,05	6,257319	7,199281	Cumple
VII (1)	6,3301 ± 0,01	5,886993	6,773207	Cumple
VIII (2)	8,8932 ± 0,04	8,270676	9,515724	Cumple

Ya que todos los intervalos de confianza se encuentran dentro de la tolerancia exigida no es necesario realizar más replicas, razón por la cual los datos obtenidos anteriormente son representativos. Ver tabla N° 13.

A continuación se presenta la tabla N° 15 con los costos de almacenamiento y retraso que presenta la secuencia de producción evaluada.

Tabla Nº 15. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para la segunda secuencia del modelo 1.

Pedido	Tipo de ítem	Tamaño del lote (unidades)	Holgura promedio (días)	Costo promedio por almacenamiento del pedido (Bs.F)	Costo promedio por retraso del pedido (Bs.F)	Total (Bs.F)
I	1	320	1,962	376,70	0	376,70
II	5	600	0,993	178,74	0	178,74
III	2	360	3,6891	531,23	0	531,23
IV	2	350	0,763	106,82	0	106,82
V	3	500	17,2858	864,29	0	864,29
VI	5	224	6,7283	452,14	0	452,14
VII	4	400	6,3301	1266,02	0	1266,02
VIII	1	200	8,8932	1067,18	0	1067,18
Costo promedio total de la secuencia						4843,13

Con ésta secuencia se observa que el nivel de servicio es del 100%, además el pedido VIII logró disminuir su holgura de 17,2803 a 8,8932 días, lo cual conlleva a menos tiempo de almacenamiento y por lo tanto menor costo promedio de posesión, sin embargo, el pedido VII aumento su holgura de 3,1312 a 6,3301 días. Con el cambio de posición del pedido III el sistema arrojó para éste una holgura de 3,6891 días, disminuyéndola en 3,8275 días de la secuencia anterior, no obstante el pedido IV aumentó su holgura de 0,6399 a 0,7630 días lo cual no acrecienta los costos promedios de manera significativa. Por otra parte el pedido I redujo su holgura de 8,5451 a 1,9620 días, el pedido II disminuyó de 7,5892 a 0,9930 días, y finalmente el pedido V aumentó de 0,9186 a 17,2858 días lo cual parece alarmante, no obstante el pedido V esta conformado por el producto que tiene el menor costo por almacenamiento y por lo tanto al evaluar los costos promedios de la secuencia se encontró que estos se redujeron en un 32,48 % con respecto a la secuencia anterior.

Se evaluó una nueva secuencia con el fin de reducir los días de holgura del pedido V, este consiste en intercambiar de posición al pedido, que cuenta con una holgura de 17,2858 días y fue el número tres en la secuencia; con el pedido II que tiene 0.9930 días de holgura y fue secuenciado en la cuarta posición. Ver tabla N° 16.

Tabla N° 16. Tercera secuencia de producción a probar del modelo 1.

Pedido	Tipo de ítem	Tamaño del lote (unidades)	Fecha de entrega (días)	Posición en la secuencia
I	1	320	38	5
II	5	600	30	3
III	2	360	52	8
IV	2	350	48	7
V	3	500	40	4
VI	5	224	45	6
VII	4	400	15	1
VIII	1	200	22	2

En esta secuencia se aplicaran 27 replicas y se comprobará si los resultados se ajustan a la tolerancia de $\pm 7\%$ exigida por la empresa, usando un $\alpha=0.05$.

Luego de simular la tercera secuencia de producción se obtuvieron los resultados que aparecen en la tabla N° 17.

Tabla N° 17. Resultados de la tercera secuencia para el modelo 1.

Pedidos (posición en la secuencia)	Holgura promedio (días)
I (5)	-1 ± 0,06
II (3)	7,6248 ± 0,02
III (8)	0,7389 ± 0,05
IV (7)	7,8128 ± 0,06
V (4)	7,9352 ± 0,03
VI (6)	3,7781 ± 0,05
VII (1)	6,3304 ± 0,01
VIII (2)	8,8778 ± 0,03

Para determinar si los datos son representativos se deben comparar los intervalos de confianza de cada pedido con la tolerancia fijada por la empresa. Ver tabla N° 18.

Tabla N° 18. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para la tercera secuencia del modelo 1.

Pedidos (posición en la secuencia)	Holgura promedio (días)	Tolerancia Min. 7%	Tolerancia Máx. 7%	
I (5)	-1 ± 0,06	-1,07	-0.93	Cumple
II (3)	7,6248 ± 0,02	7,091064	8,158536	Cumple
III (8)	0,7389 ± 0,05	0,687177	0,790623	Cumple
IV (7)	7,8128 ± 0,06	7,265904	8,359696	Cumple
V (4)	7,9352 ± 0,03	7,379736	8,490664	Cumple
VI (6)	3,7781 ± 0,05	3,513633	4,042567	Cumple
VII (1)	6,3304 ± 0,01	5,887272	6,773528	Cumple
VIII (2)	8,8778 ± 0,03	8,256354	9,499246	Cumple

Debido a que todos los intervalos de confianza se encuentran dentro de la tolerancia fijada no es necesario realizar más replicas, por lo tanto los datos obtenidos anteriormente son representativos. Ver tabla 17.

A continuación se presentará la tabla N° 19 exponiendo los costos generados por la presente secuencia.

Tabla N° 19. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para la tercera secuencia del modelo 1.

Pedido	Tipo de ítem	Tamaño del lote (unidades)	Holgura promedio (días)	Costo promedio por almacenamiento del pedido (Bs.F)	Costo promedio por retraso del pedido (Bs.F)	Total (Bs.F)
I	1	320	-1	0	576	576
II	5	600	7,6248	1372,46	0	1372,46
III	2	360	0,7389	106,40	0	106,40
IV	2	350	7,8128	1093,79	0	1093,79
V	3	500	7,9352	396,76	0	396,76
VI	5	224	3,7781	253,89	0	253,89
VII	4	400	6,3304	1266,08	0	1266,08
VIII	1	200	8,8778	1065,34	0	1065,34
Costo promedio total de la secuencia						6130,72

Con esta secuencia se observa que el nivel de servicio es de 87.5% debido a que el primer pedido no será entregado a tiempo, razón por la cual esta secuencia es la menos factible para la empresa, debido a que su prioridad es el nivel de servicio.

Finalmente de las tres secuencias estudiadas se puede concluir que para este ejemplo la mejor es la segunda ya que además de que arrojó un nivel de servicio del 100% sus costos promedios por almacenamiento son de Bs.F 4843,13 y por lo tanto los más bajos.

3.1.2 Modelo 2. Trabajando con FLOW SHOP, empujando la producción y el paso por cada centro de trabajo se realiza de forma que hasta que se ejecute la operación (o conjunto de ellas) sobre todos los artículos o unidades del lote no pasan estos al siguiente centro de trabajo.

3.1.2.1 Datos de entrada.

El modelo construido permite determinar la secuencia considerando hasta un máximo de diez pedidos, los tiempos de puesta a punto en la estación j ($j=1, \dots, 5$), se consideran variables aleatorias y los tiempos de procesar una unidad del ítem i ($i=1, \dots, 5$), en la estación j ($j=1, \dots, 5$) son variables aleatorias. Ver tablas N° 20 y 21.

Tabla N° 20. Tiempos de puesta a punto en cada estación.

Estación	Distribución	Unidad de medida
A	Triangular (0,5 ; 0,8 ; 1,5)	Horas
B	Triangular (1 ; 1,2 ; 1,8)	Horas
C	Triangular (0,2 ; 0,7 ; 0,9)	Horas
D	Triangular (0,5 ; 1 ; 1,5)	Horas
E	Triangular (0,3 ; 1,6 ; 2)	Horas

Tabla Nº 21. Tiempo de procesamiento de una unidad del ítem i en la estación j.

Tipo de ítem	Estación	Distribución	Unidad de medida
1	A	Normal (10 ; 2)	Minutos
1	B	Uniforme (12 ; 14)	Minutos
1	C	Uniforme (10 ; 12)	Minutos
1	D	Normal (13 ; 1)	Minutos
1	E	Normal (18 ; 4)	Minutos
2	A	Normal (11 ; 1,5)	Minutos
2	B	Normal (12 ; 2)	Minutos
2	C	Triangular (9 ; 11 ; 12)	Minutos
2	D	Normal (13 ; 2)	Minutos
2	E	Uniforme (15 ; 18)	Minutos
3	A	Normal (11 ; 0,7)	Minutos
3	B	Triangular (8 ; 10 ; 13)	Minutos
3	C	Uniforme (8 ; 15)	Minutos
3	D	Uniforme (10 ; 12)	Minutos
3	E	Normal (16 ; 2,5)	Minutos
4	A	Uniforme (8 ; 12)	Minutos
4	B	Normal (13 ; 3)	Minutos
4	C	Uniforme (15 ; 20)	Minutos
4	D	Uniforme (15 ; 20)	Minutos
4	E	Uniforme (13 ; 16)	Minutos
5	A	Triangular (7 ; 9 ; 11)	Minutos
5	B	Uniforme (10 ; 13)	Minutos
5	C	Normal (13 ; 2)	Minutos
5	D	Triangular (13 ; 14 ; 17)	Minutos
5	E	Triangular (7 ; 8 ; 9)	Minutos

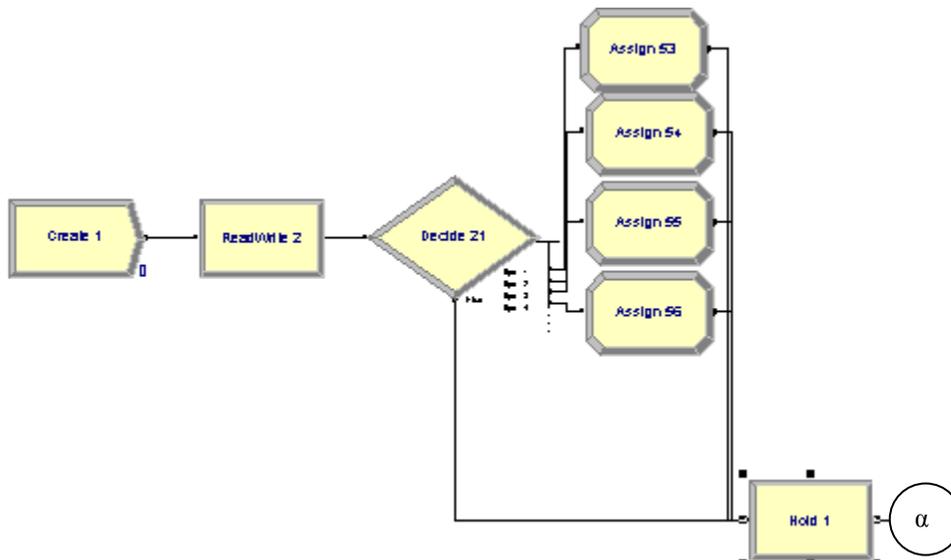
Además de la información que se presenta anteriormente para el correcto funcionamiento del modelo es necesario que el usuario ingrese los siguientes datos: el número de pedidos a secuenciar y para cada pedido debe indicar el tipo de producto o ítem, el tamaño del lote que se debe elaborar, la fecha de entrega (número de días en que debe estar lista la orden) y la posición del pedido dentro de la secuencia de producción.

3.1.2.2 DIAGRAMA Y EXPLICACIÓN DEL MODELO

El modelo a construir busca evaluar para cada secuencia alimentada en el sistema la holgura que presenta cada pedido, esto con el fin de poder así determinar aquella secuencia que logre el mejor nivel de servicio posible.

El modelo comienza con un nodo *create* Ver figura 7, encargado de generar tantas entidades (pedidos) como diga el archivo número de pedidos. Los pedidos que salen del *create* se dirigen hacia un nodo *readwrite* que le asigna a cada pedido el tamaño del lote que tendrá, el tipo de producto que lo conforma, la fecha de entrega y su posición en la secuencia de producción. Luego de salir del *readwrite* los pedidos pasan por un nodo *decide* el cual identifica el tipo de producto que maneja el lote para luego pasar al nodo *assign* donde se le fija la imagen que le corresponde a cada producto, una vez finalizada ésta actividad, el ciclo de la primera etapa finaliza en el nodo *hold* quien está encargado de retener a los pedidos hasta que lleguen todos, para así poder ordenarlos según la secuencia alimentada por el usuario.

Figura 5. Primera etapa del modelo 2.

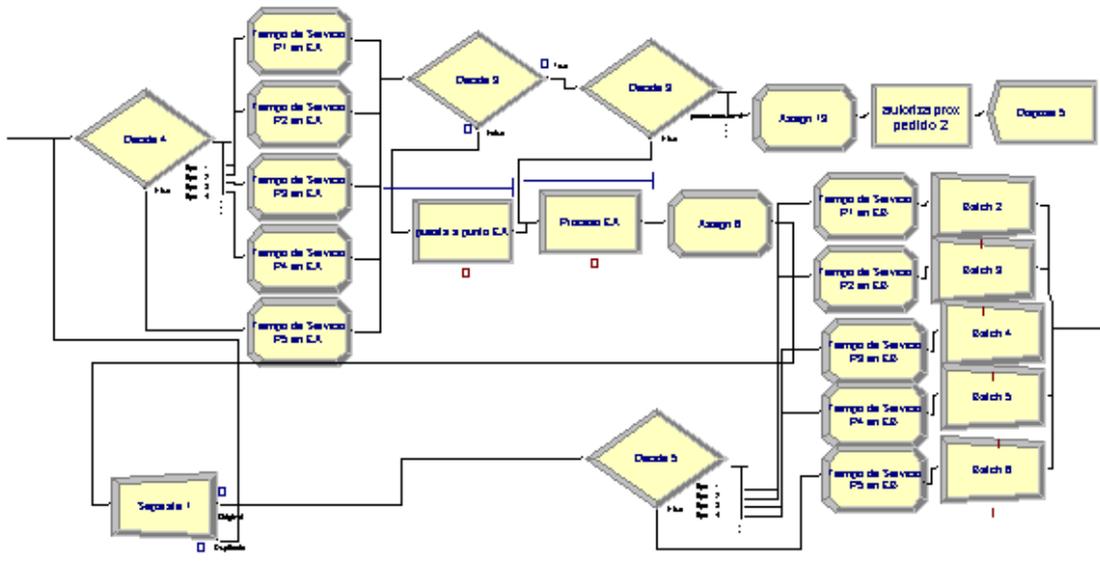


La cadena continua con la segunda etapa del modelo al que se puede definir como la ESTACIÓN A de la planta, aquí se realiza la primera fase de producción. Esta comienza cuando se libera el primer pedido y se dirige a un nodo *decide* Ver figura 8, El cual identifica el tipo de producto que se va a procesar, de allí lo envía a su correspondiente nodo *assign* quien establece a cada unidad el tiempo de procesamiento de la ESTACIÓN A para cada producto, además este nodo define una variable llamada procesadas en A. Cada una de las unidades al salir de su *assign* se dirigen a un mismo nodo *decide* que pregunta si ¿la unidad a procesar por la estación A es igual a la última unidad procesada por la estación A?

- En caso de ser positiva la respuesta es porque la unidad que procesó anteriormente la estación es igual a la próxima que se va a procesar y por lo tanto la estación no requiere de puesta punto para continuar el recorrido, la unidad continua hacia otro nodo *decide* el cual pregunta ¿procesadas en A es igual al tamaño del lote?
 - ✓ En caso de ser afirmativa la respuesta es porque el lote ha sido culminado y la unidad se dirige a un nodo *signal* el cual se encarga de autorizar la entrada a la estación A del próximo pedido a procesar.

- ✓ El caso contrario se debe a que faltan unidades por fabricar para completar el lote. La unidad continúa el recorrido en un nodo *process* donde se simula el procesamiento de la pieza en dicha estación. Luego la unidad se dirige a un nodo *assign* encargado de registrar el último tipo de producto que fue procesado, de allí pasa a un nodo *decide* el cual identifica el tipo de producto, para luego ser enviado a su correspondiente *assign* donde le será asignado el tiempo de procesamiento de la siguiente estación según el tipo de producto, al salir de allí continúa el recorrido en un nodo *batch* el cual almacena las unidades hasta completar el lote, lo que quiere decir que ninguna unidad será procesada por la estación B hasta que no haya sido culminado el lote completo por la estación anterior.
- Si la respuesta es negativa se debe a que la unidad que se va a procesar no es igual a la última unidad procesada, por lo tanto la estación A requiere de una puesta punto que se realiza por medio de un nodo *process*. Una vez que la unidad sale de allí continúa el recorrido en otro *process* donde se simula el procesamiento de la pieza. Luego la unidad se dirige a un nodo *assign* donde se registra el tipo de producto que fue procesado, posteriormente pasa a un *decide* el cual identifica el tipo de producto, para luego ser enviado a su correspondiente *assign* donde se le asignará el tiempo de procesamiento de la siguiente estación según el tipo de producto, al salir de allí continúa el recorrido en un nodo *batch* el cual almacena las unidades hasta completar el lote, lo que quiere decir que ninguna unidad será procesada por la estación B hasta que no haya sido culminado el lote completo por la estación anterior.

Figura 6. Segunda etapa correspondiente a la estación A del modelo 2.



La tercera, cuarta, quinta y sexta etapa del modelo corresponden a la segunda, tercera, cuarta y quinta estación de la planta respectivamente y operan como se describe a continuación. Para efectos del trabajo solo se explicara la segunda estación o ESTACIÓN B.

Al igual que la primera estación empiezan con un nodo *decide* ver figura 9, cuya función es preguntar si ¿la unidad que se va a procesar es la primera que pasa por la estación B?

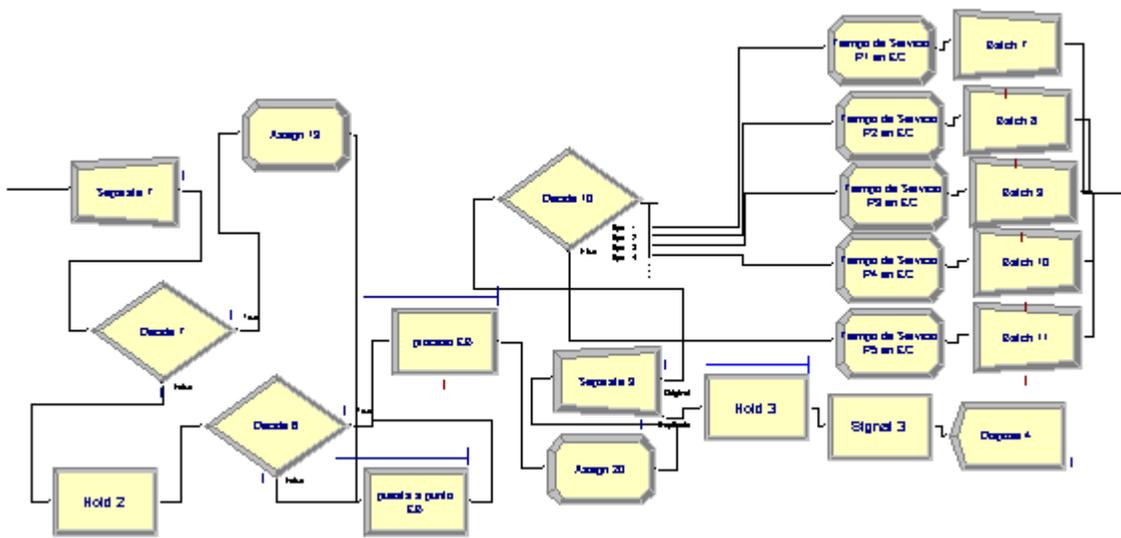
- De ser positiva la respuesta es porque está entrando a la estación B la primera unidad y por lo tanto se va a requerir una puesta punto. El recorrido continúa en un nodo *assign* que se encarga de modificar la variable procesadas en B. Luego en un *process* se realiza la puesta a punto de la estación B y de allí la unidad pasa a otro *process* donde se ejecuta el procesamiento de la pieza en la estación. Posteriormente ésta pasa a un nodo *assign* encargado de leer que tipo de producto fue procesado por la estación, luego la pieza es enviada a un nodo *decide* el cual identifica el tipo de producto y lo envía a su correspondiente nodo *assign* el cual le

establece el tiempo de procesamiento de la siguiente estación, de allí se dirige a un nodo *batch* el cual acumula las unidades para liberarlas una vez que el pedido halla sido completado. Si la estación de la que está saliendo la pieza es la E, entonces al salir del procesamiento se dirige a la última etapa del modelo.

- En caso de ser negativa la respuesta es porque ya fue procesada la primera unidad en la estación, por lo tanto no es necesaria la puesta punto de esta, la unidad continúa el recorrido en un nodo *decide* el cual pregunta si ¿la unidad a procesar por la estación B es igual a la última unidad procesada por la estación B?, esto con el fin de determinar si es necesario realizar una puesta punto.
 - ✓ En caso de ser afirmativa la respuesta es porque se está trabajando con el mismo tipo de artículo, y por lo tanto no se requiere de la puesta punto, sino que la pieza pasa directamente al nodo donde es procesada. Posteriormente ésta se dirige a un nodo *assign* encargado de leer que tipo de producto que fue procesado por la estación, luego la pieza es enviada a un nodo *decide* el cual identifica el tipo de producto y lo envía a su correspondiente *assign* el cual le establece el tiempo de procesamiento de la siguiente estación, de allí se dirige a un nodo *batch* el cual acumula las unidades para liberarlas una vez que el pedido halla sido completado. Si la estación de la que está saliendo la pieza es la E, entonces del procesamiento se dirige a la última estación.
 - ✓ De ser negativa la respuesta es porque el artículo que ésta entrando a la estación es diferente al procesado justamente anterior a él, entonces la pieza va a un nodo *process* donde se realiza la puesta punto y de allí la pieza es procesada en un *process* para posteriormente dirigirse a un nodo *assign* encargado de leer que tipo de producto fue procesado por la estación, en seguida la pieza es enviada a un nodo *decide* el cual identifica el tipo de producto y lo envía a su correspondiente nodo *assign* el cual le establece el

tiempo de procesamiento de la siguiente estación, de allí se dirige a un nodo *batch* el cual acumula las unidades para liberarlas una vez que el pedido halla sido completado. Esto se repite para las ESTACIONES C, D y E. Si la estación de la que está saliendo la pieza es la E, entonces luego de su procesamiento será enviada a la última etapa del modelo.

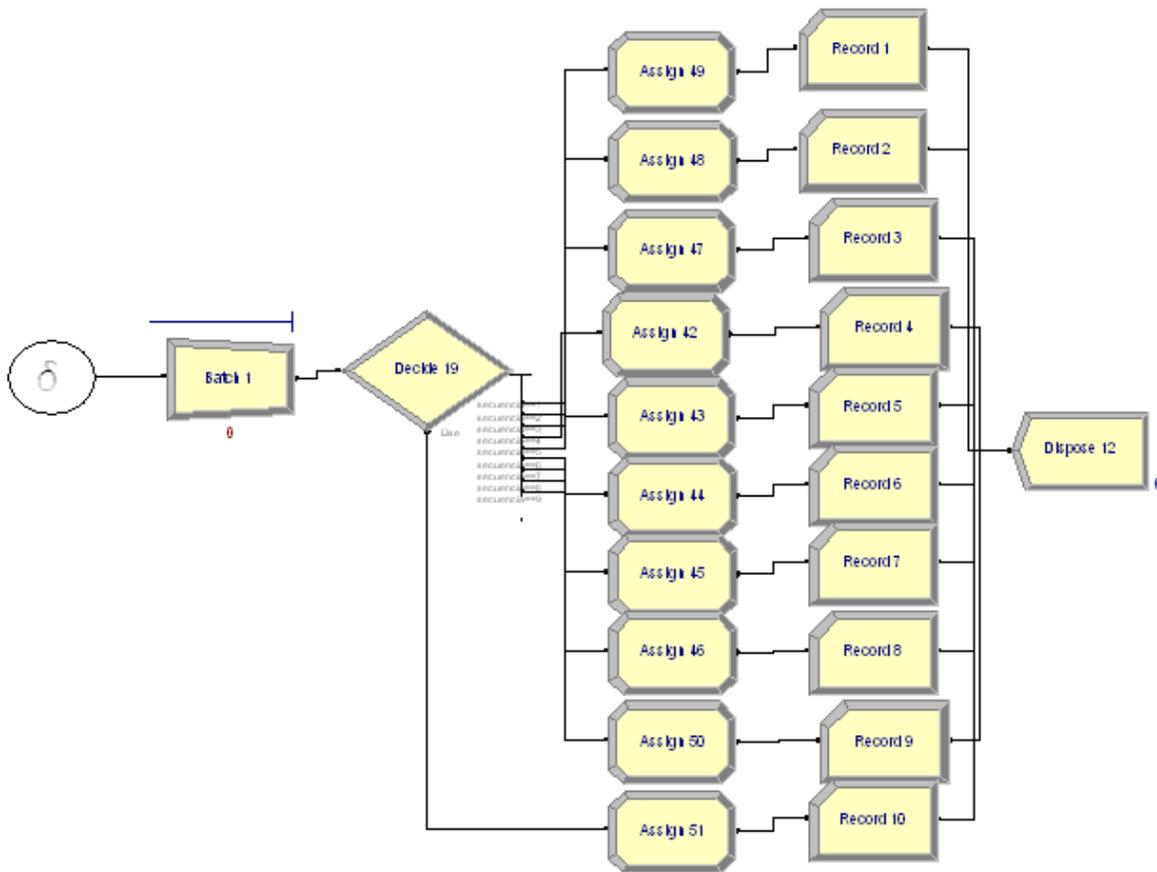
Figura 7. Tercera etapa correspondiente a la estación B del modelo 2.



La última etapa del modelo es cuando la unidad sale de la ESTACIÓN E y va a un nodo *batch* Ver figura 10, que almacena unidades hasta completar el pedido. Luego de culminado el lote, este pasa a un nodo *decide* el cual identifica que pedido es, enviándolo a su correspondiente nodo *assign*, aquí se le añade una característica al pedido llamada holgura.

Esto con el fin de poder observar la disponibilidad de tiempo que se tiene para entregar cada pedido. Al salir del *assign* pasa por un nodo *record* quien se encarga de almacenar la información para que pueda aparecer en los reportes. Finalmente la unidad al salir del *record* pasa a un nodo *dispose* para ser destruida.

Figura 8. Séptima etapa correspondiente a la recopilación de la información para el modelo 2.



EJEMPLO 2.

El siguiente ejemplo pertenece a una empresa que posee una estructura FLOW SHOP, que empuja la producción y el paso por cada centro de trabajo se realiza de forma que hasta que se ejecute la operación (o conjunto de ellas) sobre todas las unidades del lote no pasan estas a la siguiente estación o centro de trabajo. La empresa labora 14 horas diarias, todos los días de la semana.

La tabla N° 22 presenta las características de los siguientes 8 pedidos, la empresa desea determinar una secuencia que proporcione un nivel de servicio satisfactorio.

Tabla Nº 22. Características de los pedidos para el modelo 2.

Pedido	Tipo de ítem	Tamaño del lote (unidades)	Fecha de entrega (días)
I	1	320	38
II	5	600	30
III	2	360	56
IV	2	350	56
V	3	500	40
VI	5	224	45
VII	4	400	15
VIII	1	200	22

A continuación se presentan los costos por unidad por día de almacenamiento y retraso de cada ítem. Ver tabla Nº 23.

Tabla Nº 23. Costos por almacenamiento y retraso de los ítems.

Tipo de ítem	Costo por unidad por día de almacenamiento (Bs.F/U*día)	Costo por unidad por día de retraso (Bs.F/U*día)
1	0,6	1,8
2	0,4	1,6
3	0,1	0,3
4	0,5	1,5
5	0,3	0,6

Posteriormente el usuario ingresa en el archivo “atributo de pedidos.txt”, la posición de cada pedido en la secuencia de producción que se desea probar. Ver tabla Nº 24.

Tabla Nº 24. Primera secuencia de producción a probar del modelo 2.

Pedido	Tipo de ítem	Tamaño del lote (unidades)	Fecha de entrega (días)	Posición en la secuencia
I	1	300	36	3
II	1	220	55	7
III	2	220	29	2
IV	2	210	55	6
V	3	225	44	5
VI	5	250	59	8
VII	3	240	44	4
VIII	4	250	29	1

Luego se determinó el número de corridas necesarias para que el estudio cuente con la tolerancia exigida por la empresa en las estimaciones a realizar, en este caso se utilizará una tolerancia de $\pm 7\%$. Se realizó un estudio piloto de 25 replicas y usando un $\alpha=0.05$ se obtuvieron los siguientes resultados. Ver tabla 25.

Tabla Nº 25. Resultados de la primera secuencia para el modelo 2.

Pedido (posición en la secuencia)	Holgura promedio (días)
I (3)	3,2333 \pm 0,06
II (7)	4,2423 \pm 0,08
III (2)	2,7614 \pm 0,04
IV (6)	9,0391 \pm 0,07
V (5)	2,2646 \pm 0,07
VI (8)	5,7705 \pm 0,08
VII (4)	6,5447 \pm 0,06
VIII (1)	7,1661 \pm 0,04

Para determinar si el número de corridas es suficiente se debe comprobar que todos los valores de las holguras se encuentren contemplados dentro de las tolerancias establecidas.

En la tabla N° 26 se muestran los valores ya calculados, y para cada uno de los lotes se señala si cumplen o no con la tolerancia fijada.

Tabla N° 26. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para la primera secuencia del modelo 2.

Pedido (posición en la secuencia)	Holgura promedio (días)	Tolerancia Min. 7%	Tolerancia Máx. 7%	
I (3)	3,2333 ± 0,06	3,00697	3,45963	Cumple
II (7)	4,2423 ± 0,08	3,94534	4,53926	Cumple
III (2)	2,7614 ± 0,04	2,5681	2,9547	Cumple
IV (6)	9,0391 ± 0,07	8,40636	9,67184	Cumple
V (5)	2,2646 ± 0,07	2,10608	2,42312	Cumple
VI (8)	5,7705 ± 0,08	5,36657	6,17444	Cumple
VII (4)	6,5447 ± 0,06	6,08657	7,00283	Cumple
VIII (1)	7,1661 ± 0,04	6,66447	7,66773	Cumple

Ya que todos los intervalos de confianza se encuentran dentro de la tolerancia exigida no es necesario realizar más replicas, razón por la cual los datos obtenidos anteriormente son representativos. Ver tabla N° 25.

A continuación se presentará la tabla N° 27 mostrando los costos generados por la primera secuencia del segundo modelo.

Tabla N° 27. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para la primera secuencia del modelo 2.

Pedido	Tipo de ítem	Tamaño del lote (unidades)	Holgura promedio (días)	Costo promedio por almacenamiento del pedido (Bs.F)	Costo promedio por retraso del pedido (Bs.F)	Total (Bs.F)
I	1	300	3,2333	581,99	0	581,99
II	1	220	4,2423	559,98	0	559,98
III	2	220	2,7614	243,00	0	243,00
IV	2	210	9,0391	759,28	0	759,28
V	3	225	2,2646	50,95	0	50,95
VI	5	250	5,7705	432,78	0	432,78
VII	3	240	6,5447	157,07	0	157,07
VIII	4	250	7,1661	895,76	0	895,76
Costo promedio total de la secuencia						3680,84

En la secuencia estudiada se obtuvo un nivel de servicio del 100%, lo cual cumple con la prioridad de la empresa (maximizar el nivel de servicio). Sin embargo, existen valores que se podrían mejorar para obtener así un mejor rendimiento del sistema, como por ejemplo: el pedido IV fue el sexto en la secuencia de producción y arrojó una holgura de 9,0391 días, lo que implica que el pedido tenga un costo promedio por almacenamiento de Bs.F 759,28 siendo éste el segundo más alto de los costos de la secuencia, razón por la cual se estudiará el impacto en la holgura al procesar el pedido en otra posición. Mientras que el pedido VIII posee una holgura de 7,1661 días lo cual conlleva un costo promedio por almacenamiento de BsF 895,76 siendo el más alto para esta secuencia y motivo por el cual se ha decidido mover de posición.

Entonces por lo anteriormente expuesto se estudiará el impacto al variar el pedido IV en la posición del pedido V, mientras que el pedido VIII será intercambiado de posición con el pedido III, todo esto con el fin de intentar reducir los costos por almacenamiento. Ver tabla 28.

Tabla N° 28. Segunda secuencia de producción a probar del modelo 2.

Pedido	Tipo de ítem	Tamaño del lote (unidades)	Fecha de entrega (días)	Posición en la secuencia
I	1	300	36	3
II	1	220	55	7
III	2	220	29	1
IV	2	210	55	5
V	3	225	44	6
VI	5	250	59	8
VII	3	240	44	4
VIII	4	250	29	2

Para esta segunda secuencia se usaran las 25 replicas calculadas en la parte anterior y se comprobará si los resultados se ajustan a la tolerancia de $\pm 7\%$ exigida por la empresa, usando un $\alpha=0.05$.

Luego de simular la nueva secuencia de producción se obtuvieron los resultados que aparecen en la tabla N° 29.

Tabla N° 29. Resultados de la segunda secuencia para el modelo 2.

Pedido (posición en la secuencia)	Holgura promedio (días)
I (3)	4,2160 \pm 0,05
II (7)	5,1124 \pm 0,06
III (1)	12,2050 \pm 0,04
IV (5)	14,3067 \pm 0,05
V (6)	-1 \pm 0,05
VI (8)	6,6350 \pm 0,06
VII (4)	7,5303 \pm 0,05
VIII (2)	4,0137 \pm 0,05

Con los resultados obtenidos se debe verificar si se está cumpliendo con la tolerancia exigida por la empresa que es de un $\pm 7\%$, esto se realiza verificando que el intervalo de confianza se encuentre dentro de la tolerancia. Ver tabla 30.

Tabla N° 30. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para la segunda secuencia del modelo 2.

Pedido (posición en la secuencia)	Holgura promedio (días)	Tolerancia Min. 7%	Tolerancia Máx. 7%	
I (3)	4,2160 \pm 0,05	3,92088	4,51112	Cumple
II (7)	5,1124 \pm 0,06	4,754532	5,470268	Cumple
III (1)	12,2050 \pm 0,04	11,35065	13,05935	Cumple
IV (5)	14,3067 \pm 0,05	13,305231	15,308169	Cumple
V (6)	-1 \pm 0,05	-1,07	-0,93	Cumple
VI (8)	6,6350 \pm 0,06	6,17055	7,09945	Cumple
VII (4)	7,5303 \pm 0,05	7,003179	8,057421	Cumple
VIII (2)	4,0137 \pm 0,05	3,732741	4,294659	Cumple

Debido a que los valores de holgura se encuentran dentro de la tolerancia exigida por la empresa, las 25 repeticiones fueron suficientes para cumplir con la condición exigida, por lo tanto los resultados mostrados en la tabla N° 29 son representativos.

A continuación se presentará la tabla N° 31 mostrando los costos generados por la segunda secuencia del segundo modelo.

Tabla Nº 31. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para la segunda secuencia del modelo 2.

Pedido	Tipo de ítem	Tamaño del lote (unidades)	Holgura promedio (días)	Costo promedio por almacenamiento del pedido (Bs.F)	Costo promedio por retraso del pedido (Bs.F)	Total (Bs.F)
I	1	300	4,216	758,88	0	758,88
II	1	220	5,1124	674,83	0	674,83
III	2	220	12,205	1074,04	0	1074,04
IV	2	210	14,3067	1201,76	0	1201,76
V	3	225	-1	0	67,5	67,50
VI	5	250	6,635	497,62	0	497,62
VII	3	240	7,5303	180,72	0	180,72
VIII	4	250	4,0137	501,71	0	501,71
Costo promedio total de la secuencia						4957,08

Con esta secuencia se observa que el nivel de servicio es de 87.5% debido a que el quinto pedido no será entregado a tiempo y por lo tanto esta secuencia es menos factible para la empresa, debido a que su prioridad es el nivel de servicio. Además los costos promedios totales por almacenamiento en los que incurre la empresa para la primera secuencia son de Bs.F 3680,84; mientras que para la segunda secuencia el costo promedio en el que incurre la empresa es de Bs.F 4957,08, razón por la cual la primera secuencia es, en este caso mejor opción.

Se plantea nuevamente para la primera secuencia intercambiar de posición solo el pedido IV con el pedido V, para estudiar así el impacto de esta variación en la secuencia. Ver tabla 32.

Tabla N° 32. Tercera secuencia de producción a probar del modelo 2.

Pedido	Tipo de ítem	Tamaño del lote (unidades)	Fecha de entrega (días)	Posición en la secuencia
I	1	300	36	3
II	1	220	55	7
III	2	220	29	2
IV	2	210	55	5
V	3	225	44	6
VI	5	250	59	8
VII	3	240	44	4
VIII	4	250	29	1

En esta tercera secuencia se usaran las 25 replicas calculadas en la primera parte y se comprobará si los resultados se ajustan a la tolerancia de $\pm 7\%$ exigida por la empresa, usando un $\alpha=0.05$.

Luego de simular la nueva secuencia de producción se obtuvieron los resultados que aparecen en la tabla N° 33.

Tabla N° 33. Resultados de la tercera secuencia para el modelo 2.

Pedido (posición en la secuencia)	Holgura promedio (días)
I (3)	3,2333 \pm 0,06
II (7)	4,2423 \pm 0,06
III (2)	2,7614 \pm 0,04
IV (5)	2,2646 \pm 0,07
V (6)	9,0391 \pm 0,07
VI (8)	5,7705 \pm 0,08
VII (4)	6,5447 \pm 0,06
VIII (1)	7,1661 \pm 0,04

Con los resultados obtenidos se debe verificar si se está cumpliendo con la tolerancia exigida por la empresa que es de un $\pm 7\%$, esto se realiza verificando que el intervalo de confianza se encuentre dentro de la tolerancia. Ver tabla 34.

Tabla N° 34. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para la tercera secuencia del modelo 2.

Pedido (posición en la secuencia)	Holgura promedio (días)	Tolerancia Min. 7%	Tolerancia Máx. 7%	
I (3)	3,2333 \pm 0,06	3,006969	3,459631	Cumple
II (7)	4,2423 \pm 0,06	3,945339	4,539261	Cumple
III (2)	2,7614 \pm 0,04	2,568102	2,954698	Cumple
IV (5)	2,2646 \pm 0,07	2,106078	2,423122	Cumple
V (6)	9,0391 \pm 0,07	8,406363	9,671837	Cumple
VI (8)	5,7705 \pm 0,08	5,366565	6,174435	Cumple
VII (4)	6,5447 \pm 0,06	6,086571	7,002829	Cumple
VIII (1)	7,1661 \pm 0,04	6,664473	7,667727	Cumple

Debido a que los valores de holgura se encuentran dentro de la tolerancia exigida por la empresa, las 25 repeticiones fueron suficientes para cumplir con la condición exigida, por lo tanto los resultados mostrados en la tabla N° 33 son representativos.

A continuación se presentará la tabla N° 35 mostrando los costos generados por la segunda secuencia del segundo modelo.

Tabla N° 35. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para la tercera secuencia del modelo 2.

Pedido	Tipo de ítem	Tamaño del lote (unidades)	Holgura promedio (días)	Costo promedio por almacenamiento del pedido (Bs.F)	Costo promedio por retraso del pedido (Bs.F)	Total (Bs.F)
I	1	300	3,2333	581,994	0	581,994
II	1	220	4,2423	559,9836	0	559,9836
III	2	220	2,7614	243,0032	0	243,0032
IV	2	210	2,2646	190,2264	0	190,2264
V	3	225	9,0391	20,33798	0	20,33798
VI	5	250	5,7705	432,7875	0	432,7875
VII	3	240	6,5447	157,0728	0	157,0728
VIII	4	250	7,1661	895,7625	0	895,7625
Costo promedio total de la secuencia						3081,17

Con esta secuencia se observa que el nivel de servicio es de 100% lo cual cumple con la prioridad de la empresa (maximizar el nivel de servicio).

Como se puede observar al intercambiar sólo la posición del pedido IV y V se intercambian también sus holguras pasando el pedido IV de 9,0391 a 2,2646 días y el pedido V de 2,2646 a 9,0391 días, a simple vista pareciera lo mismo pero realmente no es así ya que el pedido cinco maneja el producto tres el cual cuenta con el menor costo por almacenamiento, por lo tanto al calcular los costos totales de almacenamiento de la secuencia en estudio se obtuvo que estos disminuyeron de Bs.F 3680,84 a Bs.F 3081,17. Por lo que para este caso, se escogerá la tercera secuencia como la más favorable ya que además de que cumple con un nivel de servicio del 100 % es la que arroja menor costo por almacenamiento.

CAPITULO IV
MODELOS QUE EVALUAN SECUENCIAS DE PRODUCCIÓN, HALANDO LA
PRODUCCIÓN Y CON ESTRUCTURA FLOW SHOP.

4. MODELOS DE SIMULACION PARA DETERMINAR SECUENCIAS DE PRODUCCION EN EMPRESAS CON ESTRUCTURA DE PRODUCCIÓN FLOW SHOP, HALANDO LA PRODUCCIÓN.

Al igual que en el capítulo anterior se describirán cada uno de los sistemas estudiados y se explicará el modelo construido, ilustrando su uso por medio de la resolución de un ejemplo.

4.1 ESTRUCTURA FLOW SHOP, HALANDO LA PRODUCCION.

La empresa en estudio opera con cinco centros de trabajo, a su vez cada uno de ellos dispone de un recurso, elabora cinco tipos de artículos, tiene una estructura FLOW SHOP y se trabaja halando la producción. Y al igual que en el capítulo anterior existen dos posibles escenarios:

1. Las unidades van pasando una a una por cada maquina, sin necesidad de esperar a que cada operación se ejecute sobre el lote completo. La empresa hace uso de la herramienta kanban, cuyo fin es que el número máximo de unidades en cola para cada estación sea cinco, una vez la cola de la estación cliente sea igual a cinco, la estación proveedor parará su producción hasta que la estación cliente requiera de nuevo insumos, es decir, la cola de la estación cliente menor a cinco unidades. Luego de concluida la elaboración del lote, se procederá a la preparación del centro de trabajo para la fabricación de un pedido de otro artículo diferente.
2. El paso por cada centro de trabajo se realiza de forma que hasta que se ejecute la operación (o conjunto de ellas) sobre todos los artículos o unidades del lote no pasan estos al siguiente centro de trabajo. Una vez que la elaboración del lote ha sido concluida, se procederá a la preparación del centro de trabajo para la fabricación de un pedido de otro artículo diferente. Al igual que en el caso anterior la empresa utiliza un kanban el

cual admite solo un lote en cola para cada estación cliente, una vez la cola de la estación cliente sea igual a un lote, la estación proveedor parará su producción hasta que la estación cliente requiera de nuevo insumos, es decir, la cola de la estación cliente igual a cero.

4.1.1 Modelo 3. Trabajando con FLOW SHOP, halando la producción y las unidades van pasando una a una por cada máquina, sin necesidad de esperar a que cada operación se ejecute sobre el lote completo.

4.1.1.1 Datos de entrada.

El modelo construido permite determinar la secuencia considerando hasta un máximo de diez pedidos, los tiempos de puesta a punto en la estación j ($j=1, \dots, 5$), se consideran variables aleatorias y los tiempos de procesar una unidad del ítem i ($i=1, \dots, 5$), en la estación j ($j=1, \dots, 5$) son variables aleatorias. Ver tablas N° 36 y 37.

Tabla N° 36. Tiempos de puesta a punto en cada estación.

Estación	Distribución	Unidad de medida
A	Triangular (0,5 ; 0,8 ; 1,5)	Horas
B	Triangular (1 ; 1,2 ; 1,8)	Horas
C	Triangular (0,2 ; 0,7 ; 0,9)	Horas
D	Triangular (0,5 ; 1 ; 1,5)	Horas
E	Triangular (0,3 ; 1,6 ; 2)	Horas

Tabla Nº 37. Tiempo de procesamiento de la unidad i en la estación j.

Tipo de ítem	Estación	Distribución	Unidad de medida
1	A	Normal (10 ; 2)	Minutos
1	B	Uniforme (12 ; 14)	Minutos
1	C	Uniforme (10 ; 12)	Minutos
1	D	Normal (13 ; 1)	Minutos
1	E	Normal (18 ; 4)	Minutos
2	A	Normal (11 ; 1,5)	Minutos
2	B	Normal (12 ; 2)	Minutos
2	C	Triangular (9 ; 11 ; 12)	Minutos
2	D	Normal (13 ; 2)	Minutos
2	E	Uniforme (15 ; 18)	Minutos
3	A	Normal (11 ; 0,7)	Minutos
3	B	Triangular (8 ; 10 ; 13)	Minutos
3	C	Uniforme (8 ; 15)	Minutos
3	D	Uniforme (10 ; 12)	Minutos
3	E	Normal (16 ; 2,5)	Minutos
4	A	Uniforme (8 ; 12)	Minutos
4	B	Normal (13 ; 3)	Minutos
4	C	Uniforme (15 ; 20)	Minutos
4	D	Uniforme (15 ; 20)	Minutos
4	E	Uniforme (13 ; 16)	Minutos
5	A	Triangular (7 ; 9 ; 11)	Minutos
5	B	Uniforme (10 ; 13)	Minutos
5	C	Normal (13 ; 2)	Minutos
5	D	Triangular (13 ; 14 ; 17)	Minutos
5	E	Triangular (7 ; 8 ; 9)	Minutos

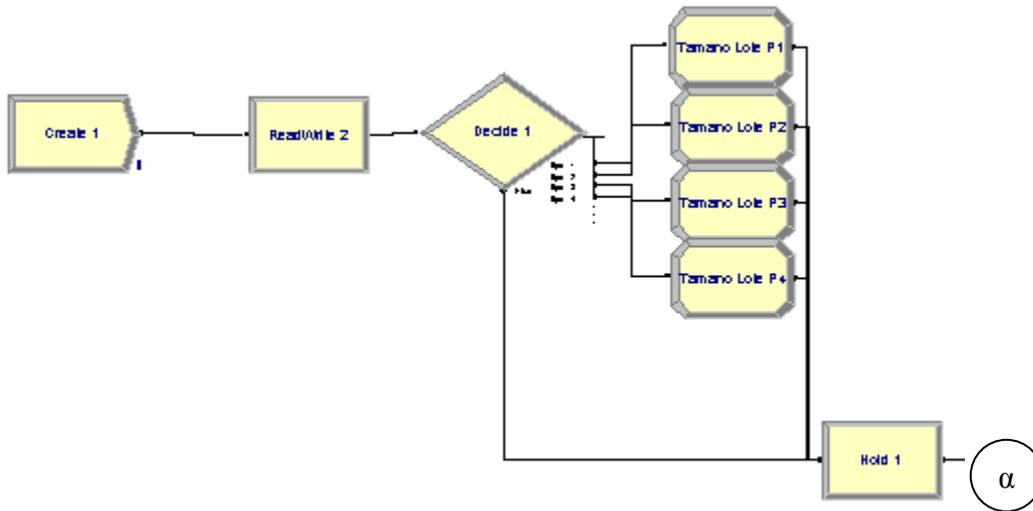
Para poder correr el modelo es necesario que el usuario ingrese en los archivos de texto `numeropedidos3.txt` y `atributospedidos3.txt` los siguientes datos: el número de pedidos a secuenciar y para cada pedido debe indicar tipo de producto o ítem, el tamaño del lote que se desea elaborar, la fecha de entrega (número de días en que debe estar lista la orden) y la posición del pedido dentro de la secuencia de producción.

4.1.1.2 DIAGRAMA Y EXPLICACIÓN DEL MODELO

Este modelo evalúa para cada secuencia alimentada en el sistema la holgura que presenta cada pedido, esto con el fin de poder así determinar aquella secuencia que logre un mejor nivel de servicio.

El modelo comienza con un nodo *create* Ver figura 12, encargado de generar tantas entidades (pedidos) como diga el archivo número de pedidos. Los pedidos que salen del *create* se dirigen hacia un nodo *readwrite* que le asigna a cada pedido el tamaño del lote que tendrá, el tipo de producto que lo conforma, la fecha de entrega y su posición en la secuencia de producción. Luego de salir del *readwrite* los pedidos pasan por un nodo *decide* el cual identifica el tipo de producto que maneja el lote para luego pasar al nodo *assign* donde se le fija la imagen que le corresponde a cada producto, una vez finalizada ésta actividad, el ciclo de la primera etapa finaliza en el nodo *hold* quien está encargado de retener a los pedidos hasta que lleguen todos, para así poder ordenarlos según la secuencia introducida por el usuario.

Figura 9. Primera etapa del modelo 3.



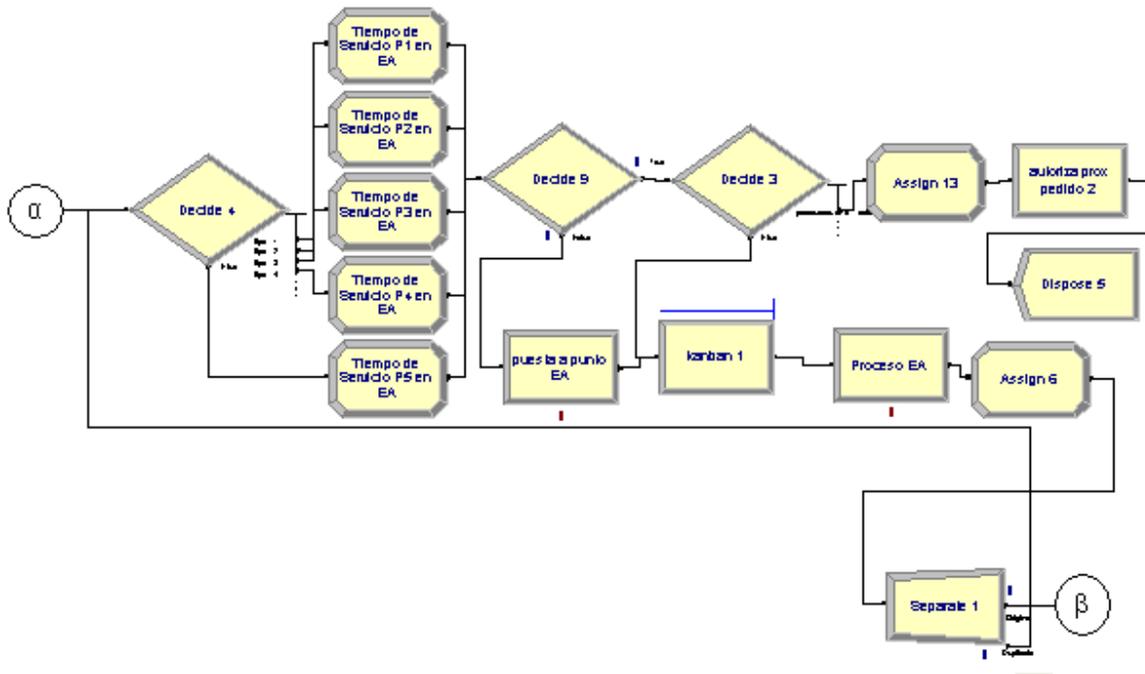
La cadena continua con la segunda etapa del modelo al que se puede definir como la ESTACIÓN A de la planta, aquí se realiza la primera fase de producción. Esta comienza cuando se libera el primer pedido y se dirige a un nodo *decide* Ver figura 13, El cual identifica el tipo de producto que se va a procesar, de allí lo envía a su correspondiente nodo *assign* quien establece a cada unidad el tiempo de procesamiento de la ESTACIÓN A para cada producto, además este nodo define una variable llamada procesadas en A. Cada una de las unidades al salir de su *assign* se dirigen a un mismo nodo *decide* que pregunta si ¿la unidad a procesar por la estación A es igual a la última unidad procesada por la estación A?

- En caso de ser positiva la respuesta es porque la unidad que procesó anteriormente por la estación es igual a la próxima que se va a procesar y por lo tanto la estación no requiere de puesta punto para continuar el recorrido, la unidad continua hacia otro nodo *decide* el cual pregunta ¿procesadas en A es igual al tamaño del lote?
 - ✓ En caso de ser afirmativa la respuesta es porque el lote ha sido culminado y la unidad se dirige a un nodo *signal* el cual se encarga de autorizar la entrada a la estación A del próximo pedido a producir.
 - ✓ El caso contrario se debe a que faltan unidades por fabricar para completar el lote. La unidad continúa el recorrido en un nodo *Hold* el

cual representa un kanban, este nodo retiene el paso de las unidades para que no puedan ser procesadas por la estación A (estación proveedor) siempre y cuando en la estación siguiente (estación cliente) existan cinco unidades en cola, una vez la cola de la estación cliente sea menor a cinco, la unidad continuará su recorrido en un nodo *process* donde se simula el procesamiento de la pieza en dicha estación. Luego la unidad se dirige a un nodo *assign* encargado de registrar el tipo de producto que fue procesado y se dirige a la siguiente estación, ya que para este modelo la unidad que es procesada por la estación A, pasa inmediatamente a la siguiente estación para ser procesada.

- Si la respuesta es negativa se debe a que la unidad que se va a procesar no es igual a la última unidad procesada, por lo tanto la estación A requiere de una puesta a punto que se realiza por medio de un nodo *process*. Una vez que la unidad sale de allí la unidad continúa el recorrido en el nodo *hold* el cual representa un kanban, que trabaja de igual manera a lo expuesto anteriormente, este nodo retiene el paso de las unidades para que no puedan ser procesadas por la estación A (estación proveedor) siempre y cuando en la estación siguiente (estación cliente) existan cinco unidades en cola, una vez la cola de la estación cliente sea menor a cinco, la unidad continuará su recorrido en un nodo *process* donde se simula el procesamiento de la pieza. Luego la unidad se dirige a un nodo *assign* donde registra el tipo de producto que fue procesado, finalmente se dirige a la siguiente estación, ya que para este modelo la unidad que es procesada por la estación A, pasa inmediatamente a la siguiente estación para ser procesada.

Figura 10. Segunda etapa correspondiente a la estación A del modelo 3.



La tercera, cuarta, quinta y sexta etapa del modelo corresponden a la segunda, tercera, cuarta y quinta estación de la planta respectivamente y operan como se describe a continuación. Para efectos del trabajo solo se explicará la segunda estación o ESTACIÓN B.

Al igual que la primera estación comienza con un nodo *decide* ver figura 4, el cual identifica el tipo de producto que está entrando a la estación, para luego ser enviado a su correspondiente *assign* donde será fijado el tiempo de procesamiento según el tipo de producto. Luego las unidades se dirigen hacia un *decide* cuya función es preguntar si ¿la unidad que se va a procesar es la primera que pasa por la estación B?

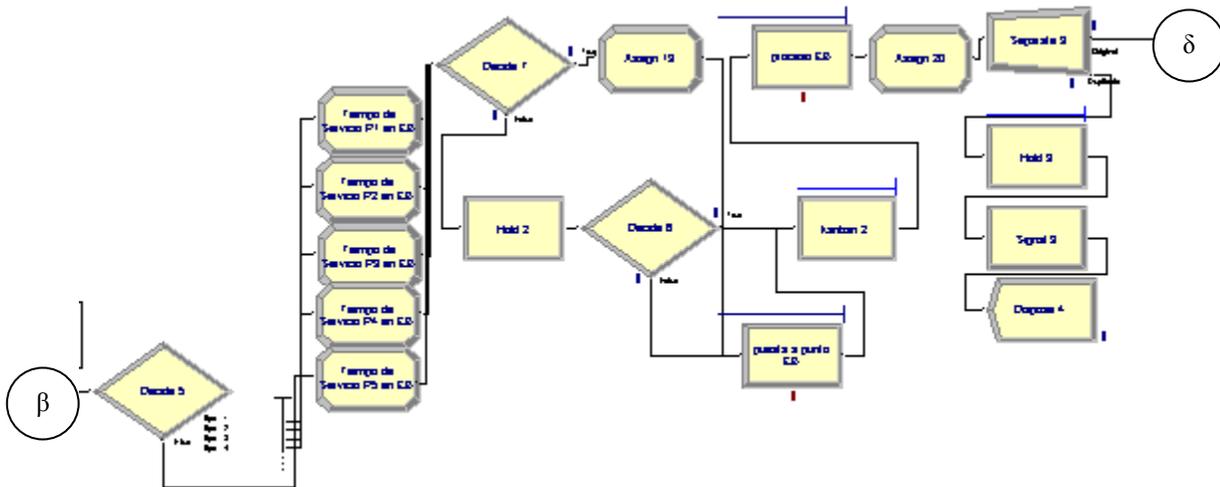
- De ser positiva la respuesta es porque está entrando a la estación B la primera unidad y por lo tanto se va a requerir una puesta punto. El recorrido continúa en un nodo *assign* que se encarga de modificar la variable procesadas en B. Luego en un *process* se realiza la puesta a punto de la estación B, al salir de allí la unidad se dirige a un *kanban* en donde ésta esperará a que la cola de la estación cliente sea menor a cinco unidades

para poder continuar su recorrido, si la cola de la estación cliente es igual a cinco piezas ésta no necesita más recursos y por lo tanto la estación proveedor deja de producir. Al salir del kanban la unidad continúa en un nodo *process* donde se ejecuta el procesamiento de la pieza en la estación. Posteriormente ésta pasa a un nodo *assign* encargado de leer que tipo de producto fue procesado. El siguiente paso es dirigirse a la siguiente estación para ser procesada. Si la estación de la que está saliendo la pieza es la E, entonces se dirige hacia la séptima etapa del modelo.

- En caso de ser negativa la respuesta es porque ya fue procesada la primera unidad en la estación, por lo tanto no es necesaria la puesta punto de esta, la unidad continúa el recorrido en un nodo *decide* el cual pregunta si ¿la unidad a procesar por la estación B es igual a la última unidad procesada por la estación B?, esto con el fin de determinar si es necesario realizar una puesta punto por cambio de producto.
 - ✓ En caso de ser afirmativa la respuesta es porque se está trabajando con el mismo tipo de artículo, y por lo tanto no se requiere de la puesta punto, sino que la pieza pasa directamente a un kanban en donde ésta esperará a que la cola de la estación cliente sea menor a cinco unidades para poder continuar su recorrido, si la cola de la estación cliente es igual a cinco piezas ésta no necesita más recursos y por lo tanto la estación proveedor deja de producir. Al salir del kanban la unidad continúa en un nodo *process* donde es procesada la unidad. Posteriormente ésta se dirige a un nodo *assign* encargado de leer que tipo de producto fue procesado por la estación. Finalmente la pieza pasa a la siguiente estación para ser procesada. Si la estación de la que está saliendo la pieza es la E, entonces va hacia la séptima etapa del modelo.
 - ✓ De ser negativa la respuesta es porque el artículo que ésta entrando a la estación es diferente al procesado justamente anterior a él, entonces la pieza va a un nodo *process* donde se realiza la puesta punto, de allí se dirige al kanban para luego pasar a ser procesada

en el nodo *process*, para posteriormente dirigirse a un nodo *assign* encargado de leer que tipo de producto fue procesado por la estación. Finalmente la pieza pasa a la siguiente estación para ser procesada. Esto se repite para las ESTACIONES C, D y E. Si la estación de la que está saliendo la pieza es la E, entonces se dirige hacia la séptima etapa del modelo.

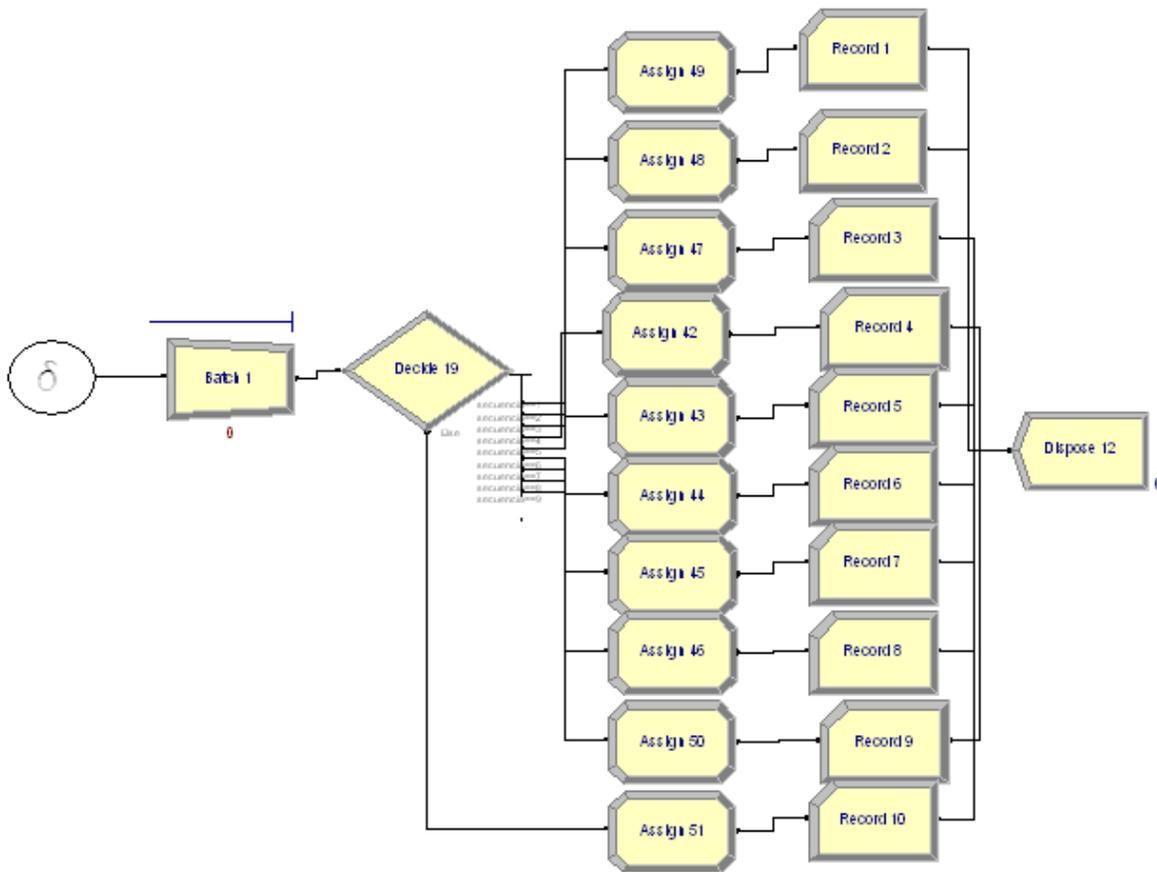
Figura 11. Tercera etapa correspondiente a la estación B del modelo 3.



La última etapa del modelo es cuando la unidad sale de la ESTACIÓN E y va a un nodo *batch* Ver figura 15, que almacena unidades hasta completar el pedido. Luego de culminado el pedido, este pasa a un nodo *decide* el cual identifica que pedido es, enviándolo a su correspondiente nodo *assign*, aquí se le añade una característica al pedido llamada holgura.

Esto con el fin de poder observar la disponibilidad de tiempo que se tiene para entregar cada pedido. Al salir del *assign* pasa por un nodo *record* quien se encarga de almacenar la información para que pueda aparecer en los reportes. Finalmente la unidad al salir del *record* pasa a un nodo *dispose* para ser destruida.

Figura 12. Séptima etapa correspondiente a la recopilación de la información para el modelo 3.



EJEMPLO 3.

Para este caso la empresa posee una estructura FLOW SHOP, que hala la producción haciendo uso de la herramienta kanban. Las unidades van pasando una a una por cada máquina, sin necesidad de esperar a que cada operación se ejecute sobre el lote completo; una vez que la elaboración del lote ha sido concluida, se procederá a la preparación de la estación o centro de trabajo para la fabricación de otro pedido diferente. La empresa labora 14 horas diarias, todos los días de la semana.

Para los siguientes 8 pedidos cuyas características se muestran en la tabla N° 38, la empresa desea determinar una secuencia que proporcione un nivel de servicio satisfactorio.

Tabla N° 38. Características de los pedidos para el modelo 3.

Pedido	Tipo de ítem	Tamaño del lote (unidades)	Fecha de entrega (días)
I	1	300	35
II	5	238	35
III	2	220	54
IV	2	450	45
V	3	520	45
VI	5	224	52
VII	4	290	15
VIII	1	350	15

Al igual que en los ejemplos pasados se presentan en la tabla N° 39 los costos promedios por día por unidad almacenada y de retraso.

Tabla N° 39. Costos por almacenamiento y retraso de los ítems.

Tipo de ítem	Costo por unidad por día de almacenamiento (Bs.F/U*día)	Costo por unidad por día de retraso (Bs.F/U*día)
1	0,6	1,8
2	0,4	1,6
3	0,1	0,3
4	0,5	1,5
5	0,3	0,6

A continuación el usuario ingresa en el archivo “atributo de pedidos.txt”, la posición de cada pedido en la secuencia de producción que desee probar. Ver tabla N° 40.

Tabla N° 40. Primera secuencia de producción a probar del modelo 3.

Pedido	Tipo de ítem	Tamaño del lote (unidades)	Fecha de entrega (días)	Posición en la secuencia
I	1	300	37	6
II	5	238	35	5
III	2	220	54	8
IV	2	450	45	3
V	3	520	45	7
VI	5	224	52	4
VII	4	290	15	1
VIII	1	350	15	2

Para los datos anteriores se debe determinar el número de corridas necesarias para que el estudio sea representativo y cumpla con la tolerancia de la empresa para las estimaciones realizadas, en este caso se utilizará una tolerancia de $\pm 7\%$. Se realizó un estudio piloto de 25 replicas, usando un $\alpha=0.05$ el cual arrojó los siguientes resultados. Ver tabla 41.

Tabla N° 41. Resultados de la primera secuencia para el modelo 3.

Pedido (posición en la secuencia)	Holgura promedio (días)
I (6)	$-1 \pm 0,05$
II (5)	$3,9096 \pm 0,03$
III (8)	$1,9004 \pm 0,08$
IV (3)	$21,9862 \pm 0,03$
V (7)	$-3 \pm 0,07$
VI (4)	$25,0638 \pm 0,03$
VII (1)	$8,6070 \pm 0,02$
VIII (2)	$0,9271 \pm 0,03$

Se debe comprobar que todos los valores de las holguras se encuentren contemplados dentro de las tolerancias fijadas para poder determinar si el número de corridas es suficiente. A continuación en la tabla N° 42 se muestran ya estos

valores calculados, y para cada uno de los lotes se señala si cumplen o no con la tolerancia deseada.

Tabla N° 42. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para la primera secuencia del modelo 3.

Pedido (posición en la secuencia)	Holgura promedio (días)	Tolerancia Min. 7%	Tolerancia Máx. 7%	
I (6)	-1 ± 0,05	-1,07	-0,93	Cumple
II (5)	3,9096 ± 0,03	3,635928	4,183272	Cumple
III (8)	1,9004 ± 0,08	1,767372	2,033428	Cumple
IV (3)	21,9862 ± 0,03	20,447166	23,525234	Cumple
V (7)	-3 ± 0,07	-2,79	-3,21	Cumple
VI (4)	25,0638 ± 0,03	23,309334	26,818266	Cumple
VII (1)	8,6070 ± 0,02	8,00451	9,20949	Cumple
VIII (2)	0,9271 ± 0,03	0,862203	0,991997	Cumple

Debido a que todos los intervalos de confianza se encuentran dentro de la tolerancia exigida no es necesario realizar más replicas, razón por la cual los datos obtenidos anteriormente son representativos. Ver tabla N° 41.

Tabla N° 43. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para la primera secuencia del modelo 3.

Pedido	Tipo de ítem	Tamaño del lote (unidades)	Holgura promedio (días)	Costo promedio por almacenamiento del pedido (Bs.F)	Costo promedio por retraso del pedido (Bs.F)	Total (Bs.F)
I	1	300	-1	0	540	540
II	5	238	3,9096	279,1454	0	279,1454
III	2	220	1,9004	167,2352	0	167,2352
IV	2	450	21,9862	3957,516	0	3957,516
V	3	520	-3	0	468	468
VI	5	224	25,0638	1684,287	0	1684,287
VII	4	290	8,6070	1248,015	0	1248,015
VIII	1	350	0,9271	194,691	0	194,691
Costo promedio total de la secuencia						8538,89

En la secuencia estudiada se obtuvo un nivel de servicio del 75%, por lo tanto no cumple con la prioridad de la empresa (maximizar el nivel de servicio) debido a que el pedido I secuenciado en la sexta posición arroja un día de retraso y unos costos promedios debido a esto de Bs.F 540, mientras que el pedido V secuenciado en la séptima posición dio como resultado tres días de retraso asociando un costo promedio de Bs.F 468. Además de lo expuesto anteriormente la secuencia evaluada tiene un costo promedio de almacenamiento y retraso para todos los pedidos de Bs.F 8538,89, el cual sería bueno intentar reducir, intercambiando el orden de fabricación de los pedidos.

Entonces por lo anteriormente expuesto se estudiará el impacto en la variación de la secuencia con el fin de mejorar las condiciones de ésta.

La opción propuesta es, el pedido VIII será intercambiar posición con el pedido VII el cual se encuentra actualmente en la primera posición. Mientras que el pedido IV será intercambiado de posición con el pedido I. Para el pedido II se

usará la cuarta posición, el pedido V tendrá la quinta posición y finalmente la séptima posición será del pedido VI. A continuación se presenta la tabla con las características para ésta secuencia propuesta. Ver tabla N° 44.

Tabla N° 44. Segunda secuencia de producción a probar del modelo 3.

Pedido	Tipo de ítem	Tamaño del lote (unidades)	Fecha de entrega (días)	Posición en la secuencia
I	1	300	37	3
II	5	238	35	4
III	2	220	54	8
IV	2	450	45	6
V	3	520	45	5
VI	5	224	52	7
VII	4	290	15	2
VIII	1	350	15	1

Para este estudio se utilizaron las mismas 25 replicas pasadas. Ver tabla 45.

Tabla N° 45. Resultados de la segunda secuencia para el modelo 3.

Pedido (posición en la secuencia)	Holgura promedio (días)
I (3)	14,475 ± 0,06
II (4)	10,3091 ± 0,06
III (8)	1,8471 ± 0,06
IV (6)	1,2798 ± 0,06
V (5)	10,2152 ± 0,06
VI (7)	4,3529 ± 0,06
VII (2)	1,056 ± 0,04
VIII (1)	7,1041 ± 0,04

Para determinar si el número de corridas es suficiente se debe comprobar que todos los valores de las holguras se encuentren contemplados dentro de las tolerancias fijadas de $\pm 7\%$ un $\alpha=0.05$.

En la tabla N° 46 se muestran ya estos valores calculados, y para cada uno de los lotes se señala si cumple o no con la tolerancia deseada.

Tabla N° 46. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para la segunda secuencia del modelo 3.

Pedido (posición en la secuencia)	Holgura promedio (días)	Tolerancia Min. 7%	Tolerancia Máx. 7%	
I (3)	14.475 ± 0.06	13.46175	15.48825	Cumple
II (4)	10.3091 ± 0.06	9.587463	11.030737	Cumple
III (8)	1.8471 ± 0.06	1.717803	1.976397	Cumple
IV (6)	1.2798 ± 0.06	1.190214	1.369386	Cumple
V (5)	10.2152 ± 0.06	9.500136	10.930264	Cumple
VI (7)	4.3529 ± 0.06	4.048197	4.657603	Cumple
VII (2)	1.056 ± 0.04	0.98208	1.12992	Cumple
VIII (1)	7.1041 ± 0.04	6.606813	7.601387	Cumple

Ya que todos los intervalos de confianza se encuentran dentro de la tolerancia exigida no es necesario realizar más replicas, razón por la cual los datos obtenidos anteriormente son representativos. Ver tabla N° 45.

Tabla Nº 47. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para la segunda secuencia del modelo 3.

Pedido	Tipo de ítem	Tamaño del lote (unidades)	Holgura promedio (días)	Costo promedio por almacenamiento del pedido (Bs.F)	Costo promedio por retraso del pedido (Bs.F)	Total (Bs.F)
I	1	300	14,475	2605,50	0	2605,50
II	5	238	10,3091	736,07	0	736,07
III	2	220	1,8471	162,54	0	162,54
IV	2	450	1,2798	230,36	0	230,36
V	3	520	10,2152	531,19	0	531,19
VI	5	224	4,3529	292,51	0	292,51
VII	4	290	1,056	153,12	0	153,12
VIII	1	350	7,1041	1491,86	0	1491,86
Costo promedio total de la secuencia						6203,17

A diferencia del caso anterior en esta secuencia se obtuvo un nivel de servicio del 100%, lo cual cumple con la prioridad de la empresa (maximizar el nivel de servicio). Sin embargo, existen holguras que llaman la atención debido a sus valores, por ejemplo el pedido I arrojó una holgura de 14,475 días y el mayor costo por almacenamiento de Bs.F 2605,50, razón por la cual es importante tratar de disminuir este valor, el pedido II obtuvo 10,3091 días y un costo por almacenamiento de Bs.F 736,07, el pedido V arrojó 10,2152 días de holgura y un costo de Bs.F 531,19 y finalmente el pedido VIII el cual fue el primero en la secuencia de producción obtuvo una holgura de 7,1041 días junto al segundo costo más alto por almacenamiento el cual arrojó Bs.F 1491,86. Es conveniente tratar de intercambiar de posición los pedidos con el fin de mejorar la secuencia de producción.

Con base en lo anterior se estudiará el impacto en la variación de la secuencia con el fin de mejorar las condiciones de ésta. La opción propuesta para

el pedido VIII será, devolver el cambio con el pedido VII la cual se encuentra actualmente en la segunda posición. Mientras que el pedido V ocupara el cuarto puesto en la secuencia, al pedido I se le asignó la quinta posición y finalmente el pedido II tendrá el tercer puesto en la secuencia. Ver tabla N° 48.

Tabla N° 48. Tercera secuencia de producción a probar del modelo 3.

Pedido	Tipo de ítem	Tamaño del lote (unidades)	Fecha de entrega (días)	Posición en la secuencia
I	1	300	37	5
II	5	238	35	3
III	2	220	54	8
IV	2	450	45	6
V	3	520	45	4
VI	5	224	52	7
VII	4	290	15	1
VIII	1	350	15	2

Para esta secuencia se realizaran igualmente 25 replicas y se comprobará si los resultados se ajustan a la tolerancia de $\pm 7\%$ exigida por la empresa, usando un $\alpha=0.05$. Luego de simular la nueva secuencia de producción se obtuvieron los resultados que aparecen en la tabla N° 49.

Tabla N° 49. Resultados de la tercera secuencia para el modelo 3

Pedido (posición en la secuencia)	Holgura promedio (días)
I (5)	2,1519 \pm 0,05
II (3)	16,7710 \pm 0,03
III (8)	1,7898 \pm 0,06
IV (6)	1,2226 \pm 0.05
V (4)	16,7 \pm 0.05
VI (7)	4,2956 \pm 0.05
VII (1)	8,6070 \pm 0.02
VIII (2)	0,9281 \pm 0.03

Se debe comprobar que el número de corridas sea suficiente evidenciando que todos los valores de las holguras se encuentren contemplados dentro de las tolerancias fijadas.

En la tabla N° 50 se muestran estos valores ya calculados, y para cada uno de los lotes se señala si cumplen o no con la tolerancia deseada.

Tabla N° 50. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para la tercera secuencia del modelo 3.

Pedido (posición en la secuencia)	Holgura promedio (días)	Tolerancia Min. 7%	Tolerancia Máx. 7%	
I (5)	2,1519 ± 0,05	2,001267	2,302533	Cumple
II (3)	16,7710 ± 0,03	15,59703	17,94497	Cumple
III (8)	1,7898 ± 0,06	1,664514	1,915086	Cumple
IV (6)	1,2226 ± 0.05	1,137018	1,308182	Cumple
V (4)	16,7 ± 0.05	15,531	17,869	Cumple
VI (7)	4,2956 ± 0.05	3,994908	4,596292	Cumple
VII (1)	8,6070 ± 0.02	8,00451	9,20949	Cumple
VIII (2)	0,9281 ± 0.03	0,863133	0,993067	Cumple

Ya que todos los intervalos de confianza se encuentran dentro de la tolerancia exigida, no es necesario realizar más replicas, razón por la cual los datos obtenidos anteriormente son representativos. Ver tabla N° 49.

La tabla N° 51 que se presenta a continuación refleja los costos promedio en los que incurre la empresa con esta secuencia de producción por almacenamiento y retraso en la entrega de pedidos.

Tabla N° 51. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para la tercera secuencia del modelo 3.

Pedido	Tipo de ítem	Tamaño del lote (unidades)	Holgura promedio (días)	Costo promedio por almacenamiento del pedido (Bs.F)	Costo promedio por retraso del pedido (Bs.F)	Total (Bs.F)
I	1	300	2,1519	387,342	0	387,342
II	5	238	16,771	1197,449	0	1197,449
III	2	220	1,7898	157,5024	0	157,5024
IV	2	450	1,2226	220,068	0	220,068
V	3	520	16,7	868,4	0	868,4
VI	5	224	4,2956	288,6643	0	288,6643
VII	4	290	8,607	1248,015	0	1248,015
VIII	1	350	0,9281	194,901	0	194,901
Costo promedio total de la secuencia						4562,342

Con ésta secuencia se observa que el nivel de servicio es del 100%, lo cual cumple con la prioridad de la empresa (maximizar el nivel de servicio). Además el pedido VIII disminuyó su holgura de 7.1041 a 0.9281 días, lo cual es bastante favorable debido a que sus costos por almacenamiento se redujeron de Bs.F 1491,86 a 194,901. El pedido I disminuyó su holgura de 14,475 a 2,1519 días, debido a que el pedido lleva el tipo de producto más caro por almacenamiento sus costos se redujeron de Bs.F 2605,50 a 387,342 y por lo tanto resulta bastante favorable, aunque los días de holgura de los pedidos II, V y VII aumentaron el costo promedio de todos los pedidos por almacenamiento para esta secuencia de producción es de Bs.F 4562,342 lo que indica una disminución con respecto a la secuencia anterior del 26,45 %.

Luego de observar y analizar los resultados de esta secuencia de producción se concluyó que de las opciones propuestas, es la más favorable ya que además de que cuenta con el requisito principal de maximizar el nivel de

servicio, ofrece a la empresa los costos promedios por almacenamientos más bajos.

4.1.2 Modelo 4. Trabajando con FLOW SHOP, halando la producción y el paso por cada centro de trabajo se realiza de forma que hasta que se ejecute la operación (o conjunto de ellas) sobre todos los artículos o unidades del lote no pasan estos al siguiente centro de trabajo.

4.1.2.1 Datos de entrada.

El modelo construido permite determinar la secuencia considerando hasta un máximo de diez pedidos, los tiempos de puesta a punto en la estación j ($j=1, \dots, 5$), se consideran variables aleatorias y los tiempos de procesar una unidad del ítem i ($i=1, \dots, 5$), en la estación j ($j=1, \dots, 5$) son variables aleatorias, el máximo en cola para cada estación es de un lote. Ver tablas N° 52 y 53.

Tabla N° 52. Tiempos de puesta a punto en cada estación.

Estación	Distribución	Unidad de medida
A	Triangular (0,5 ; 0,8 ; 1,5)	Horas
B	Triangular (1 ; 1,2 ; 1,8)	Horas
C	Triangular (0,2 ; 0,7 ; 0,9)	Horas
D	Triangular (0,5 ; 1 ; 1,5)	Horas
E	Triangular (0,3 ; 1,6 ; 2)	Horas

Tabla Nº 53. Tiempo de procesamiento de la unidad i en la estación j.

Tipo de ítem	Estación	Distribución	Unidad de medida
1	A	Normal (10 ; 2)	Minutos
1	B	Uniforme (12 ; 14)	Minutos
1	C	Uniforme (10 ; 12)	Minutos
1	D	Normal (13 ; 1)	Minutos
1	E	Normal (18 ; 4)	Minutos
2	A	Normal (11 ; 1,5)	Minutos
2	B	Normal (12 ; 2)	Minutos
2	C	Triangular (9 ; 11 ; 12)	Minutos
2	D	Normal (13 ; 2)	Minutos
2	E	Uniforme (15 ; 18)	Minutos
3	A	Normal (11 ; 0,7)	Minutos
3	B	Triangular (8 ; 10 ; 13)	Minutos
3	C	Uniforme (8 ; 15)	Minutos
3	D	Uniforme (10 ; 12)	Minutos
3	E	Normal (16 ; 2,5)	Minutos
4	A	Uniforme (8 ; 12)	Minutos
4	B	Normal (13 ; 3)	Minutos
4	C	Uniforme (15 ; 20)	Minutos
4	D	Uniforme (15 ; 20)	Minutos
4	E	Uniforme (13 ; 16)	Minutos
5	A	Triangular (7 ; 9 ; 11)	Minutos
5	B	Uniforme (10 ; 13)	Minutos
5	C	Normal (13 ; 2)	Minutos
5	D	Triangular (13 ; 14 ; 17)	Minutos
5	E	Triangular (7 ; 8 ; 9)	Minutos

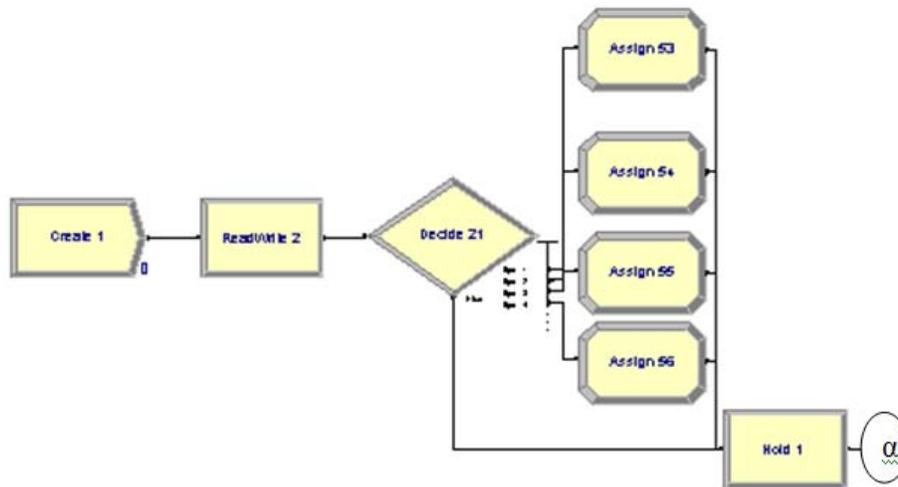
Además de la información que se presenta anteriormente para el correcto funcionamiento del modelo es necesario que el usuario ingrese los siguientes datos: el número de pedidos a secuenciar y para cada pedido debe indicar el tipo de producto o ítem, el tamaño del lote que se debe elaborar, la fecha de entrega (número de días en que debe estar lista la orden), la posición del pedido dentro de la secuencia de producción.

4.1.2.2 DIAGRAMA Y EXPLICACIÓN DEL MODELO

El modelo a construir busca evaluar para cada secuencia alimentada en el sistema la holgura que presenta cada pedido, esto con el fin de poder así determinar aquella secuencia que logre un nivel de servicio satisfactorio.

El modelo comienza con un nodo *create* Ver figura 16, encargado de generar tantas entidades (pedidos) como diga el archivo número de pedidos. Los pedidos que salen del *create* se dirigen hacia un nodo *readwrite* que le asigna a cada pedido el tamaño del lote que tendrá, el tipo de producto que lo conforma, la fecha de entrega y su posición en la secuencia de producción. Luego de salir del *readwrite* los pedidos pasan por un nodo *decide* el cual identifica el tipo de producto que maneja el lote para luego pasar al nodo *assign* donde se le fija la imagen que le corresponde a cada producto, posteriormente el ciclo de la primera etapa finaliza en el nodo *hold* quien está encargado de retener a los pedidos hasta que lleguen todos, para así poder ordenarlos según la secuencia alimentada por el usuario.

Figura 13. Primera etapa del modelo 4.



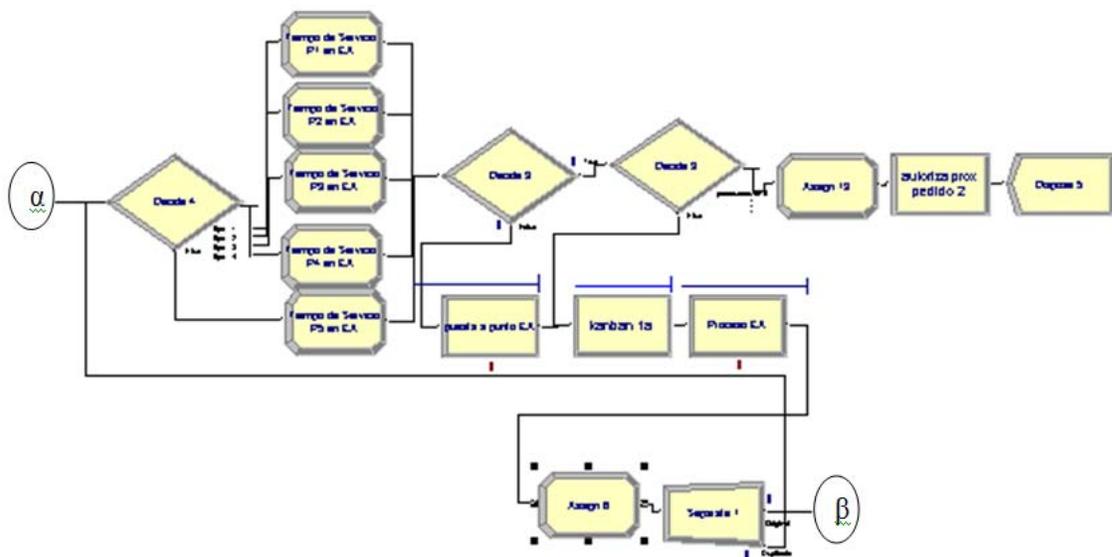
La cadena continua con la segunda etapa del modelo al que se puede definir como la ESTACIÓN A de la planta, aquí se realiza la primera fase de producción. Esta comienza cuando se libera el primer pedido y se dirige a un nodo *decide* Ver figura 17, el cual identifica el tipo de producto que se va a procesar, de allí lo envía a su correspondiente nodo *assign* quien establece a cada unidad el tiempo de procesamiento de la ESTACIÓN A para cada producto. Cada una de las unidades al salir de su *assign* se dirigen a un mismo nodo *decide* que pregunta si ¿la unidad a procesar por la estación A es igual a la última unidad procesada por la estación A?

- En caso de ser positiva la respuesta es porque la unidad que procesó anteriormente la estación es igual a la próxima que se va a procesar y por lo tanto la estación no requiere de puesta punto para continuar el recorrido, la unidad continua hacia otro nodo *decide* el cual pregunta ¿procesadas en A es igual al tamaño del lote?
 - ✓ En caso de ser afirmativa la respuesta es porque el lote ha sido culminado y la unidad se dirige a un nodo *signal* el cual se encarga de autorizar la entrada a la estación A del próximo pedido a procesar.

- ✓ El caso contrario se debe a que faltan unidades por fabricar para completar el lote. La unidad continúa el recorrido en un nodo *hold* que representa un kanban, este nodo retiene el paso de los lotes para que no puedan ser procesados por la estación A (estación proveedor) siempre y cuando en la estación siguiente (estación cliente) exista un lote en cola, una vez la cola de la estación cliente desaparezca, el lote que espera en la estación proveedor es liberado para ser procesado. La unidad continuará su recorrido en un nodo *process* donde se simula el procesamiento de la pieza en dicha estación. Luego la unidad se dirige a un nodo *assign* encargado de registrar el tipo de producto que fue procesado, de allí es enviado a un nodo *decide* el cual identifica el tipo de producto, para luego dirigirse a su correspondiente *assign* donde le será asignado el tiempo de procesamiento de la siguiente estación según el tipo de producto, al salir de allí continúa el recorrido en un nodo *batch* el cual almacena las unidades hasta completar el lote, lo que quiere decir que ninguna unidad será procesada por la estación siguiente hasta que no haya sido culminado el lote completo por la estación anterior.
- Si la respuesta es negativa se debe a que la unidad que se va a procesar no es igual a la última unidad procesada, por lo tanto la estación A requiere de una puesta punto que se realiza por medio de un nodo *process*. Una vez que la unidad sale de allí continúa el recorrido en el kanban, que como se explicó anteriormente retiene el paso de los lotes para que no puedan ser procesados por la estación A (estación proveedor) siempre y cuando en la estación siguiente (estación cliente) exista un lote en cola, una vez la cola de la estación cliente desaparezca, el lote que espera en la estación proveedor es liberado para ser procesado. Una vez el lote haya sido liberado, las unidades se dirigen una a una a un nodo *process* donde se simula el procesamiento de cada pieza. Luego la unidad se dirige a un nodo *assign* donde se registra el tipo de producto que fue procesado, de

allí es enviado a un *decide* el cual identifica el tipo de producto, para luego dirigirse a al *assign* encargado de fijar el tiempo de procesamiento de la siguiente estación según el tipo de producto, al salir de allí continúa el recorrido en un *batch* el cual almacena las unidades hasta completar el lote, lo que quiere decir que ninguna unidad será procesada por la siguiente estación hasta que no haya sido culminado el lote completo por la estación anterior.

Figura 14. Segunda etapa correspondiente a la estación A del modelo 4.



La tercera, cuarta, quinta y sexta etapa del modelo corresponden a la segunda, tercera, cuarta y quinta estación de la planta respectivamente y operan como se describe a continuación. Para efectos del trabajo solo se explicará la segunda estación o ESTACIÓN B.

Esta comienza con un nodo *decide* ver figura 18, cuya función es preguntar si ¿la unidad que se va a procesar es la primera que pasa por la estación B?

- De ser positiva la respuesta es porque está entrando a la estación B la primera unidad y por lo tanto se va a requerir una puesta punto. El recorrido continúa en un nodo *assign* que se encarga de modificar la

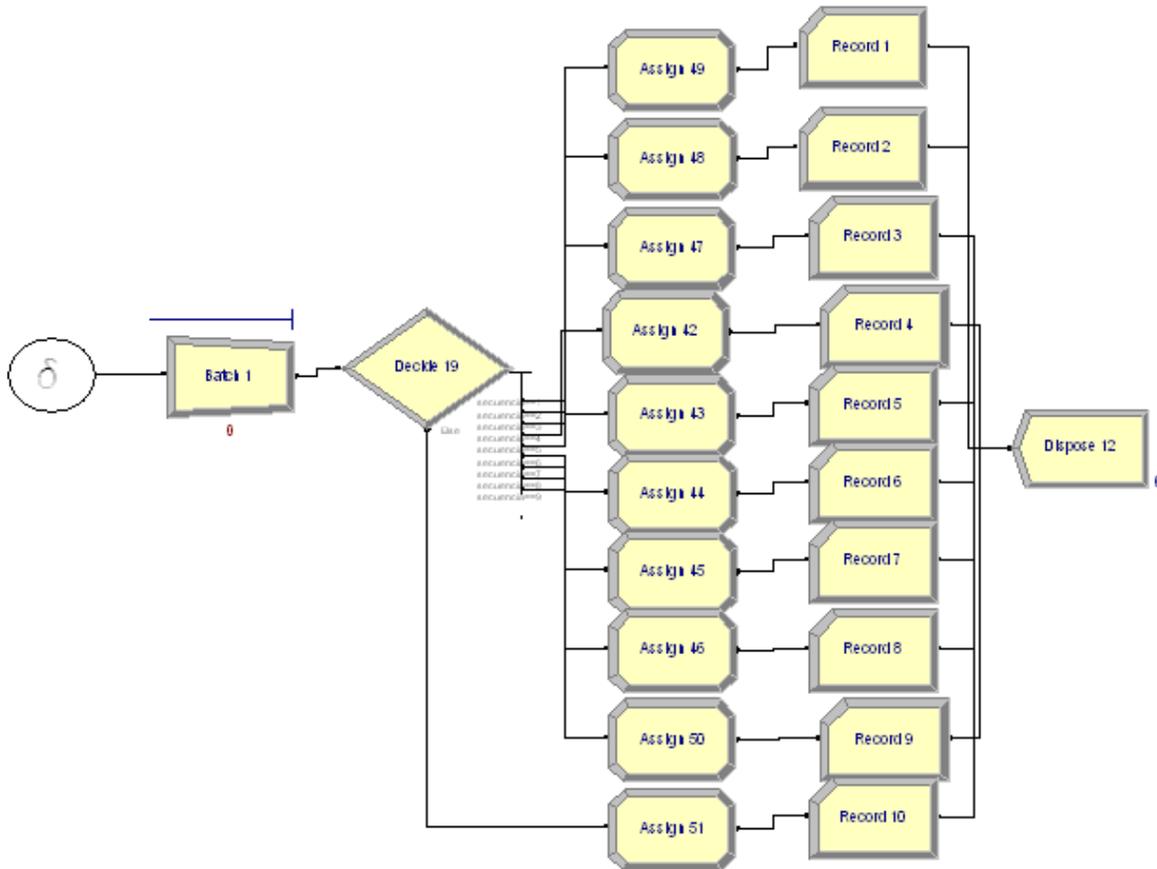
variable procesadas en B. Luego en un *process* se realiza la puesta a punto de la estación B, de allí pasa a otro kanban que tiene el mismo funcionamiento de los kanban anteriores. Luego la unidad pasa a otro *process* donde se ejecuta el procesamiento de la pieza en la estación, para posteriormente ir a un *assign* encargado de leer que tipo de producto fue procesado por la estación. Si se trata de la estación E, entonces las unidades se dirigen hacia la séptima etapa del modelo la cual será explicada posteriormente. En el caso de que el lote este pasando a cualquier estación diferente de la E, las unidades continúan el recorrido en un *decide* el cual identifica el tipo de producto, para luego dirigirse a al *assign* encargado de fijar el tiempo de procesamiento de la siguiente estación según el tipo de producto, al salir de allí las unidades continúan el recorrido en un *batch* el cual almacena las unidades hasta completar el lote, lo que quiere decir que ninguna unidad será procesada por la siguiente estación hasta que la estación anterior no haya culminado de procesar el lote completo.

- En caso de ser negativa la respuesta es porque ya fue procesada la primera unidad en la estación, por lo tanto no es necesaria la puesta punto de esta, la unidad continúa el recorrido en un *decide* el cual pregunta si ¿la unidad a procesar por la estación B es igual a la última unidad procesada por la estación B?, esto con el fin de determinar si es necesario realizar una puesta punto.
 - ✓ En caso de ser afirmativa la respuesta es porque se está trabajando con el mismo tipo de artículo, y por lo tanto no se requiere de la puesta punto, sino que la pieza pasa directamente al kanban el cual retendrá los lotes en la estación proveedor hasta que la estación cliente requiera suministros, cuando esto suceda el lote pasa al nodo donde son procesadas las unidades una a una. Posteriormente ésta se dirige a un nodo *assign* encargado de leer que tipo de producto fue procesado por la estación. Si se trata de la estación E, entonces

las unidades se dirigen hacia la séptima etapa del modelo la cual será explicada posteriormente. En el caso de que el lote este pasando a cualquier estación diferente de la E, las unidades continúan el recorrido en un *decide* el cual identifica el tipo de producto, para luego dirigirse a al *assign* encargado de fijar el tiempo de procesamiento de la siguiente estación según el tipo de producto, al salir de allí las unidades continúan el recorrido en un *batch* el cual almacena las unidades hasta completar el lote.

- ✓ De ser negativa la respuesta es porque el artículo que ésta entrando a la estación es diferente al procesado justamente anterior a él, entonces la pieza va a un nodo *process* donde se realiza la puesta punto, de allí se dirige al kanban el cual retendrá los lotes en la estación proveedor hasta que la estación cliente requiera suministros, cuando esto suceda el lote pasa al nodo de procesamiento de unidades. Posteriormente ésta se dirige a un nodo *assign* encargado de leer que tipo de producto fue procesado por la estación. Si se trata de la estación E, entonces las unidades se dirigen hacia la séptima etapa del modelo la cual será explicada posteriormente. En el caso de que el lote este pasando a cualquier estación diferente de la E, las unidades continúan el recorrido en un *decide* el cual identifica el tipo de producto, para luego dirigirse a al *assign* encargado de fijar el tiempo de procesamiento de la siguiente estación según el tipo de producto, al salir de allí las unidades continúan el recorrido en un *batch* el cual almacena las unidades hasta completar el lote.

Figura 16. Séptima etapa correspondiente a la recopilación de la información para el modelo 4.



EJEMPLO 4.

A continuación se presenta un caso práctico el cual corresponde a una empresa que posee una estructura FLOW SHOP, que hala la producción haciendo uso de la herramienta kanban. El paso por cada centro de trabajo se realiza de forma que hasta que se ejecute la operación (o conjunto de ellas) sobre todas las unidades del lote no pasan estas a la siguiente estación o centro de trabajo. La empresa labora 14 horas diarias, todos los días de la semana.

Para los siguientes 8 pedidos cuyas características se muestran en la tabla Nº 54, la empresa desea determinar una secuencia que proporcione un nivel de servicio satisfactorio.

Tabla N° 54. Características de los pedidos para el modelo 4.

Pedido	Tipo de ítem	Tamaño del lote (unidades)	Fecha de entrega (días)
I	1	100	30
II	5	138	30
III	2	120	39
IV	2	180	25
V	3	200	25
VI	5	174	37
VII	4	90	22
VIII	1	150	20

También se presenta en la tabla N° 55 los costos por unidad por día de demora y de almacenamiento.

Tabla N° 55. Costos por almacenamiento y retraso de los ítems.

Tipo de ítem	Costo por unidad por día de almacenamiento (Bs.F/U*día)	Costo por unidad por día de retraso (Bs.F/U*día)
1	0,6	1,8
2	0,4	1,6
3	0,1	0,3
4	0,5	1,5
5	0,3	0,6

A continuación el usuario ingresa en el archivo “atributo de pedidos.txt”, la posición de cada pedido en la secuencia de producción que se desea probar. Ver tabla N° 56.

Tabla Nº 56. Primera secuencia de producción a probar del modelo 4.

Pedido	Tipo de ítem	Tamaño del lote (unidades)	Fecha de entrega (días)	Posición en la secuencia
I	1	100	30	5
II	5	138	30	6
III	2	120	39	7
IV	2	180	25	2
V	3	200	25	1
VI	5	174	37	8
VII	4	90	22	3
VIII	1	150	20	4

Seguidamente se debe determinar el número de corridas necesarias para que el estudio cuente con la tolerancia exigida por la empresa en las estimaciones realizadas, en este caso se utilizara una tolerancia de $\pm 7\%$. Se realizo un estudio piloto de 25 replicas, usando un $\alpha=0.05$ el cual arrojó los siguientes resultados. Ver tabla 57.

Tabla Nº 57. Resultados de la primera secuencia para el modelo 4.

Pedido (posición en la secuencia)	Holgura promedio (días)
I (5)	4.09 ± 0.05
II (6)	2.4437 ± 0.04
III (7)	8.4832 ± 0.05
IV (2)	6.7814 ± 0.04
V (1)	10.3832 ± 0.04
VI (8)	3.324 ± 0.05
VII (3)	2.1585 ± 0.04
VIII (4)	$-4 \pm 0,04$

Para determinar si el número de corridas es suficiente se debe comprobar que todos los valores de las holguras se encuentren contemplados dentro de las tolerancias fijadas.

En la tabla N° 58 se muestran estos valores ya calculados, y para cada uno de los lotes se señala si cumplen o no con la tolerancia deseada.

Tabla N° 58. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para la primera secuencia del modelo 4.

Pedido (posición en la secuencia)	Holgura promedio (días)	Tolerancia Min. 7%	Tolerancia Máx. 7%	
I (5)	4.09 ± 0.05	3.8037	4.3763	Cumple
II (6)	2.4437 ± 0.04	2.272641	2.614759	Cumple
III (7)	8.4832 ± 0.05	7.889376	9.077024	Cumple
IV (2)	6.7814 ± 0.04	6.306702	7.256098	Cumple
V (1)	10.3832 ± 0.04	9.656376	11.110024	Cumple
VI (8)	3.324 ± 0.05	3.09132	3.55668	Cumple
VII (3)	2.1585 ± 0.04	2,007405	2,309595	Cumple
VIII (4)	-4 ± 0,04	-4.28	-3.72	Cumple

Debido a que todos los intervalos de confianza se encuentran dentro de la tolerancia exigida no es necesario realizar más replicas, razón por la cual los datos obtenidos anteriormente son representativos. Ver tabla N° 58.

La tabla N° 59 que se presenta a continuación refleja los costos promedios en los que incurre la empresa con esta secuencia de producción por almacenamiento y retraso en la entrega de pedidos.

Tabla Nº 59. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para la primera secuencia del modelo 4.

Pedido	Tipo de ítem	Tamaño del lote (unidades)	Holgura promedio (días)	Costo promedio por almacenamiento del pedido (Bs.F)	Costo promedio por retraso del pedido (Bs.F)	Total (Bs.F)
I	1	100	4,09	245,4	0	245,4
II	5	138	2,4437	101,1692	0	101,1692
III	2	120	8,4832	407,1936	0	407,1936
IV	2	180	6,7814	488,2608	0	488,2608
V	3	200	10,3832	207,664	0	207,664
VI	5	174	3,324	173,5128	0	173,5128
VII	4	90	2,1585	97,1325	0	97,1325
VIII	1	150	-4	0	1080	1080
Costo promedio total de la secuencia						2800,333

En la secuencia estudiada se obtuvo un nivel de servicio del 87,5%, por lo tanto no cumple con la prioridad de la empresa (maximizar el nivel de servicio) debido a que el pedido VIII secuenciado en la cuarta posición arroja cuatro días de retraso y unos costos promedios debido a esto de Bs.F 1080. También llama la atención los pedidos III, IV y V los cuales poseen valores de holguras de 8,4832; 6,7814; y 10,3832 respectivamente. Además de lo expuesto anteriormente la secuencia evaluada tiene un costo promedio de almacenamiento y retraso para todos los pedidos de Bs.F 2800,333, el cual sería bueno intentar reducir, intercambiando el orden de fabricación de los pedidos.

Entonces por lo anteriormente expuesto se estudiará el impacto en la variación de la secuencia con el fin de mejorar las condiciones de ésta.

La opción propuesta es, el pedido VIII será intercambiar posición con el pedido V el cual se encuentra actualmente en la primera posición. Mientras que el pedido IV intercambiara posición con el pedido VII y finalmente el pedido III

intercambiara posición con el pedido VI. A continuación se presenta la tabla con las características para ésta secuencia propuesta. Ver tabla N° 60.

Tabla N° 60. Segunda secuencia de producción a probar del modelo 4.

Pedido	Tipo de ítem	Tamaño del lote (unidades)	Fecha de entrega (días)	Posición en la secuencia
I	1	100	30	5
II	5	138	30	6
III	2	120	39	8
IV	2	180	25	3
V	3	200	25	4
VI	5	174	37	7
VII	4	90	22	2
VIII	1	150	20	1

Para esta segunda secuencia se usaran igualmente 25 replicas y se comprobará si los resultados se ajustan a la tolerancia de $\pm 7\%$ exigida por la empresa, usando un $\alpha=0.05$.

Luego de simular la nueva secuencia de producción se obtuvieron los resultados que aparecen en la tabla N° 61.

Tabla N° 61. Resultados de la segunda secuencia para el modelo 4.

Pedido (posición en la secuencia)	Holgura promedio (días)
I (5)	5,5948 \pm 0,05
II (6)	4,0385 \pm 0,03
III (8)	7,0327 \pm 0,04
IV (3)	6,6914 \pm 0,03
V (4)	2.8165 \pm 0,04
VI (7)	7,7317 \pm 0,04
VII (2)	8,4047 \pm 0,03
VIII (1)	8.0385 \pm 0,02

Para determinar si el número de corridas es suficiente se debe comprobar que todos los valores de las holguras se encuentren contemplados dentro de las tolerancias fijadas.

En la tabla N° 62 se muestran estos valores ya calculados, y para cada uno de los lotes se señala si cumplen o no con la tolerancia deseada.

Tabla N° 62. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para la segunda secuencia del modelo 4.

Pedido (posición en la secuencia)	Holgura promedio (días)	Tolerancia Min. 7%	Tolerancia Máx. 7%	
I (5)	5,5948 ± 0,05	5,203164	5,986436	Cumple
II (6)	4,0385 ± 0,03	3,755805	4,321195	Cumple
III (8)	7,0327 ± 0,04	6,540411	7,524989	Cumple
IV (3)	6,6914 ± 0,03	6,223002	7,159798	Cumple
V (4)	2.8165 ± 0,04	2,619345	3,013655	Cumple
VI (7)	7,7317 ± 0,04	7,190481	8,272919	Cumple
VII (2)	8,4047 ± 0,03	7,816371	8,993029	Cumple
VIII (1)	8.0385 ± 0,02	7,475805	8,601195	Cumple

Ya que todos los intervalos de confianza se encuentran dentro de la tolerancia exigida no es necesario realizar más replicas, razón por la cual los datos obtenidos anteriormente son representativos. Ver tabla N° 61.

Tabla N° 63. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para la segunda secuencia del modelo 4.

Pedido	Tipo de ítem	Tamaño del lote (unidades)	Holgura promedio (días)	Costo promedio por almacenamiento del pedido (Bs.F)	Costo promedio por retraso del pedido (Bs.F)	Total (Bs.F)
I	1	100	5,5948	335,688	0	335,688
II	5	138	4,0385	167,1939	0	167,1939
III	2	120	7,0327	337,5696	0	337,5696
IV	2	180	6,6914	481,7808	0	481,7808
V	3	200	2,8165	56,33	0	56,33
VI	5	174	7,7317	403,5947	0	403,5947
VII	4	90	8,4047	378,2115	0	378,2115
VIII	1	150	8,0385	723,465	0	723,465
Costo promedio total de la secuencia						2883,834

A diferencia del caso anterior en esta secuencia se obtuvo un nivel de servicio del 100%, lo cual cumple con la prioridad de la empresa (maximizar el nivel de servicio). Sin embargo, el costo promedio total es mayor al de la primera secuencia, es conveniente modificar la secuencia de producción de forma tal de minimizar los costos promedios para ello se plantea aumentar la holgura de los pedidos II, V y VI que son los que poseen menor costo unitario para de esta forma reducir los costos de los demás pedidos.

La opción propuesta para el pedido VI será intercambiar posición con el pedido III la cual se encuentra actualmente en la octava posición. Mientras que el pedido I ocupara la sexta posición, el II la quinta posición, el V la primera posición y finalmente es VII y VIII pedido ocuparan la tercera y segunda posición respectivamente. Ver tabla N° 64.

Tabla N° 64. Tercera secuencia de producción a probar del modelo 4.

Pedido	Tipo de ítem	Tamaño del lote (unidades)	Fecha de entrega (días)	Posición en la secuencia
I	1	100	30	6
II	5	138	30	5
III	2	120	39	7
IV	2	180	25	4
V	3	200	25	1
VI	5	174	37	8
VII	4	90	22	3
VIII	1	150	20	2

Para esta tercera secuencia se usaran igualmente 25 replicas y se comprobará si los resultados se ajustan a la tolerancia de $\pm 7\%$ exigida por la empresa, usando un $\alpha=0.05$.

Luego de simular la nueva secuencia de producción se obtuvieron los resultados que aparecen en la tabla N° 65.

Tabla N° 65. Resultados de la tercera secuencia para el modelo 4.

Pedido (posición en la secuencia)	Holgura promedio (días)
I (6)	2,0098 \pm 0,05
II (5)	4,3708 \pm 0,05
III (7)	8,5828 \pm 0,06
IV (4)	0,7575 \pm 0,04
V (3)	10,4133 \pm 0,03
VI (8)	3,7190 \pm 0,05
VII (2)	2,4967 \pm 0,04
VIII (1)	2,1307 \pm 0,04

Para determinar si el número de corridas es suficiente se debe comprobar que todos los valores de holgura se encuentren contemplados dentro de las tolerancias fijadas por la empresa. Ver tabla N° 66.

Tabla N° 66. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para la tercera secuencia del modelo 4.

Pedido (posición en la secuencia)	Holgura promedio (días)	Tolerancia Min. 7%	Tolerancia Máx. 7%	
I (6)	2,0098 ± 0,05	1,869114	2,150486	Cumple
II (5)	4,3708 ± 0,05	4,064844	4,676756	Cumple
III (7)	8,5828 ± 0,06	7,982004	9,183596	Cumple
IV (4)	0,7575 ± 0,04	0,704475	0,810525	Cumple
V (3)	10,4133 ± 0,03	9,684369	11,142231	Cumple
VI (8)	3,7190 ± 0,05	3,45867	3,97933	Cumple
VII (2)	2,4967 ± 0,04	2,321931	2,671469	Cumple
VIII (1)	2,1307 ± 0,04	1,981551	2,279849	Cumple

Ya que todos los intervalos de confianza se encuentran dentro de la tolerancia exigida no es necesario realizar más replicas, razón por la cual los datos obtenidos anteriormente son representativos. Ver tabla N° 65.

Tabla N° 67. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para la tercera secuencia del modelo 4.

Pedido	Tipo de ítem	Tamaño del lote (unidades)	Holgura promedio (días)	Costo promedio por almacenamiento del pedido (Bs.F)	Costo promedio por retraso del pedido (Bs.F)	Total (Bs.F)
I	1	100	2,0098	120,588	0	120,588
II	5	138	4,3708	180,9511	0	180,9511
III	2	120	8,5828	411,9744	0	411,9744
IV	2	180	0,7575	54,54	0	54,54
V	3	200	10,413	208,266	0	208,266
VI	5	174	3,719	194,1318	0	194,1318
VII	4	90	2,4967	112,3515	0	112,3515
VIII	1	150	2,1307	191,763	0	191,763
Costo promedio total de la secuencia						1474,566

Con ésta secuencia se observa que el nivel de servicio es del 100%, se redujo considerablemente las holguras de los pedidos I, IV, VI, VII y VIII y por consiguiente el costo promedio total se redujo a Bs.F 1474,566. Por lo anteriormente mencionado se puede concluir que la tercera secuencia es la que arroja mejor resultado para el sistema planteado.

CAPITULO V
MODELOS QUE EVALUAN SECUENCIAS DE PRODUCCIÓN, BAJO
ESTRUCTURAS JOB SHOP.

5. MODELOS DE SIMULACION PARA DETERMINAR SECUENCIAS DE PRODUCCION EN EMPRESAS CON ESTRUCTURA DE PRODUCCIÓN JOB SHOP.

En el presente capítulo se describirán los sistemas estudiados y se explicarán los modelos construidos, ilustrando su uso por medio de la resolución de un ejemplo.

5.1 ESTRUCTURA JOB SHOP.

La empresa en estudio opera con cinco estaciones, a su vez cada estación dispone de un recurso, elabora diez tipos de artículos y tiene una estructura JOB SHOP.

En este capítulo para obtener el mejor nivel de servicio se evalúan tres modelos cada uno corresponde a una regla de prioridad, el tiempo de procesamiento más corto, la menor fecha de entrega y finalmente la menor holgura, lo cual genera automáticamente la secuencia según convenga para la regla de prioridad, a diferencia de los anteriores en los que el usuario debía colocar la secuencia que más se le ajustara al problema.

Para este modelo es necesario establecer previamente la ruta que debe seguir cada producto para su elaboración. A continuación se presenta la tabla N° 68 que muestra dicha ruta.

Tabla N° 68. Orden de paso de los productos por las estaciones.

Ruta	Orden de paso por las estaciones	Productos que siguen la ruta
R1	A-B-C-E-D	2-4-6
R2	A-B-E-D	1-5
R3	A-B-C	9-10
R4	A-E-B	3
R5	A-D-C-E	7-8

5.1.1 Datos de entrada.

El modelo construido permite determinar la secuencia considerando hasta un máximo de diez nuevos pedidos, y de veinticinco pedidos en proceso, los tiempos de puesta a punto en la estación j ($j=1, \dots, 5$), se consideran variables aleatorias y los tiempos de procesar una unidad del ítem i ($i=1, \dots, 10$), en la estación j ($j=1, \dots, 5$) son variables aleatorias. Ver tablas N° 69 y 70.

Tabla N° 69. Tiempo de puesta punto en cada estación.

Tipo de producto	Estación A	Estación B	Estación C	Estación D	Estación E	Unidad de medida
1	U(0,5;1)	U(0,5;1)	-	U(0,33;0,66)	U(0,25;0,5)	Horas
2	U(0,5;1)	U(0,5;1)	U(0,33;0,66)	U(0,33;1)	U(0,25;0,5)	Horas
3	U(0,5;1)	U(0,33;0,66)	-	-	U(0,5;1)	Horas
4	U(0,5;1)	U(0,5;1)	U(0,33;0,66)	U(0,33;1)	U(0,25;0,5)	Horas
5	U(0,5;1)	U(0,5;1)	-	U(0,25;0,5)	U(0,33;0,66)	Horas
6	U(0,5;1)	U(0,33;0,66)	U(0,25;0,5)	U(0,5;1)	N(0,5;0,2)	Horas
7	U(0,5;1)	-	U(0,33;0,66)	U(0,5;1)	U(0,25;0,5)	Horas
8	U(0,5;1)	-	U(0,33;0,66)	U(0,5;1)	U(0,25;0,5)	Horas
9	U(0,5;1)	U(0,25;0,5)	U(0,33;0,66)	-	-	Horas
10	U(0,25;0,5)	U(0,5;1)	U(0,5;1)	-	-	Horas

Tabla Nº 70. Tiempo de procesamiento de la unidad i en la estación j.

Tipo de producto	Estación A	Estación B	Estación C	Estación D	Estación E	Unidad de medida
1	U(0,5;0,75)	N(1;0,3)	-	N(1,5;0,2)	N(1,5;0,2)	Horas
2	U(0,5;75)	U(1;1,5)	U(0,5;1,2)	U(1,2;1,9)	U(0,9;1,5)	Horas
3	N(2,5;0,2)	N(1,5;0,8)	-	-	N(2,3;0,2)	Horas
4	U(0,5;0,8)	U(2,5;3)	N(1,8;0,1)	U(1;2)	N(2,1;0,5)	Horas
5	U(1,9;2,8)	N(2,6;0,2)	-	N(1,8;0,5)	N(1,3;0,2)	Horas
6	U(1,6;2,4)	U(2,5;2,8)	U(0,9;1,5)	U(0,8;1,2)	N(0,5;0,2)	Horas
7	U(0,75;1)	-	T(0,4;0,8;1,3)	N(1,8;0,2)	T(0,75;1,25;1,75)	Horas
8	U(0,75;1)	-	U(1,2;1,9)	U(2;2,5)	T(0,9;1,4;1,8)	Horas
9	T(1,5;1,8;2,2)	N(0,6;0,2)	N(1,7;0,2)	-	-	Horas
10	T(0,7;1,1;1,4)	T(1,5;1,75;2,1)	N(2,1;0,2)	-	-	Horas

Además de la información que se presenta anteriormente, para el correcto funcionamiento del modelo es necesario que el usuario ingrese los siguientes datos: el número de nuevos pedidos a secuenciar, el número de pedidos en proceso y para cada pedido debe indicar el tipo de producto o ítem, el tamaño del lote que se debe elaborar, la fecha de entrega (número de días en que debe estar lista la orden) y para los productos en proceso se debe decir en cual estación se encuentra actualmente el pedido.

5.1.2 DIAGRAMA Y EXPLICACIÓN DEL MODELO

El modelo a construir busca estimar para cada regla de prioridad la holgura que presenta cada pedido, esto con el fin de poder así determinar aquella que logre el mejor nivel de servicio posible.

El modelo se divide en 4 etapas, la primera etapa es la generación de pedidos nuevos, la segunda es la de pedidos en proceso, la tercera es el sistema de producción y la última es la recolección de resultados.

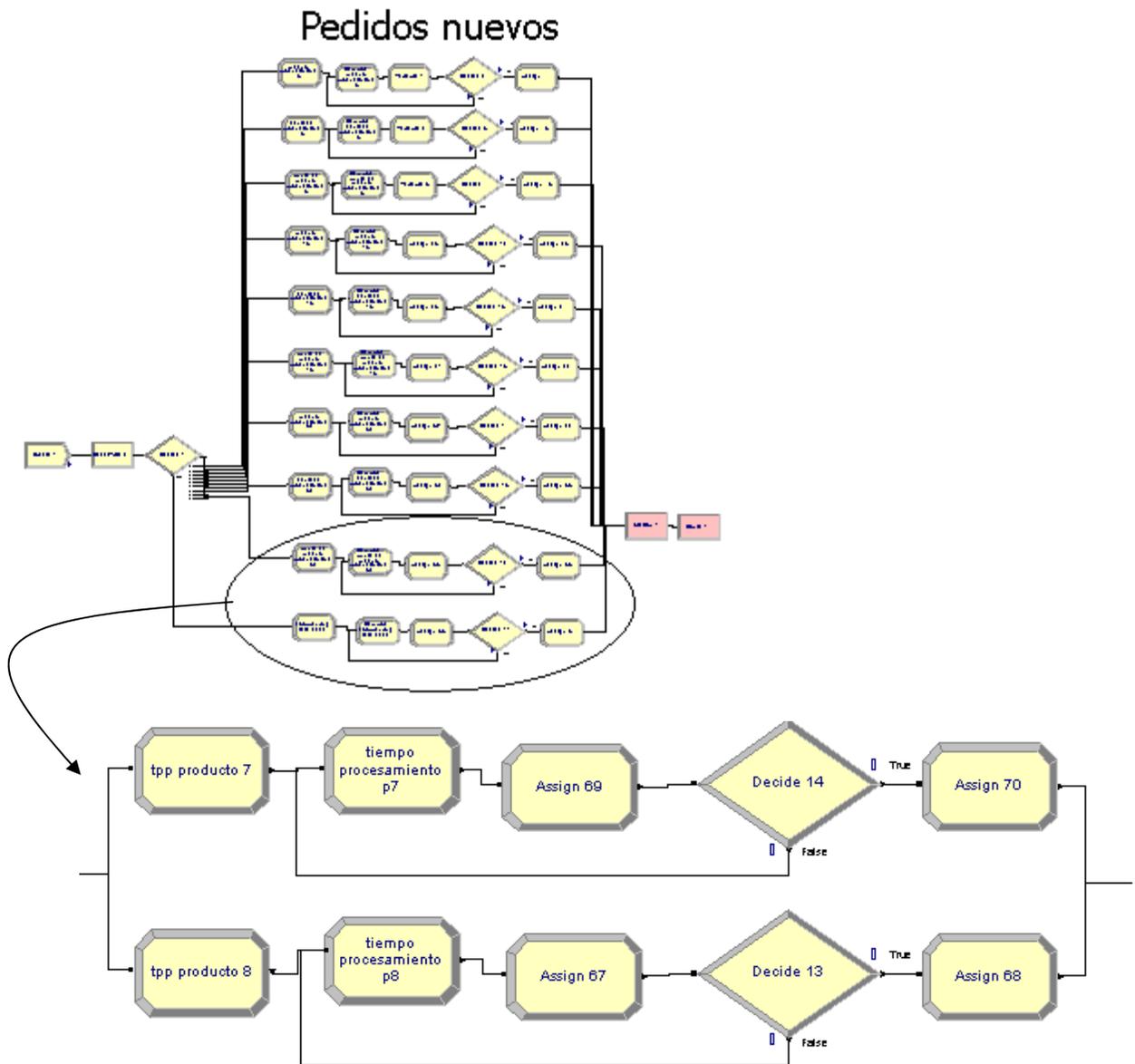
La primera etapa del modelo comienza con un nodo *create* Ver figura 19, encargado de generar tantas entidades (pedidos nuevos) como diga el archivo número de pedidos.txt. Los pedidos que salen del *create* se dirigen hacia un nodo *readwrite* que le asigna a cada uno el tamaño del lote que tendrá, el tipo de producto que lo conforma y la fecha de entrega. Luego de salir del *readwrite* los pedidos pasan por un nodo *decide* el cual identifica el tipo de producto que maneja el lote para luego pasar al nodo *assign* Ver figura 20, donde se le fija el orden en que el producto debe pasar por las maquinas, el tiempo de puesta punto y además una imagen que le corresponde a cada producto, una vez finalizada ésta se dirige a otro *assign* el cual esta encargado de asignar a cada producto el tiempo de procesamiento en cada centro de trabajo, al salir de allí la unidad se dirige a un tercer *assign* quien está encargado de contabilizar el número de veces que la entidad ha pasado por ese nodo, con el fin de poder determinar el tiempo total de procesamiento del lote. Luego la entidad se dirige a un nodo *decide* el cual pregunta si ¿ya pasaron todas las unidades que componen el lote?

- De ser negativa la respuesta es porque no han pasado todas las unidades y por lo tanto no se puede calcular el tiempo total de procesamiento del lote en cada estación el recorrido continúa en el segundo *assign* explicado anteriormente el cual esta encargado de incrementar el tiempo de procesamiento del lote, al salir de allí se dirige al tercer *assign* el cual contabiliza cuantas veces la entidad ha pasado por él.
- En caso de ser positiva es por que han pasado todas las unidades del lote y por lo tanto se calcula el tiempo total de procesamiento del lote en cada estación, el recorrido continúa en otro *assign* el cual determina el tiempo de procesamiento de todo el lote, esto se hace sumando el tiempo de servicio de todas las unidades en todos los centros de trabajo, además determina la holgura con la cuenta cada pedido.

Al salir de este nodo se dirige a un *route* el cual se encarga de enviar el lote al primer centro de trabajo que requiera el producto para ser procesado. Por

ejemplo si se tuviese que fabricar un lote de producto 1 el cual sigue la ruta 2, la primera estación en visitar sería la A y luego B-E-D. Ver tabla 70.

Figura N° 17. Primera etapa asignación de características para pedidos nuevos.



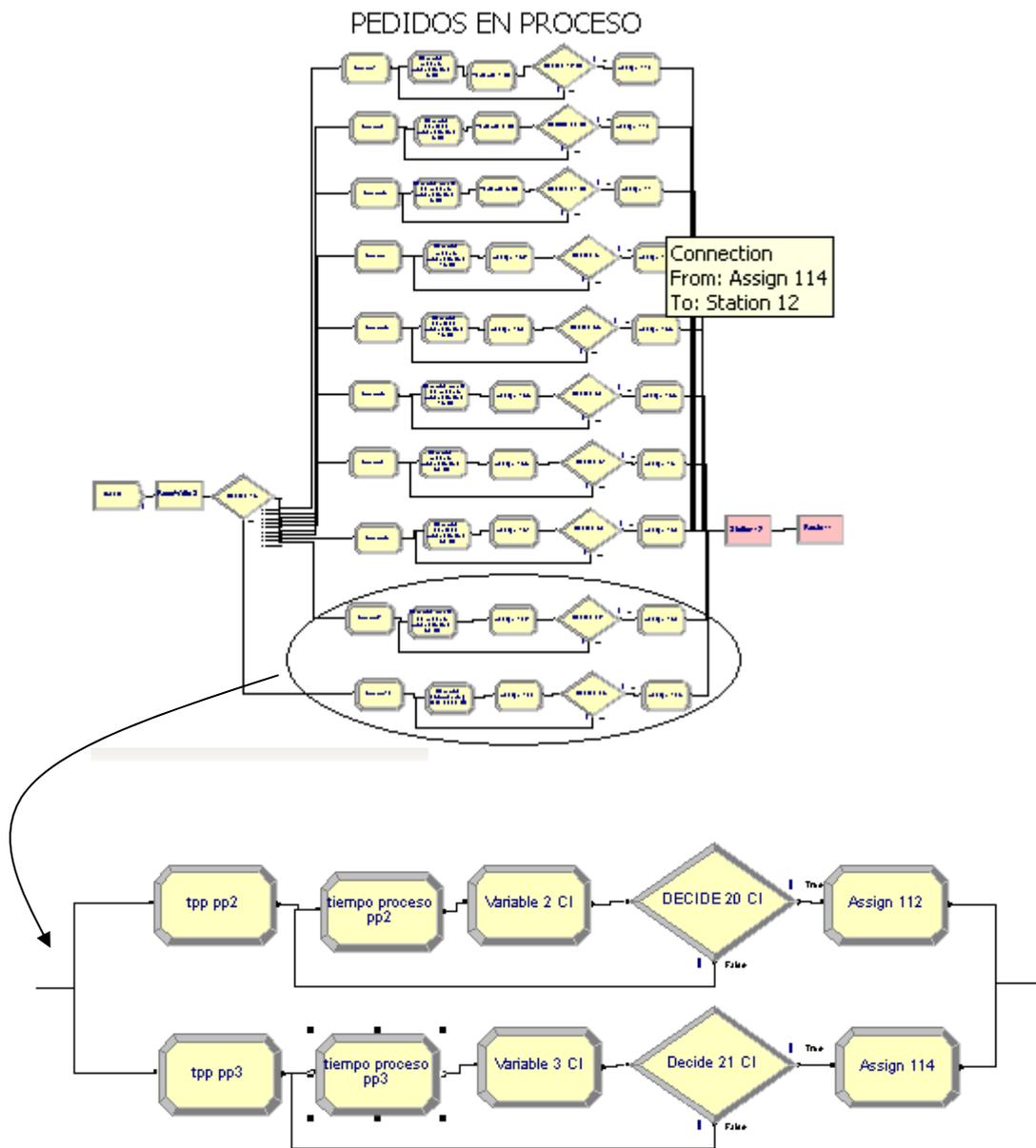
La segunda etapa comienza con un *create* Ver figura 20, encargado de generar tantas entidades (pedidos en proceso) como diga el archivo número de pedidos en proceso txt. Los pedidos que salen del *create* se dirigen hacia un nodo

readwrite que le asigna a cada uno el tamaño del lote que tendrá, el tipo de producto que lo conforma, la fecha de entrega y condición en la que se encuentra, esta última es el punto en el proceso de elaboración en que se encuentra el producto en el momento en que esta comenzando la simulación. Al salir de este nodo las unidades se dirigen a un *decide* cuya función es identificar el tipo de producto que se está produciendo para así enviarlo a su correspondiente nodo *assign*, quien le fija al producto el orden en que el producto debe pasar por las máquinas, el tiempo de servicio en cada centro de trabajo que le reste por ser procesado, el tiempo de puesta a punto y además una imagen para poder identificarlo durante la simulación. Una vez la entidad haya pasado por el primer nodo *assign* se dirige a otro nodo *assign* el cual está encargado de establecer a cada producto el tiempo de procesamiento de cada centro de trabajo, al salir de allí la unidad se dirige a un tercer nodo *assign* quien está encargado de contabilizar el número de veces que la entidad ha pasado por ese nodo, con el fin de poder determinar el tiempo total restante de procesamiento del lote. Luego la entidad se dirige a un nodo *decide* el cual pregunta si ¿ya pasaron todas las unidades que componen el lote?

- De ser negativa la respuesta es porque no han pasado todas las unidades y por lo tanto no se puede calcular el tiempo total restante de procesamiento del lote en cada estación, el recorrido continúa en el segundo *assign* explicado anteriormente el cual incrementa el tiempo de procesamiento del lote, al salir de allí se dirige al tercer *assign* quien contabiliza cuantas veces la entidad ha pasado por él.
- En caso de ser positiva es porque han pasado todas las unidades del lote y por lo tanto se calcula el tiempo total restante de procesamiento para el lote, el recorrido continúa en otro *assign* el cual determina el tiempo de procesamiento de todo el lote, esto se hace sumando el tiempo de servicio de todas las unidades en todos los centros de trabajo, además determina la holgura con la cuenta cada pedido.

Al salir de este nodo se dirige a un *route* el cual se encarga de enviar el lote al centro de trabajo que le corresponda al producto para ser procesado. Por ejemplo si se tuviese que continuar fabricando un lote del producto 3 quien sigue la ruta 4; y al comenzar la simulación el lote se encuentra al final de la estación E, la próxima estación en visitar según la tabla N° 70 sería la B.

Figura 18. Segunda etapa asignación de características para pedidos en proceso.

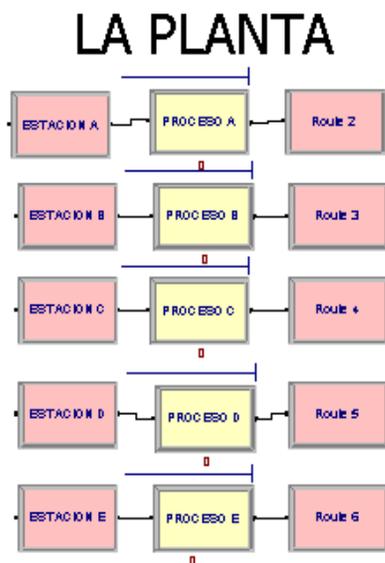


La tercera etapa de los modelos es la de fabricación del producto y para cada modelo varia dependiendo del tipo de regla de decisión que se utilice para secuenciar los pedidos:

- a. Tiempo de procesamiento más corto.
- b. Fecha de entrega más próxima.
- c. Menor holgura.

La etapa de producción comienza cuando el pedido sale de la primera o segunda etapa a través de un nodo *route*, ver figura 21. Cuando el pedido es nuevo llega a la primera estación, mientras que los pedidos en proceso se dirigen a la estación que les corresponde. Luego el lote entra a un nodo *process* el cual simula el procesamiento del lote entero, en este nodo los pedidos organizan su secuencia de producción según su regla de prioridad, de allí el lote se dirige a un *route* el cual traslada el pedido a la próxima estación que le corresponda. Si el lote fue terminado se enviará a la cuarta etapa del modelo.

Figura 19. Tercera etapa elaboración del producto.



La cuarta etapa del modelo es en donde se recolectan los resultados ver figura 20 y empieza cuando el lote sale de la última estación de procesamiento, este es enviado a un nodo *decide* ver figura 21 y 22 el cual identifica si es un pedido nuevo o si estaba en proceso, debido a que los registra de manera separa.

- Si es un pedido nuevo el lote es enviado a otro nodo *decide* el cual esta encargado de identificar el serial del lote para enviarlo a su correspondiente nodo *assign*, este serial es único para cada pedido y sirve para identificarlo, en el *assign* se calcula la holgura. Al salir de este nodo pasa por un *record* quien se encarga de almacenar la información para que pueda aparecer en los reportes, luego se dirige a otro record el cual contabiliza los pedidos culminados para luego terminar el recorrido en un nodo *dispose*.
- Si es un pedido en proceso el lote es enviado a otro nodo *decide* el cual esta encargado de identificar el serial del lote para enviarlo a su correspondiente *assign*, este serial igualmente es único para cada pedido y sirve para identificarlo, en el *assign* se calcula la holgura. Al salir de este nodo pasa por un *record* el cual se encarga de almacenar la información para que pueda aparecer en los reportes, luego se dirige a otro record el cual contabiliza los pedidos culminados para luego terminar el recorrido en un nodo *dispose*.

Figura 20. Cuarta etapa entrada al submodelo de recolección de resultados.

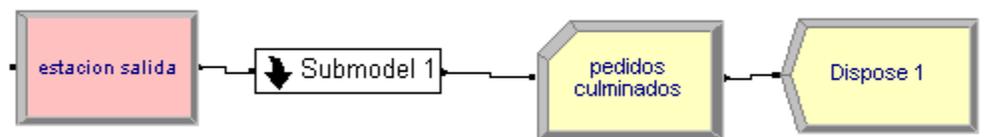


Figura 21. Cuarta etapa recolección de resultados de nuevos pedidos (submodelo).

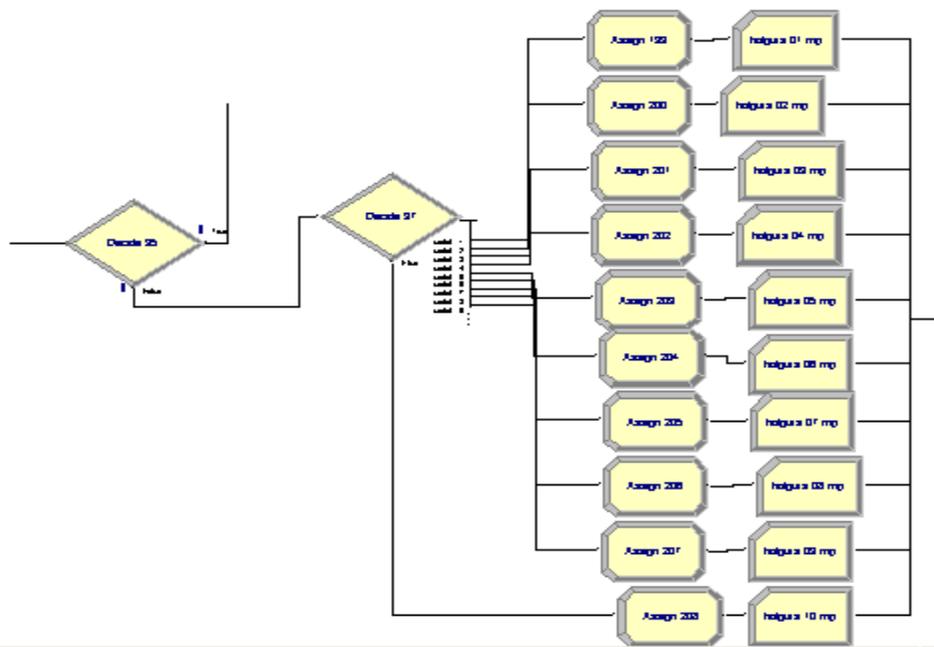
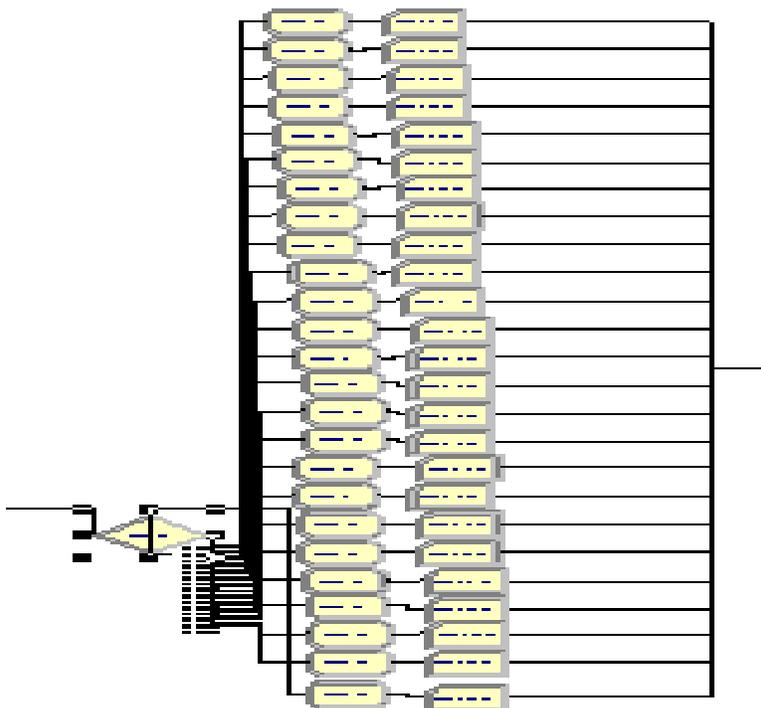


Figura 22. Cuarta etapa recolección de resultados de pedidos en proceso (submodelo).



EJEMPLO 5.

A continuación se presenta un caso práctico el cual corresponde a una empresa que posee una estructura JOB SHOP. La empresa labora 16 horas diarias, todos los días de la semana. El paso por cada centro de trabajo se realiza de forma que hasta que se ejecute la operación (o conjunto de ellas) sobre todas las unidades del lote no pasan estas a la siguiente estación o centro de trabajo.

Para los siguientes 8 nuevos pedidos y 25 pedidos en proceso, cuyas características se muestran en las tablas N° 71 y 72 respectivamente, la empresa desea determinar con cual regla de prioridad entre menor tiempo de holgura, menor fecha de entrega y tiempo de procesamiento más corto se obtiene un mejor nivel de servicio.

Tabla N° 71. Características de los nuevos pedidos para el modelo 5.

Serial	Tipo de producto	Tamaño del lote (unidades)	Fecha de entrega (días)
1	1	5	25
2	3	10	27
3	4	15	30
4	7	20	33
5	5	25	36
6	8	8	30
7	10	13	38
8	6	17	40

Tabla Nº 72. Características de los pedidos en proceso para el modelo 5.

Serial	Tipo de producto	Tamaño del lote (unidades)	Fecha de entrega (días)	Ultima estación
1	1	5	2	3
2	3	5	7	3
3	3	8	10	2
4	8	10	8	3
5	9	12	14	2
6	10	15	18	2
7	9	18	15	3
8	10	20	19	2
9	5	10	16	3
10	5	10	21	2
11	5	8	18	3
12	3	5	7	2
13	4	9	24	3
14	7	15	13	2
15	8	10	6	3
16	2	25	13	2
17	5	15	14	3
18	3	5	13	2
19	10	16	17	3
20	2	15	14	2
21	8	12	22	2
22	9	15	10	2
23	10	10	9	2
24	3	5	10	3
25	8	13	19	2

En la tabla N° 73 se muestran los costos en los que incurre cada producto por almacenamiento o retraso en la entrega al cliente.

Tabla N° 73. Costos por almacenamiento y retraso de los ítems.

Tipo de ítem	Costo por unidad por día de almacenamiento (Bs.F/U*día)	Costo por unidad por día de retraso (Bs.F/U*día)
1-6	0,6	1,8
2-7	0,4	1,6
3-8	0,1	0,3
4-9	0,5	1,5
5-10	0,3	0,6

A continuación se presentan los resultados obtenidos por el modelo que utiliza como criterio de decisión para la determinación de la secuencia de producción la regla de prioridad tiempo de procesamiento más corto. Se utilizó una tolerancia de $\pm 7\%$ y se realizó un estudio piloto de 25 replicas, usando un $\alpha=0,05$. Ver tablas 74 y 75.

Tabla N° 74. Resultados de las holguras para los nuevos pedidos del modelo tiempo de procesamiento más corto.

Serial	Holgura promedio (días)
1	19,5732 \pm 0,07
2	19,0125 \pm 0,35
3	5,0628 \pm 0,11
4	11,9639 \pm 0,07
5	13,7527 \pm 0,12
6	12,6287 \pm 0,07
7	20,7241 \pm 0,09
8	16,7008 \pm 0,12

Tabla Nº 75. Resultados de las holguras para los pedidos en proceso del modelo tiempo de procesamiento más corto.

Serial	Holgura promedio (días)
1	1,4654 ± 0,01
2	6,75 ± 0
3	8,2402 ± 0,07
4	4,6914 ± 0,05
5	7,2552 ± 0,05
6	9,2444 ± 0,06
7	14,8125 ± 0
8	7,5762 ± 0,06
9	12,6391 ± 0,05
10	14,3741 ± 0,07
11	13,7091 ± 0,05
12	6,0182 ± 0,04
13	18,8639 ± 0,08
14	-4 ± 0,07
15	1,8173 ± 0,05
16	0,8659 ± 0,03
17	11,7947 ± 0,05
18	10,7406 ± 0,07
19	16,8125 ± 0
20	5,0064 ± 0,19
21	7,8981 ± 0,07
22	5,9362 ± 0,04
23	3,574 ± 0,05
24	9,75 ± 0
25	3,5274 ± 0,07

Para determinar si el número de corridas es suficiente se debe comprobar que todos los valores de las holguras se encuentren contemplados dentro de las tolerancias fijadas.

En las tablas N° 76 y 77 se muestran estos valores ya calculados, y para cada uno de los lotes se señala si cumplen o no con la tolerancia deseada.

Tabla N° 76. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para los nuevos pedidos del modelo tiempo de procesamiento más corto.

Serial	Holgura promedio (días)	Tolerancia Min. 7%	Tolerancia Máx. 7%	
1	19,5732 ± 0,07	18,203076	20,943324	Cumple
2	19,0125 ± 0,35	17,681625	20,343375	Cumple
3	5,0628 ± 0,11	4,708404	5,417196	Cumple
4	11,9639 ± 0,07	11,126427	12,801373	Cumple
5	13,7527 ± 0,12	12,790011	14,715389	Cumple
6	12,6287 ± 0,07	11,744691	13,512709	Cumple
7	20,7241 ± 0,09	19,273413	22,174787	Cumple
8	16,7008 ± 0,12	15,531744	17,869856	Cumple

Tabla Nº 77. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para los pedidos en proceso del modelo tiempo de procesamiento más corto.

Serial	Holgura promedio (días)	Tolerancia Min. 7%	Tolerancia Máx. 7%	
1	1,4654 ± 0,01	1,362822	1,567978	Cumple
2	6,75 ± 0	6,2775	7,2225	Cumple
3	8,2402 ± 0,07	7,663386	8,817014	Cumple
4	4,6914 ± 0,05	4,363002	5,019798	Cumple
5	7,2552 ± 0,05	6,747336	7,763064	Cumple
6	9,2444 ± 0,06	8,597292	9,891508	Cumple
7	14,8125 ± 0	13,775625	15,849375	Cumple
8	7,5762 ± 0,06	7,045866	8,106534	Cumple
9	12,6391 ± 0,05	11,754363	13,523837	Cumple
10	14,3741 ± 0,07	13,367913	15,380287	Cumple
11	13,7091 ± 0,05	12,749463	14,668737	Cumple
12	6,0182 ± 0,04	5,596926	6,439474	Cumple
13	18,8639 ± 0,08	17,543427	20,184373	Cumple
14	-4 ± 0,07	-3,72	-4,28	Cumple
15	1,8173 ± 0,05	1,690089	1,944511	Cumple
16	0,8659 ± 0,03	0,805287	0,926513	Cumple
17	11,7947 ± 0,05	10,969071	12,620329	Cumple
18	10,7406 ± 0,07	9,988758	11,492442	Cumple
19	16,8125 ± 0	15,635625	17,989375	Cumple
20	5,0064 ± 0,19	4,655952	5,356848	Cumple
21	7,8981 ± 0,07	7,345233	8,450967	Cumple
22	5,9362 ± 0,04	5,520666	6,351734	Cumple
23	3,574 ± 0,05	3,32382	3,82418	Cumple
24	9,75 ± 0	9,0675	10,4325	Cumple
25	3,5274 ± 0,07	3,280482	3,774318	Cumple

Debido a que todos los intervalos de confianza se encuentran dentro de la tolerancia exigida no es necesario realizar más replicas, razón por la cual los datos obtenidos anteriormente son representativos. Ver tablas 74 y 75.

Las tablas N° 78 y 79 reflejan los costos promedios en los que incurre la empresa con esta regla de prioridad por almacenamiento y retraso en la entrega de pedidos.

Tabla N° 78. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para los nuevos pedidos usando la regla de prioridad tiempo de procesamiento más corto del modelo 5.

Serial	Tipo de ítem	Tamaño del lote (unidades)	Holgura promedio (días)	Costo promedio por almacenamiento del pedido (Bs.F)	Costo promedio por retraso del pedido (Bs.F)	Total (Bs.F)
1	1	5	19,5732	58,72	0	58,72
2	3	10	19,0125	19,01	0	19,01
3	4	15	5,0628	37,97	0	37,97
4	7	20	11,9639	95,71	0	95,71
5	5	25	13,7527	103,15	0	103,15
6	8	8	12,6287	10,10	0	10,10
7	10	13	20,7241	80,824	0	80,824
8	6	17	16,7008	170,35	0	170,35
Costo promedio total de la secuencia						575,83

Tabla N° 79. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para los pedidos en proceso usando la regla de prioridad tiempo de procesamiento más corto del modelo 5.

Serial	Tipo de ítem	Tamaño del lote (unidades)	Holgura promedio (días)	Costo promedio por almacenamiento del pedido (Bs.F)	Costo promedio por retraso del pedido (Bs.F)	Total (Bs.F)
1	1	5	1,4654	4,39	0	4,39
2	3	5	6,75	3,38	0	3,38
3	3	8	8,2402	6,59	0	6,59
4	8	10	4,6914	4,69	0	4,69
5	9	12	7,2552	43,53	0	43,53
6	10	15	9,2444	41,59	0	41,59
7	9	18	14,8125	133,31	0	133,31
8	10	20	7,5762	45,46	0	45,46
9	5	10	12,6391	37,92	0	37,92
10	5	10	14,3741	43,12	0	43,12
11	5	8	13,7091	32,90	0	32,90
12	3	5	6,0182	3,01	0	3,01
13	4	9	18,8639	84,89	0	84,89
14	7	15	-4	0	96	96
15	8	10	1,8173	1,82	0	1,82
16	2	25	0,8659	8,66	0	8,66
17	5	15	11,7947	53,08	0	53,08
18	3	5	10,7406	5,37	0	5,37
19	10	16	16,8125	80,7	0	80,7
20	2	15	5,0064	30,04	0	30,04
21	8	12	7,8981	9,48	0	9,48
22	9	15	5,9362	44,52	0	44,52
23	10	10	3,574	10,72	0	10,72
24	2	5	9,75	19,5	0	19,5
25	8	13	3,5274	4,59	0	4,59
Costo promedio total de la secuencia						849,26

El costo total de la secuencia para el modelo que trabaja con la regla de prioridad tiempo de procesamiento más corto se muestra a continuación.

$$CT1 = CT_{np} + CT_{pp} \quad CT1 = 575,83 + 849,26 = 1433,58$$

CT1: costo total del modelo tiempo de procesamiento más corto.

CT_{np}: costo total de nuevos pedidos. CT_{pp}: costo total de pedidos en proceso.

En el modelo estudiado tiempo de procesamiento más corto se obtuvo un nivel de servicio del 96,96 %, por lo tanto no cumple con la prioridad de la empresa (maximizar el nivel de servicio) debido a que el lote que posee el serial 14 de productos en proceso no se entrega a tiempo debido a que cuenta con cuatro días de retraso. Sin embargo se calcularon los costos promedios totales para este modelo los cuales arrojaron un valor de Bs.F 1433,58.

A continuación se estudiará el impacto en la variación de la regla de prioridad como criterio de decisión para la determinación de la secuencia de producción, con el fin de observar las diferencias entre una regla y otra y así seleccionar la más adecuada.

Se utilizó una tolerancia de $\pm 7\%$ y se realizaron 25 replicas al igual que en el modelo de tiempo de procesamiento más corto, usando un $\alpha=0,05$, la regla de prioridad a evaluar es fecha de entrega más próxima. Ver tablas 80 y 81.

Tabla N° 80. Resultados de las holguras para los nuevos pedidos del modelo fecha de entrega más próxima.

Serial	Holgura promedio (días)
1	14,0059 \pm 0,21
2	13,6194 \pm 0,08
3	9,898 \pm 0,08
4	11,9 \pm 0,08
5	18,5577 \pm 0,1
6	10,4877 \pm 0,08
7	17,9327 \pm 0,09
8	16,9322 \pm 0,08

Tabla Nº 81. Resultados de las holguras para los pedidos en proceso del modelo fecha de entrega más próxima.

Serial	Holgura promedio (días)
1	1,4654 ± 0,01
2	6,75 ± 0
3	8,2402 ± 0,07
4	4,6518 ± 0,04
5	6,4466 ± 0,07
6	8,4358 ± 0,07
7	14,8125 ± 0
8	6,7677 ± 0,08
9	12,6391 ± 0,05
10	11,3589 ± 0,48
11	13,7091 ± 0,05
12	6,0182 ± 0,04
13	18,8749 ± 0,06
14	5,6542 ± 0,07
15	3,5222 ± 0,04
16	4,9992 ± 0,2
17	11,7947 ± 0,05
18	10,7406 ± 0,07
19	16,8125 ± 0
20	3,6793 ± 0,12
21	5,1752 ± 0,06
22	5,4008 ± 0,03
23	6,0317 ± 0,03
24	9,75 ± 0
25	3,2242 ± 0,05

Para determinar si el número de corridas es suficiente se debe comprobar que todos los valores de las holguras se encuentren contemplados dentro de las tolerancias fijadas.

En las tabla N° 82 y 83 se muestran estos valores ya calculados, y para cada uno de los lotes se señala si cumplen o no con la tolerancia deseada.

Tabla N° 82. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para los nuevos pedidos del modelo fecha de entrega más próxima.

Serial	Holgura promedio (días)	Tolerancia Min. 7%	Tolerancia Máx. 7%	
1	14,0059 ± 0,21	13,025487	14,986313	Cumple
2	13,6194 ± 0,08	12,666042	14,572758	Cumple
3	9,898 ± 0,08	9,20514	10,59086	Cumple
4	11,9 ± 0,08	11,067	12,733	Cumple
5	18,5577 ± 0,1	17,258661	19,856739	Cumple
6	10,4877 ± 0,08	9,753561	11,221839	Cumple
7	17,9327 ± 0,09	16,677411	19,187989	Cumple
8	16,9322 ± 0,08	15,746946	18,117454	Cumple

Tabla Nº 83. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para los pedidos en proceso del modelo fecha de entrega más próxima.

Serial	Holgura promedio (días)	Tolerancia Min. 7%	Tolerancia Máx. 7%	
1	1,4654 ± 0,01	1,362822	1,567978	Cumple
2	6,75 ± 0	6,2775	7,2225	Cumple
3	8,2402 ± 0,07	7,663386	8,817014	Cumple
4	4,6518 ± 0,04	4,326174	4,977426	Cumple
5	6,4466 ± 0,07	5,995338	6,897862	Cumple
6	8,4358 ± 0,07	7,845294	9,026306	Cumple
7	14,8125 ± 0	13,775625	15,849375	Cumple
8	6,7677 ± 0,08	6,293961	7,241439	Cumple
9	12,6391 ± 0,05	11,754363	13,523837	Cumple
10	11,3589 ± 0,48	10,563777	12,154023	Cumple
11	13,7091 ± 0,05	12,749463	14,668737	Cumple
12	6,0182 ± 0,04	5,596926	6,439474	Cumple
13	18,8749 ± 0,06	17,553657	20,196143	Cumple
14	5,6542 ± 0,07	5,258406	6,049994	Cumple
15	3,5222 ± 0,04	3,275646	3,768754	Cumple
16	4,9992 ± 0,2	4,649256	5,349144	Cumple
17	11,7947 ± 0,05	10,969071	12,620329	Cumple
18	10,7406 ± 0,07	9,988758	11,492442	Cumple
19	16,8125 ± 0	15,635625	17,989375	Cumple
20	3,6793 ± 0,12	3,421749	3,936851	Cumple
21	5,1752 ± 0,06	4,812936	5,537464	Cumple
22	5,4008 ± 0,03	5,022744	5,778856	Cumple
23	6,0317 ± 0,03	5,609481	6,453919	Cumple
24	9,75 ± 0	9,0675	10,4325	Cumple
25	3,2242 ± 0,05	2,998506	3,449894	Cumple

Debido a que todos los intervalos de confianza se encuentran dentro de la tolerancia exigida no es necesario realizar más replicas, razón por la cual los datos obtenidos anteriormente son representativos. Ver tablas 80 y 81.

Las tablas N° 84 y 85 reflejan los costos promedios en los que incurre la empresa con esta regla de prioridad por almacenamiento y retraso en la entrega de pedidos.

Tabla N° 84. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para los nuevos pedidos usando la regla de prioridad fecha de entrega más próxima del modelo 5.

Serial	Tipo de ítem	Tamaño del lote (unidades)	Holgura promedio (días)	Costo promedio por almacenamiento del pedido (Bs.F)	Costo promedio por retraso del pedido (Bs.F)	Total (Bs.F)
1	1	5	14,0059	42,0177	0	42,0177
2	3	10	13,6194	13,6194	0	13,6194
3	4	15	9,898	74,235	0	74,235
4	7	20	11,9	95,2	0	95,2
5	5	25	18,5577	139,1828	0	139,1828
6	8	8	10,4877	8,39016	0	8,39016
7	10	13	17,9327	69,93753	0	69,93753
8	6	17	16,9322	172,7084	0	172,7084
Costo promedio total de la secuencia						615,291

Tabla Nº 85. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para los pedidos en proceso usando la regla de prioridad fecha de entrega más próxima del modelo 5.

Serial	Tipo de ítem	Tamaño del lote (unidades)	Holgura promedio (días)	Costo promedio por almacenamiento del pedido (Bs.F)	Costo promedio por retraso del pedido (Bs.F)	Total (Bs.F)
1	1	5	1,4654	4,3962	0	4,3962
2	3	5	6,75	3,375	0	3,375
3	3	8	8,2402	6,59216	0	6,59216
4	8	10	4,6518	4,6518	0	4,6518
5	9	12	6,4466	38,6796	0	38,6796
6	10	15	8,4358	37,9611	0	37,9611
7	9	18	14,8125	133,3125	0	133,3125
8	10	20	6,7677	40,6062	0	40,6062
9	5	10	12,6391	37,9173	0	37,9173
10	5	10	11,3589	34,0767	0	34,0767
11	5	8	13,7091	32,90184	0	32,90184
12	3	5	6,0182	3,0091	0	3,0091
13	4	9	18,8749	84,93705	0	84,93705
14	7	15	5,6542	33,9252	0	33,9252
15	8	10	3,5222	3,5222	0	3,5222
16	2	25	4,9992	49,992	0	49,992
17	5	15	11,7947	53,07615	0	53,07615
18	3	5	10,7406	5,3703	0	5,3703
19	10	16	16,8125	80,7	0	80,7
20	2	15	3,6793	22,0758	0	22,0758
21	8	12	5,1752	6,21024	0	6,21024
22	9	15	5,4008	40,506	0	40,506
23	10	10	6,0317	18,0951	0	18,0951
24	2	5	9,75	19,5	0	19,5
25	8	13	3,2242	4,19146	0	4,19146
Costo promedio total de la secuencia						799,581

El costo total de la secuencia para el modelo que trabaja con la regla de prioridad tiempo de procesamiento más corto se muestra a continuación.

$$CT1 = CT_{np} + CT_{pp}$$

$$CT1 = 615,29 + 799,581 = 1414,871$$

CT1: costo total del modelo fecha de entrega más próxima.

CT_{np}: costo total de nuevos pedidos. CT_{pp}: costo total de pedidos en proceso.

En el modelo estudiado fecha de entrega más próxima se obtuvo un nivel de servicio del 100 %, por lo tanto cumple con la prioridad de la empresa (maximizar el nivel de servicio). Se calcularon los costos promedios totales para este modelo los cuales arrojaron un valor de Bs.F 1414,87.

A continuación se estudiará el impacto en la variación de la regla de prioridad como criterio de decisión para la determinación de la secuencia de producción, con el fin de observar las diferencias entre una regla y otra y así seleccionar la más adecuada.

Se utilizó una tolerancia de $\pm 7\%$ y se realizaron 25 replicas al igual que en los modelos anteriores, usando un $\alpha=0,05$, la regla de prioridad a evaluar es menor tiempo de holgura. Ver tablas 86 y 87.

Tabla Nº 86. Resultados de las holguras para los nuevos pedidos del modelo menor tiempo de holgura.

Serial	Holgura promedio (días)
1	6,625 \pm 0,13
2	12,279 \pm 0,08
3	12,8622 \pm 0,13
4	16,5788 \pm 0,17
5	20,4549 \pm 0,18
6	8,527 \pm 0,08
7	16,6375 \pm 0,09
8	20,5731 \pm 0,14

Tabla Nº 87. Resultados de las holguras para los pedidos en proceso del modelo menor tiempo de holgura.

Serial	Holgura promedio (días)
1	1,4654 ± 0,01
2	12,8622 ± 0,13
3	7,61 ± 0,51
4	1,6147 ± 0,04
5	5,5365 ± 0,05
6	7,5257 ± 0,06
7	14,8125 ± 0
8	5,8576 ± 0,07
9	12,6391 ± 0,05
10	11,3865 ± 1,13
11	13,2405 ± 0,71
12	6,0182 ± 0,04
13	5,9655 ± 0,13
14	-8 ± 0,08
15	-2 ± 0,12
16	6,1045 ± 0,2
17	11,7947 ± 0,05
18	8,1179 ± 0,07
19	16,8125 ± 0
20	5,612 ± 0,2
21	3,766 ± 0,08
22	5,9362 ± 0,04
23	3,092 ± 0,34
24	9,75 ± 0
25	-1 ± 0,07

Para comprobar si el número de replicas son suficientes se deben verificar que todos los valores de las holguras se encuentren contemplados dentro de las tolerancias fijadas.

En las tablas N° 88 y 89 se muestran los valores ya calculados, y para cada uno de los lotes se señala si cumplen o no con la tolerancia deseada.

Tabla N° 88. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para los nuevos pedidos del modelo menor tiempo de holgura.

Serial	Holgura promedio (días)	Tolerancia Min. 7%	Tolerancia Máx. 7%	
1	6,625 ± 0,13	6,16125	7,08875	Cumple
2	12,279 ± 0,08	11,41947	13,13853	Cumple
3	12,8622 ± 0,13	11,961846	13,762554	Cumple
4	16,5788 ± 0,17	15,418284	17,739316	Cumple
5	20,4549 ± 0,18	19,023057	21,886743	Cumple
6	8,527 ± 0,08	7,93011	9,12389	Cumple
7	16,6375 ± 0,09	15,472875	17,802125	Cumple
8	20,5731 ± 0,14	19,132983	22,013217	Cumple

Tabla Nº 89. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para los pedidos en proceso del modelo menor tiempo de holgura.

Serial	Holgura promedio (días)	Tolerancia Min. 7%	Tolerancia Máx. 7%	
1	1,4654 ± 0,01	1,362822	1,567978	Cumple
2	12,8622 ± 0,13	11,961846	13,762554	Cumple
3	7,61 ± 0,51	7,0773	8,1427	Cumple
4	1,6147 ± 0,04	1,501671	1,727729	Cumple
5	5,5365 ± 0,05	5,148945	5,924055	Cumple
6	7,5257 ± 0,06	6,998901	8,052499	Cumple
7	14,8125 ± 0	13,775625	15,849375	Cumple
8	5,8576 ± 0,07	5,447568	6,267632	Cumple
9	12,6391 ± 0,05	11,754363	13,523837	Cumple
10	11,3865 ± 1,13	10,589445	12,183555	No cumple
11	13,2405 ± 0,71	12,313665	14,167335	Cumple
12	6,0182 ± 0,04	5,596926	6,439474	Cumple
13	5,9655 ± 0,13	5,547915	6,383085	Cumple
14	-8 ± 0,08	-8,56	-7,44	Cumple
15	-2 ± 0,12	-2,14	-1,86	Cumple
16	6,1045 ± 0,2	5,677185	6,531815	Cumple
17	11,7947 ± 0,05	10,969071	12,620329	Cumple
18	8,1179 ± 0,07	7,549647	8,686153	Cumple
19	16,8125 ± 0	15,635625	17,989375	Cumple
20	5,612 ± 0,2	5,21916	6,00484	Cumple
21	3,766 ± 0,08	3,50238	4,02962	Cumple
22	5,9362 ± 0,04	5,520666	6,351734	Cumple
23	3,092 ± 0,34	2,87556	3,30844	Cumple
24	9,75 ± 0	9,0675	10,4325	Cumple
25	-1 ± 0,07	-1,07	-0,93	Cumple

Debido a que no todos los intervalos de confianza se encuentran dentro de la tolerancia exigida es necesario realizar un estudio estadístico para determinar el número de replicas necesarias para que el modelo cuente con la tolerancia

exigida. Para ello se estudiarán las réplicas del lote que posee el serial N° 10 de productos en proceso ya que este no cumple con la tolerancia exigida. Ver tablas 90.

Tabla N° 90. Holguras promedios para el serial N° 10 de productos en proceso.

Numero de la replica	Holgura promedio (días)
1	8,9741
2	9,1582
3	15,7816
4	9,3596
5	9,0452
6	15,7422
7	15,8493
8	9,1341
9	11,6679
10	9,2019
11	9,1701
12	9,3678
13	9,1406
14	16,3407
15	9,233
16	9,0072
17	9,2306
18	11,7162
19	11,5676
20	9,492
21	11,888
22	11,8797
23	15,4489
24	15,5189
25	11,7116

Con los datos de la tabla N° 90 y haciendo uso del programa StatGraphic, se obtuvo el número de replicas necesarias para el pedido en proceso del serial N° 10. Los resultados se muestran en la tabla N° 91.

Tabla N° 91. Análisis del número de corridas para la regla de prioridad menor tiempo de holgura.

Serial	\bar{X} (días)	S (días)	Número de corridas necesarias para cumplir con la tolerancia
10 (pp)	7,49745	2,73815	107

El número de replicas necesarias que arrojó el programa fue de 107, luego éste valor se ingresó al simulador y se obtuvieron los resultados que se presentan a continuación en las tablas N° 92 y 93.

Tabla N° 92. Resultados de las holguras para los nuevos pedidos del modelo menor tiempo de holgura.

Serial	Holgura promedio (días)
1	6,6226 ± 0,05
2	12,2429 ± 0,04
3	12,9002 ± 0,11
4	16,5537 ± 0,09
5	20,3871 ± 0,07
6	8,5478 ± 0,04
7	16,6637 ± 0,04
8	20,5737 ± 0,05

Tabla N° 93. Resultados de las holguras para los pedidos en proceso del modelo menor tiempo de holgura.

Serial	Holgura promedio (días)
1	1,4681 ± 0
2	6,75 ± 0
3	7,3099 ± 0,27
4	1,6464 ± 0,02
5	5,5651 ± 0,02
6	7,5608 ± 0,02
7	14,8125 ± 0
8	7,8903 ± 0,03
9	12,5987 ± 0,04
10	11,9329 ± 0,61
11	12,7247 ± 0,53
12	6,0178 ± 0,02
13	5,9784 ± 0,06
14	-8 ± 0,04
15	-2 ± 0,09
16	5,9609 ± 0,09
17	11,761 ± 0,02
18	7,9364 ± 0,24
19	16,8125 ± 0
20	5,4421 ± 0,11
21	3,7725 ± 0,04
22	5,953 ± 0,02
23	2,8837 ± 0,17
24	9,75 ± 0
25	-1 ± 0,04

Las tablas N° 94 y 95 reflejan los costos promedios en los que incurre la empresa con esta regla de prioridad por almacenamiento y retraso en la entrega de pedidos.

Tabla Nº 94. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para los nuevos pedidos usando la regla de prioridad menor tiempo de holgura del modelo 5.

Serial	Tipo de ítem	Tamaño del lote (unidades)	Holgura promedio (días)	Costo promedio por almacenamiento del pedido (Bs.F)	Costo promedio por retraso del pedido (Bs.F)	Total (Bs.F)
1	1	5	6,6226	19,8678	0	19,8678
2	3	10	12,2429	12,2429	0	12,2429
3	4	15	12,9002	96,7515	0	96,7515
4	7	20	16,5537	132,4296	0	132,4296
5	5	25	20,3871	152,9033	0	152,9033
6	8	8	8,5478	6,83824	0	6,83824
7	10	13	16,6637	64,98843	0	64,98843
8	6	17	20,5737	209,8517	0	209,8517
Costo promedio total de la secuencia						695,87

Tabla Nº 95. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para los pedidos en proceso usando la regla de prioridad menor tiempo de holgura del modelo 5.

Serial	Tipo de ítem	Tamaño del lote (unidades)	Holgura promedio (días)	Costo promedio por almacenamiento del pedido (Bs.F)	Costo promedio por retraso del pedido (Bs.F)	Total (Bs.F)
1	1	5	1,4681	4,40	0	4,40
2	3	5	6,75	3,38	0	3,38
3	3	8	7,3099	5,85	0	5,85
4	8	10	1,6464	1,65	0	1,65
5	9	12	5,5651	33,39	0	33,39
6	10	15	7,5608	34,02	0	34,02
7	9	18	14,8125	133,31	0	133,31
8	10	20	7,8903	47,34	0	47,34
9	5	10	12,5987	37,79	0	37,79
10	5	10	11,9329	35,79	0	35,79
11	5	8	12,7247	30,54	0	30,54
12	3	5	6,0178	3,01	0	3,01
13	4	9	5,9784	26,90	0	26,90
14	7	15	-8	0	192	192
15	8	10	-2	0	6	6
16	2	25	5,9609	59,61	0	59,61
17	5	15	11,761	52,92	0	52,92
18	3	5	7,9364	3,97	0	3,9682
19	10	16	16,8125	80,7	0	80,7
20	2	15	5,4421	32,65	0	32,6526
21	8	12	3,7725	4,53	0	4,527
22	9	15	5,953	44,65	0	44,6475
23	10	10	2,8837	8,65	0	8,6511
24	2	5	9,75	19,5	0	19,5
25	8	13	-1	0	3,9	3,9
Costo promedio total de la secuencia						906,47

El costo total de la secuencia para el modelo que trabaja con la regla de prioridad menor tiempo de holgura se presenta a continuación.

$$CT1 = CT_{np} + CT_{pp}$$

$$CT1 = 695,87 + 906,47 = 1602,34$$

CT1: costo total del modelo menor tiempo de holgura.

CT_{np}: costo total de nuevos pedidos. CT_{pp}: costo total de pedidos en proceso.

En el modelo estudiado menor tiempo de holgura se obtuvo un nivel de servicio del 90,91 %, por lo tanto no cumple con la prioridad de la empresa (maximizar el nivel de servicio). Sin embargo se calcularon los costos promedios totales para este modelo los cuales arrojaron un valor de Bs.F 1602,34.

Debido a las respuestas arrojadas por los tres modelos el que cumple con un nivel de servicio del 100% es el de fecha de entrega más próxima, razón por la cual fue seleccionado como la mejor regla de prioridad para este escenario.

CONCLUSIÓN

- Por medio del presente trabajo de investigación se demostró que es posible la determinación de la secuencia de producción en diferentes escenarios de empresas como lo son sistemas de producción de empujar o halar, estructura FLOW SHOP o JOB SHOP con una secuencia continua de las unidades o esperando la completación del lote para ser procesada por la siguiente estación, a través de la simulación e incluyendo como variables aleatorias los tiempos de puesta punto y los de procesamiento, además de otras restricciones que pueden estar involucradas en el sistema.
- A través del tanteo de diferentes secuencias, alimentando con ellas los modelos simulados; y usando como criterio principal de decisión el maximizar el nivel de servicio, se determinó para cada ejemplo la mejor de las secuencias estudiadas, cada criterio fue evaluado bajo las siguientes características, para la configuración FLOW SHOP todos los pedidos se entregaron a tiempo, es decir, un nivel de servicio del 100% y se escogieron los menores costos por almacenamiento. En la configuración JOB SHOP se escogió la regla de prioridad que arroje el orden de producción que cumpla en un 100% con el nivel de servicio y además el que obtenga el menor costo por almacenamiento. Las tres reglas de prioridad usadas fueron menor tiempo de holgura, menor tiempo de procesamiento, menor fecha de entrega. Todos los valores a escoger dependieron de los datos alimentados por los usuarios de los modelos.
- Luego de construidos los modelos hacer uso de la simulación para determinar la secuencia de producción arroja resultados rápidos y confiables, modelos que en segundos pueden simular meses. Cosa que favorece a las empresas, por la baja inversión que requiere predecir un valor confiable, rápido y a largo plazo.
- Con este trabajo se demuestra que a través de la simulación se evalúan aspectos importantes como lo son que se consideran variables aleatorias

los tiempos de puesta punto y de procesamiento, características que presentan como deficiencias los métodos analíticos. Además la simulación puede ser utilizada para diseñar modelos de cualquier empresa que van desde lo más simple hasta los más complejo. La dificultad del estudio dependerá de la complejidad del sistema y de la cantidad de variables del mismo.

- Este trabajo busca resaltar la importancia de la utilización de la simulación de sistemas como herramienta para analizar, evaluar, modificar comportamientos de sistemas operativos de organizaciones, por medio de métodos simplificados, también permite toma de decisiones sin realizar altas inversiones ni pruebas en los sistemas reales.

BIBLIOGRAFÍA

BANKS J., CARSON J.S., NELSON B.L, (1996), “**Discrete-Event System Simulation. Second Edition.**”, Prentice-Hall, New Jersey.

BANKS, J. y GIBSON, R. (2001), “**Simulating in the Real World, IIE Solutions Magazine**” (Versión Electrónica), Abril 2001, Volumen 33, Número 4.

BURGOS, Fernando. **Ingeniería de Métodos, Calidad y Productividad.** Segunda Edición. Publicaciones Universidad de Carabobo. Valencia - Venezuela. 1999.

BALLOU, Ronald. **Logística administración de la cadena de suministros.** Pearson, Prentice Hall. Quinta Edición 2004.

CASTRO, Solange y TORTOLERO, José (2006). “**Determinación de la mezcla y el tamaño de la flotilla de vehículos de una empresa de alimentos de consumo masivo para el transporte de sus productos terminados**”, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela.

COLMENARES, Eleazar (2006). “**Propuestas de mejoras en el sistema de distribución de productos (caso: Pepsi-Cola Venezuela c.a. agencia Valencia)**”, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela.

Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP),(s/f). “**Funciones de la cadena de suministro**”.

DOMINGUEZ, Machuca. **Dirección de Operaciones.** Interamericana de España, McGraw-Hill. Primera Edición 1995.

FERNANDEZ, Humberto; MARTÍNEZ, Cecilia (2007). “**Determinación del número de unidades de transporte necesarias para satisfacer la demanda de**

estudiantes en las rutas: centro-uc y uc-centro de la Universidad de Carabobo”, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela.

GARCIA, Eduardo. **Simulación y análisis de sistemas con Promodel**. Primera edición. Pearson educación. 2006.

HILLIER, Fredericks; LIEBERMAN, Gerald. **Introducción a la Investigación de operaciones**. Quinta Edición. McGraw-Hill, 1993.

JOINES, J.A; BARTON, R.R; KANG, K; FISHWICK, P.A **Product-mix analysis whith discrete event simulation**. Winter simulation conference, 2000.

KOTLER, Philip; ARMSTRONG, Gary. **Mercadotecnia**. Sexta Edición. Prentice - Hall Hispanoamericana, C.A. México. 1994.

LAW, A.M. y KELTON W.D. (1982), **Simulation Modeling and Analysis**”, Ed. McGraw-Hill, Inc., Estados Unidos de América.

RAMÍREZ, Tulio. **Como hacer un Proyecto de Investigación**. Editorial PANAPO.

SHANNON R.E., (1988), **Simulación de Sistemas. Diseño, desarrollo e implementación**”, Trillas, México.

TAHA, Hamdy A. **Investigación de Operaciones. Una Introducción**. Sexta Edición. Prentice – Hall Hispanoamericana, S.A. México. 1998.

TARIFA, Enrique E. **Teoría de Modelos y Simulación**”, Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Jujuy.

VOLLMANN, Thomas E; BERRY, William L; WHYBARK, D. Clay. **Sistemas de Planificación y Control de la Fabricación**. Tercera Edición. Addison - Wesley Iberoamericana, S.A. 1994.

WAINER, Gabriel. **“Introducción a la simulación de sistemas de eventos discretos”**, Departamento de computación FCEN. Universidad de Buenos Aires – Argentina.

CALDERON Jaime H. **<http://logistweb.wordpress.com/about/>**

BERDEGUE, Julio A.; LEERIAN, Barbara. **www.geocities.com/SiliconValley**

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	3
EL PROBLEMA	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.2 OBJETIVOS.....	7
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	7
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
1.3 ALCANCE.....	7
1.4 LIMITACIONES	8
1.5 JUSTIFICACIÓN.....	8
CAPITULO II	10
MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO.....	10
2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	11
2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	13
2.2.1 Cadenas de suministro.....	13
2.2.1.1 Funciones de la cadena de suministro	14
2.2.2 Sistemas de producción	15
2.2.2.1 Sistemas de empujar	15
2.2.2.2 Sistemas de halar.....	15
2.2.3 Programa de operaciones	16
2.2.4 Secuencia	16
2.2.5 Configuración de la planta.....	17
2.2.5.1 FLOW SHOP	17
2.2.5.2 JOB SHOP	17
2.2.6 Reglas de prioridad	18
2.2.7 Sistema	20
2.2.7.1 Clasificación de sistemas	20
2.2.8 Modelo	21
2.2.9 Simulación.....	22

2.2.9.1	Aplicaciones de la simulación	23
2.2.9.2	Etapas de un estudio de simulación	23
2.2.9.3	Ventajas de la simulación	24
2.3	TIPO DE ESTUDIO.....	24
2.4	FASES DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
2.4.1	Fase I.....	25
2.4.2	Fase II	25
2.4.3	Fase III	25
2.4.4	Fase IV.....	25
CAPITULO III	27
MODELOS QUE EVALUAN SECUENCIAS DE PRODUCCIÓN, EMPUJANDO LA PRODUCCIÓN Y CON ESTRUCTURA FLOW SHOP.....		27
3.1	ESTRUCTURA FLOW SHOP, EMPUJANDO LA PRODUCCION.....	28
3.1.1	Modelo 1. Trabajando con FLOW SHOP, empujando la producción y las unidades van pasando una a una por cada maquina, sin necesidad de esperar a que cada operación se ejecute sobre el lote completo.	29
3.1.1.1	Datos de entrada.	29
3.1.1.2	DIAGRAMA Y EXPLICACIÓN DEL MODELO.....	31
EJEMPLO 1.....		37
3.1.2	Modelo 2. Trabajando con FLOW SHOP, empujando la producción y el paso por cada centro de trabajo se realiza de forma que hasta que se ejecute la operación (o conjunto de ellas) sobre todos los artículos o unidades del lote no pasan estos al siguiente centro de trabajo.....	51
3.1.2.1	Datos de entrada.	51
3.1.2.2	DIAGRAMA Y EXPLICACIÓN DEL MODELO.....	53
EJEMPLO 2.....		59
CAPITULO IV	70
MODELOS QUE EVALUAN SECUENCIAS DE PRODUCCIÓN, HALANDO LA PRODUCCIÓN Y CON ESTRUCTURA FLOW SHOP.....		70
4.1	ESTRUCTURA FLOW SHOP, HALANDO LA PRODUCCION.....	71

4.1.1 Modelo 3. Trabajando con FLOW SHOP, halando la producción y las unidades van pasando una a una por cada máquina, sin necesidad de esperar a que cada operación se ejecute sobre el lote completo.	72
4.1.1.1 Datos de entrada.	72
4.1.1.2 DIAGRAMA Y EXPLICACIÓN DEL MODELO.....	74
EJEMPLO 3.....	80
4.1.2 Modelo 4. Trabajando con FLOW SHOP, halando la producción y el paso por cada centro de trabajo se realiza de forma que hasta que se ejecute la operación (o conjunto de ellas) sobre todos los artículos o unidades del lote no pasan estos al siguiente centro de trabajo.	91
4.1.2.1 Datos de entrada.	91
4.1.2.2 DIAGRAMA Y EXPLICACIÓN DEL MODELO.....	93
EJEMPLO 4.....	100
CAPITULO V	111
MODELOS QUE EVALUAN SECUENCIAS DE PRODUCCIÓN, BAJO ESTRUCTURAS JOB SHOP.	111
5.1 ESTRUCTURA JOB SHOP.	112
5.1.1 Datos de entrada.....	113
5.1.2 DIAGRAMA Y EXPLICACIÓN DEL MODELO	114
EJEMPLO 5.	122
BIBLIOGRAFÍA	148

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Tiempos de puesta a punto en cada estación.	29
Tabla N° 2. Tiempo de procesamiento de una unidad del ítem i en la estación j. .	30
Tabla N° 3. Características de los pedidos para el modelo 1.	38
Tabla N° 4. Costos por almacenamiento y retraso de los ítems.	38
Tabla N° 5. Primera secuencia de producción a probar del modelo 1.	39
Tabla N° 6. Resultados de la primera secuencia para el modelo 1.	39
Tabla N° 7. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para la primera secuencia del modelo 1.	40
Tabla N 8. Holgura del pedido IV para cada replica.	41
Tabla N° 9. Análisis del número de corridas para la primera secuencia del modelo 1.	42
Tabla N° 10. Resultados de la primera secuencia para el modelo 1.	42
Tabla N° 11. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para la primera secuencia del modelo 1.	43
Tabla N° 12. Segunda secuencia de producción a probar del modelo 1.	44
Tabla N° 13. Resultados de la segunda secuencia para el modelo 1.	45
Tabla N° 14. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para la segunda secuencia del modelo 1.	46
Tabla N° 15. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para la segunda secuencia del modelo 1.	47
Tabla N° 16. Tercera secuencia de producción a probar del modelo 1.	48
Tabla N° 17. Resultados de la tercera secuencia para el modelo 1.	49
Tabla N° 18. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para la tercera secuencia del modelo 1.	49
Tabla N° 19. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para la tercera secuencia del modelo 1.	50
Tabla N° 20. Tiempos de puesta a punto en cada estación.	51
Tabla N° 21. Tiempo de procesamiento de una unidad del ítem i en la estación j. .	52
Tabla N° 22. Características de los pedidos para el modelo 2.	60

Tabla N° 23. Costos por almacenamiento y retraso de los ítems.....	60
Tabla N° 24. Primera secuencia de producción a probar del modelo 2.....	61
Tabla N° 25. Resultados de la primera secuencia para el modelo 2.	61
Tabla N° 26. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para la primera secuencia del modelo 2.....	62
Tabla N° 27. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para la primera secuencia del modelo 2.....	63
Tabla N° 28. Segunda secuencia de producción a probar del modelo 2.....	64
Tabla N° 29. Resultados de la segunda secuencia para el modelo 2.	64
Tabla N° 30. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para la segunda secuencia del modelo 2.	65
Tabla N° 31. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para la segunda secuencia del modelo 2.....	66
Tabla N° 32. Tercera secuencia de producción a probar del modelo 2.....	67
Tabla N° 33. Resultados de la tercera secuencia para el modelo 2.	67
Tabla N° 34. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para la tercera secuencia del modelo 2.....	68
Tabla N° 35. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para la tercera secuencia del modelo 2.....	69
Tabla N° 36. Tiempos de puesta a punto en cada estación.	72
Tabla N° 37. Tiempo de procesamiento de la unidad i en la estación j.	73
Tabla N° 38. Características de los pedidos para el modelo 3.	81
Tabla N° 39. Costos por almacenamiento y retraso de los ítems.....	81
Tabla N° 40. Primera secuencia de producción a probar del modelo 3.....	82
Tabla N° 41. Resultados de la primera secuencia para el modelo 3.	82
Tabla N° 42. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para la primera secuencia del modelo 3.....	83
Tabla N° 43. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para la primera secuencia del modelo 3.....	84
Tabla N° 44. Segunda secuencia de producción a probar del modelo 3.....	85
Tabla N° 45. Resultados de la segunda secuencia para el modelo 3.	85

Tabla N° 46. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para la segunda secuencia del modelo 3.	86
Tabla N° 47. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para la segunda secuencia del modelo 3.....	87
Tabla N° 48. Tercera secuencia de producción a probar del modelo 3.....	88
Tabla N° 49. Resultados de la tercera secuencia para el modelo 3.....	88
Tabla N° 50. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para la tercera secuencia del modelo 3.....	89
Tabla N° 51. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para la tercera secuencia del modelo 3.....	90
Tabla N° 52. Tiempos de puesta a punto en cada estación.	91
Tabla N° 53. Tiempo de procesamiento de la unidad i en la estación j.	92
Tabla N° 54. Características de los pedidos para el modelo 4.	101
Tabla N° 55. Costos por almacenamiento y retraso de los ítems.....	101
Tabla N° 56. Primera secuencia de producción a probar del modelo 4.....	102
Tabla N° 57. Resultados de la primera secuencia para el modelo 4.	102
Tabla N° 58. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para la primera secuencia del modelo 4.....	103
Tabla N° 59. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para la primera secuencia del modelo 4.....	104
Tabla N° 60. Segunda secuencia de producción a probar del modelo 4.....	105
Tabla N° 61. Resultados de la segunda secuencia para el modelo 4.	105
Tabla N° 62. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para la segunda secuencia del modelo 4.	106
Tabla N° 63. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para la segunda secuencia del modelo 4.....	107
Tabla N° 64. Tercera secuencia de producción a probar del modelo 4.....	108
Tabla N° 65. Resultados de la tercera secuencia para el modelo 4.	108
Tabla N° 66. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para la tercera secuencia del modelo 4.....	109

Tabla N° 67. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para la tercera secuencia del modelo 4.....	109
Tabla N° 68. Orden de paso de los productos por las estaciones.....	113
Tabla N° 69. Tiempo de puesta punto en cada estación.....	113
Tabla N° 70. Tiempo de procesamiento de la unidad i en la estación j.....	114
Tabla N° 71. Características de los nuevos pedidos para el modelo 5.	122
Tabla N° 72. Características de los pedidos en proceso para el modelo 5.	123
Tabla N° 73. Costos por almacenamiento y retraso de los ítems.....	124
Tabla N° 74. Resultados de las holguras para los nuevos pedidos del modelo tiempo de procesamiento más corto.	124
Tabla N° 75. Resultados de las holguras para los pedidos en proceso del modelo tiempo de procesamiento más corto.	125
Tabla N° 76. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para los nuevos pedidos del modelo tiempo de procesamiento más corto.	126
Tabla N° 77. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para los pedidos en proceso del modelo tiempo de procesamiento más corto.	127
Tabla N° 78. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para los nuevos pedidos usando la regla de prioridad tiempo de procesamiento más corto del modelo 5.....	128
Tabla N° 79. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para los pedidos en proceso usando la regla de prioridad tiempo de procesamiento más corto del modelo 5.....	129
Tabla N° 80. Resultados de las holguras para los nuevos pedidos del modelo fecha de entrega más próxima.....	130
Tabla N° 81. Resultados de las holguras para los pedidos en proceso del modelo fecha de entrega más próxima.....	131
Tabla N° 82. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para los nuevos pedidos del modelo fecha de entrega más próxima.....	132

Tabla N° 83. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para los pedidos en proceso del modelo fecha de entrega más próxima.	133
Tabla N° 84. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para los nuevos pedidos usando la regla de prioridad fecha de entrega más próxima del modelo 5.	134
Tabla N° 85. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para los pedidos en proceso usando la regla de prioridad fecha de entrega más próxima del modelo 5.....	135
Tabla N° 86. Resultados de las holguras para los nuevos pedidos del modelo menor tiempo de holgura.	136
Tabla N° 87. Resultados de las holguras para los pedidos en proceso del modelo menor tiempo de holgura.	137
Tabla N° 88. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para los nuevos pedidos del modelo menor tiempo de holgura.	138
Tabla N° 89. Comparación de la tolerancia con los intervalos de confianza de la holgura para los pedidos en proceso del modelo menor tiempo de holgura.	139
Tabla N° 90. Holguras promedios para el serial N° 10 de productos en proceso.	140
Tabla N° 91. Análisis del número de corridas para la regla de prioridad menor tiempo de holgura.....	141
Tabla N° 92. Resultados de las holguras para los nuevos pedidos del modelo menor tiempo de holgura.	141
Tabla N° 93. Resultados de las holguras para los pedidos en proceso del modelo menor tiempo de holgura.	142
Tabla N° 94. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para los nuevos pedidos usando la regla de prioridad menor tiempo de holgura del modelo 5. ...	143
Tabla N° 95. Cálculos de los costos por almacenamiento y retraso para los pedidos en proceso usando la regla de prioridad menor tiempo de holgura del modelo 5.....	144

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Primera etapa del modelo 1.	32
Figura 2. Segunda etapa correspondiente a la estación A del modelo 1.	33
Figura 3. Tercera etapa correspondiente a la estación B del modelo 1	35
Figura 4. Séptima etapa correspondiente a la recopilación de la información para el modelo 1.....	37
Figura 5. Primera etapa del modelo 2.	54
Figura 6. Segunda etapa correspondiente a la estación A del modelo 2.	56
Figura 7. Tercera etapa correspondiente a la estación B del modelo 2.	58
Figura 8. Séptima etapa correspondiente a la recopilación de la información para el modelo 2.....	59
Figura 9. Primera etapa del modelo 3.	75
Figura 10. Segunda etapa correspondiente a la estación A del modelo 3.	77
Figura 11. Tercera etapa correspondiente a la estación B del modelo 3.	79
Figura 12. Séptima etapa correspondiente a la recopilación de la información para el modelo 3.....	80
Figura 13. Primera etapa del modelo 4.	94
Figura 14. Segunda etapa correspondiente a la estación A del modelo 4.	96
Figura 15. Tercera etapa correspondiente a la estación B del modelo 3.	99
Figura 16. Séptima etapa correspondiente a la recopilación de la información para el modelo 4.....	100
Figura N° 17. Primera etapa asignación de características para pedidos nuevos.	116
Figura 18. Segunda etapa asignación de características para pedidos en proceso.	118
Figura 19. Tercera etapa elaboración del producto.....	119
Figura 20. Cuarta etapa entrada al submodelo de recolección de resultados.....	120
Figura 21. Cuarta etapa recolección de resultados de nuevos pedidos (submodelo).	121

Figura 22. Cuarta etapa recolección de resultados de pedidos en proceso (submodelo). 121